

ИЗВЕСТИЯ

НИЖНЕВОЛЖСКОГО АГРОУНИВЕРСИТЕТСКОГО КОМПЛЕКСА:

НАУКА И ВЫСШЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

№ 1 (85), 2026

Группы специальностей:

- 4.1. Агрономия, лесное и водное хозяйство
- 4.2. Зоотехния и ветеринария
- 4.3. Агроинженерия и пищевые технологии

Волгоград
Волгоградский ГАУ
2026

PROCEEDINGS

OF NIZHNEVOLZSKIY AGROUNIVERSITY COMPLEX:

SCIENCE AND HIGHER VOCATIONAL EDUCATION

№ 1 (85), 2026

Groups of specialties:

- 4.1. Agronomy, forestry and water management
- 4.2. Animal science and veterinary medicine
- 4.3. Agroengineering and food technologies

Volgograd
Volgograd State Agrarian University
2026

ББК 4 (2Рос–4Вор)
И-33УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА
ФГБОУ ВО Волгоградский
государственный аграрный
университетISSN 2071-9485
DOI: 10.32786/2071-9485

№ 1 (85), 2026

Группы специальностей:

- 4.1. Агрономия, лесное и водное хозяйство
 4.2. Зоотехния и ветеринария
 4.3. Агроинженерия и пищевые технологии

ББК 4 (2Рос–4Вор)
И-33THE MAGAZINE FOUNDER
Volograd State
Agrarian UniversityISSN 2071-9485
DOI: 10.32786/2071-9485

№ 1 (85), 2026

Specialty groups:

- 4.1. Agronomy, forestry and water management
 4.2. Animal science and veterinary medicine
 4.3. Agroengineering and food technologie

ИЗВЕСТИЯНижеволжского агроуниверситетского комплекса:
наука и высшее профессиональное образование

№ 1 (85), 2026

В соответствии с решением Президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России от 19.02.2010 г. № 686 журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук. Журнал индексируется в международных информационных системах **Web of Science (RSCI)**, **Agricultural Research Information System (AGRIS)**.

Официальный партнер международной организации **DOI Foundation (IDF)**, международной Ассоциации **Publishers International Linking Association (PILA)**, международного регистрационного агентства **CrossRef**.

Главный редактор:

Горлов И.Ф., академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, научный руководитель Поволжского НИИ производства и переработки мясомолочной продукции, профессор Волгоградского ГАУ, зав. кафедрой "Технология пищевых производств" ВолГТУ, Заслуженный деятель науки РФ, дважды лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники

Заместители главного редактора:

Фомин С.Д., доктор технических наук, зав. Центром наукометрического анализа и международных систем индексирования, Волгоградский ГАУ

Ряднов А.А., доктор биологических наук, профессор, проректор по НИР, Волгоградский ГАУ

Бочарников В.С., доктор технических наук, **член-корреспондент РАН**, Ученый секретарь Волгоградского ГАУ

Шапров М.Н., доктор технических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

PROCEEDINGSof Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex:
science and higher vocational education

№ 1 (85), 2026

According to the decision of Presidium of Higher certifying commission of Ministry of Education and science of Russia in 19.02.2010 № 686 the magazine was included into the list of leading peer-reviewed journals and issues where candidate and doctoral degree thesis basic scientific results can be published.

The journal is indexed in the International Information Systems **Web of Science (RSCI)**, **Agricultural Research Information System (AGRIS)**. Official partner of the International Organization **DOI Foundation (IDF)**, **The Publishers International Linking Association (PILA)**, and The International Registration Agency **CrossRef**

Editor-in-Chief:

Gorlov I.F., Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director of the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products

Deputy Editors in Chief:

Fomin S.D., Doctor of Technical Sciences, Head. Center for Scientometric Analysis and International Indexing Systems, Volgograd State Agrarian University

Ryadnov A.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, Vice-Rector for Research, Volgograd State Agrarian University

Bocharnikov V.S., Doctor of Technical Sciences, **Corresponding Member of RAS**, Scientific Secretary, Volgograd State Agrarian University

Shaprov M.N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Международный редакционный совет научного журнала

Главный редактор:



Горлов И.Ф., академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, научный руководитель Поволжского НИИ производства и переработки мясомолочной продукции, профессор Волгоградского ГАУ, Заслуженный деятель науки РФ, дважды лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники

Gorlov I.F., Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Scientific Director of the Volga Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products, Professor at the Volgograd State Agrarian University, Honored Scientist of the Russian Federation, twice winner of the Russian Government Prize in Science and Technology

Заместители главного редактора:



Фомин С.Д., доктор технических наук, зав. Центром наукометрического анализа и международных систем индексирования, Волгоградский ГАУ <http://www.volgau.com/izvestiya>

Fomin S.D., Doctor of Technical Sciences, Head of Center for Scientometrics Analysis and International Indexing Systems, Volgograd State Agrarian University <http://www.volgau.com/izvestiya>



Ряднов А.А., доктор биологических наук, профессор, проректор по НИР, Волгоградский ГАУ

Ryadnov A.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, Vice-Rector for Research, Volgograd State Agrarian University



Бочарников В.С., член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, Ученый секретарь, Волгоградский ГАУ

Bocharnikov V.S., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Scientific Secretary, Volgograd State Agrarian University



Шапров М.Н., доктор технических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Shaprov M.N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Академический состав редакционного совета**Председатель редакционного совета:**

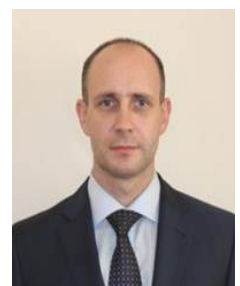
Чекмарев П.А., академик РАН, заместитель президента РАН, член отделения сельскохозяйственных наук, член секции земледелия, мелиорации, водного и лесного хозяйства, действительный государственный советник Российской Федерации 2 класса, Заслуженный работник сельского хозяйства Российской Федерации, доктор сельскохозяйственных наук

Chekmarev P.A., Academician of the Russian Academy of Sciences, Deputy President of the Russian Academy of Sciences, Member of the Department of Agricultural Sciences, member of the Section of Agriculture, Land Reclamation, Water and Forestry, Full State Adviser of the Russian Federation, 2nd Class, Honored Worker of Agriculture of the Russian Federation, Doctor of Agricultural Sciences

Заместители председателя редакционного совета:

Лобачевский Я.П., академик РАН, академик-секретарь отделения сельскохозяйственных наук, член президиума РАН, член бюро отделения ОСХН, член секции механизации, электрификации и автоматизации, заместитель председателя Координационного совета Южной ассоциации научных организаций под научно-методическим руководством РАН, член Научно-издательского совета РАН, член Экспертного совета РАН, член Межакадемического совета по проблемам развития Союзного государства (российская часть), член Кадровой комиссии президиума РАН, член Комиссии РАН по мониторингу и оценке результатов деятельности научных и образовательных организаций высшего образования Российской Федерации, член Экспертной комиссии по Большой золотой медали РАН имени М. В. Ломоносова, член Комиссии РАН по экспертизе федеральных государственных образовательных стандартов и учебников

Lobachevsky Ya.P., Academician of the Russian Academy of Sciences, Academician-Secretary of the Department of Agricultural Sciences, member of the Presidium of the Russian Academy of Sciences, member of the Bureau of the Department of Agricultural Sciences, member of the Section of Mechanization, Electrification and Automation, Deputy Chairman of the Coordinating Council of the Southern Association of Scientific Organizations under the Scientific and Methodological Guidance of the Russian Academy of Sciences, member of the Scientific Publishing Council of the Russian Academy of Sciences, member of the Expert Council of the Russian Academy of Sciences, member of the Interacademic Council for the Development of the Union State (Russian part), member of the Personnel Commission of the Presidium of the Russian Academy of Sciences, Member of the RAS Commission for Monitoring and Evaluating the Performance of Scientific and Educational Organizations of Higher Education in the Russian Federation, member of the Expert Commission for the Lomonosov Grand Gold Medal of the Russian Academy of Sciences, member of the RAS Commission for the Examination of Federal State Educational Standards and Textbooks



Дорохов А.С., академик РАН, заместитель академика-секретаря отделения Бюро ОСХН, руководитель секции механизации, электрификации и автоматизации, член Научного совета РАН по материалам и наноматериалам, член комиссии РАН по анализу статуса звания «Профессор РАН» и Положения о звании «Профессор РАН», доктор технических наук, первый заместитель директора, ФНАЦ ВИМ

Dorokhov A.S., Academician of the Russian Academy of Sciences, Deputy Academician-Secretary of the Department of Agricultural Sciences, Deputy Academician-Secretary of the OSH Bureau, Head of the Section of Mechanization, Electrification and Automation, member of the Scientific Council of the Russian Academy of Sciences on Materials and Nanomaterials, member of the RAS Commission for the analysis of the status of the title "Professor of the Russian Academy of Sciences" and the Regulations on the title "Professor of the Russian Academy of Sciences", Doctor Candidate of Technical Sciences, First Deputy Director, FNAC VIM

Члены академического редакционного совета:



Балакирев Н.А., академик РАН, член отделения сельскохозяйственных наук, член секции зоотехнии и ветеринарии, доктор сельскохозяйственных наук, МБА имени К. И. Скрябина

Balakirev N.A., Academician of the Russian Academy of Sciences, Member of the Department of Agricultural Sciences, member of the Section of Animal Science and Veterinary Medicine, Doctor of Agricultural Sciences, MBA named after K. I. Scriabin



Василевич Ф.И., академик РАН, член отделения сельскохозяйственных наук, член секции зоотехнии и ветеринарии, член Научного совета РАН «Науки о жизни», доктор ветеринарных наук, МБА имени К. И. Скрябина

Vasilevich F.I., Academician of the Russian Academy of Sciences, member of the Department of Agricultural Sciences, member of the Section of Animal Science and Veterinary Medicine, member of the Scientific Council of the Russian Academy of Sciences "Life Sciences", Doctor of Veterinary Sciences, MBA named after K. I. Scriabin



Дубенок Н.Н., академик РАН, член президиума РАН, член отделения сельскохозяйственных наук, член секции земледелия, мелиорации, водного и лесного хозяйства, член Научно-издательского совета РАН, доктор сельскохозяйственных наук, РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева

Dubenok N.N., Academician of the Russian Academy of Sciences, Member of the Presidium of the Russian Academy of Sciences, member of the Department of Agricultural Sciences, member of the Section of Agriculture, Land Reclamation, Water and Forestry, member of the Scientific and Publishing Council of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Russian State Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev



Кощачев А.Г., академик РАН, член отделения сельскохозяйственных наук, член секции зоотехнии и ветеринарии, доктор биологических наук, профессор, Кубанский ГАУ

Koshchayev A.G., Academician of the Russian Academy of Sciences, Member of the Department of Agricultural Sciences, member of the Section of Animal Science and Veterinary Medicine, Doctor of Biological Sciences, Professor, Kuban State Agrarian University



Кулик К.Н., академик РАН, член отделения сельскохозяйственных наук, член секции земледелия, мелиорации, водного и лесного хозяйства, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФНЦ Агроэкологии РАН

Kulik K.N., Academician of the Russian Academy of Sciences, Member of the Department of Agricultural Sciences, member of the Section of Agriculture, Land Reclamation, Water and Forestry, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences



Овчинников А.С., академик РАН, член отделения сельскохозяйственных наук, член секции земледелия, мелиорации, водного и лесного хозяйства, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Ovchinnikov A.S., Academician of the Russian Academy of Sciences, Member of the Department of Agricultural Sciences, member of the Section of Agriculture, Land Reclamation, Water and Forestry, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University



Турусов В.И., академик РАН, член отделения сельскохозяйственных наук, член секции земледелия, мелиорации, водного и лесного хозяйства, доктор сельскохозяйственных наук, ФГБНУ «Воронежский ФАНЦ им. В.В. Докучаева»

Turusov V.I., Academician of the Russian Academy of Sciences, Member of the Department of Agricultural Sciences, member of the Section of Agriculture, Land Reclamation, Water and Forestry, Doctor of Agricultural Sciences, Voronezh State Budgetary Scientific University named after V.V. Dokuchaev



Чернуха И.М., академик РАН, член президиума РАН, член отделения сельскохозяйственных наук, член секции хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, член бюро Научного совета РАН «Науки о жизни», доктор технических наук, профессор, ФНЦ «Пищевых систем им. В. М. Горбатова»

I.M. Chernukha, Academician of the Russian Academy of Sciences, Member of the Presidium of the Russian Academy of Sciences, member of the Department of Agricultural Sciences, member of the Section for Storage and Processing of Agricultural Products, member of the Bureau of the Scientific Council of the Russian Academy of Sciences "Life Sciences", Doctor of Technical Sciences, Professor, V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems"



Юлдашбаев Ю.А., академик РАН, член отделения сельскохозяйственных наук, член секции зоотехнии и ветеринарии, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Институт зоотехнии и биологии, директор

Yu.A. Yuldashbaev, Academician of the Russian Academy of Sciences, member of the Department of Agricultural Sciences, member of the Section of Animal Science and Veterinary Medicine, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Timiryazev Russian State Agrarian University, Institute of Animal Science and Biology, Director

Иностранные члены редсовета

Бабински Лазло, профессор, доктор, директор института кормовых и пищевых биотехнологий, Дебреценский университет (Венгрия) <http://mek.unideb.hu/hu/node/71>

Каштанова Е.Г., доктор, профессор, декан факультета с.-х., экотрофологии и ландшафтного развития, Анхальтский университет прикладных наук (г. Бернбург, Германия) <https://www.hs-anhalt.de/en/university/service/directory-of-people/prof-dr-elena-kashtanova.html>

Лихацевич А.П., **член-корреспондент Национальной академии Беларуси**, доктор технических наук, главный научный сотрудник, Институт мелиорации (Республика Беларусь) <http://nasb.gov.by/rus/members/>

Петрович Милан, доктор биотехнических (сельскохозяйственных) наук, профессор, зам. директора по науке, Институт животноводства, г. Белград, Земун (Республика Сербия)

Сейдави Алиреза, доктор наук, профессор кафедры кормления с.-х. животных факультета зоотехнии, гл. редактор Иранского журнала прикладной зоотехнии, Директор подразделения по науке и технологиям Исламского университета Азад, Раштский филиал (Иран)

Ференц Саваи, профессор, доктор, ректор Капошварского Университета (Венгрия) <http://english.ke.hu/university/managing-board>

Шаговнович Драган А., директор Института экономики, Белград (Республика Сербия) <http://www.ecinst.org.rs/sites/default/files/page-files/dragan-sagovnovic-eng.pdf>

Шеварлич Миладин М., доктор агроэкономических наук, профессор экономики сельского хозяйства и кооперативов, заведующий кафедрой экономики сельского хозяйства и рынка Белградского университета, председатель Общества агроэкономистов Сербии (Республика Сербия)

Шилерова Эдита, Ph.D., член Академического сената Чешского земледельческого университета в Праге <http://wp.czu.cz/cs/index.php/?r=1071&mp=person.info&idClovek=39>

Ятусевич А.И., **академик РАН**, доктор ветеринарных наук, ректор Витебской государственной академии ветеринарной медицины (Республика Беларусь) <http://www.vsavm.by/2012/09/04/yatusevich>

Редакционная коллегия научного журнала**4.1. Агрономия, лесное и водное хозяйство****4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки)**

Дубенок Н.Н., академик РАН, член бюро отделения РАН, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева

Егорова Г.С., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Зеленев А.В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Федеральный исследовательский центр "Немчиновка", ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», г. Москва

Чамурлиев О.Г., доктор сельскохозяйственных наук, директор НИИ фундаментальных и прикладных агrobiотехнологий, Волгоградский ГАУ

4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений (сельскохозяйственные науки)

Подковыров И.Ю., доктор сельскохозяйственных наук, Всероссийский НИИ фитопатологии, г. Москва

Зеленев А.В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Федеральный исследовательский центр "Немчиновка", ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», г. Москва

Егорова Г.С., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Тютюма Н.В., член-корреспондент РАН, профессор РАН, доктор сельскохозяйственных наук, директор ПАФ НЦ РАН

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки)

Подковыров И.Ю., доктор сельскохозяйственных наук, Всероссийский НИИ фитопатологии, г. Москва

Зеленев А.В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Федеральный исследовательский центр "Немчиновка", ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», г. Москва

Петров Н.Ю., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Editorial Board of the Scientific Journal**4.1. Agronomy, forestry and water management****4.1.1. General agriculture and crop production (agricultural sciences)**

Dubenok N.N., Academician of the RAS, member of the Bureau of the Branch of the RAS, Russian State Agrarian University named after Timiryazev

Egorova G.S., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Zelenev A.V., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Federal Research Center "Nemchinovka"

Chamurliev O.G., Doctor of Agricultural Sciences, Director of the Research Institute of Fundamental and Applied Agrobiotechnologies, Volgograd State Agrarian University

4.1.2. Plant breeding, seed production and biotechnology (agricultural sciences)

Podkovyrov I.Yu., Doctor of Agricultural Sciences, All-Russian Research Institute of Phytopathology, Moscow

Zelenev A.V., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Federal Research Center "Nemchinovka"

Egorova G.S., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Tyutyuma N.V., corresponding member of RAS, Professor of RAS, Doctor of Agricultural Sciences, Director of PAF SC RAS

4.1.3. Agrochemistry, agro-soil science, plant protection and quarantine (agricultural sciences)

Podkovyrov I.Yu., Doctor of Agricultural Sciences, All-Russian Research Institute of Phytopathology, Moscow

Zelenev A.V., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Federal Research Center "Nemchinovka"

Petrov N.Yu., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Семененко С.Я., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, гл. науч. сотрудник, ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», г. Москва

Филин В.И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

4.1.4. Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры (сельскохозяйственные науки)

Тютюма Н.В., **член-корреспондент РАН, профессор РАН**, доктор сельскохозяйственных наук, директор ПАФ НЦ РАН

Петров Н.Ю., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Ахмедов А.Д., доктор технических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Ходяков Е.А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Чамурлиев О.Г., доктор сельскохозяйственных наук, директор НИИ фундаментальных и прикладных агробиотехнологий, Волгоградский ГАУ

4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика (сельскохозяйственные науки)

Овчинников А.С., **академик РАН**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Дубенок Н.Н., **академик РАН**, член бюро отделения **РАН**, РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева

Кулик К.Н., **академик РАН**, Федеральный научный центр агроэкологии, мелиорации и защитного лесоразведения **РАН** (ФНЦ Агроэкологии **РАН**)

Ходяков Е.А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Проездов П.Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Саратовский ГАУ

4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика (технические науки)

Лихачевич А.П., **член-корреспондент Национальной академии Беларуси**, доктор технических наук, главный научный сотрудник, Институт мелиорации (Республика Беларусь)

Бочарников В.С., доктор технических наук, **член-корреспондент РАН**, Ученый секретарь Волгоградского ГАУ

Semenenko S.Ya., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher, VNIIOZ

Filin V.I., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

4.1.4. Horticulture, vegetable growing, viticulture and medicinal crops (agricultural sciences)

Tyutyuma N.V., **corresponding member of RAS, Professor of RAS**, Doctor of Agricultural Sciences, Director of PAF SC RAS

Petrov N.Yu., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Akhmedov A.D., Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Khodyakov E.A., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Chamurliev O.G., Doctor of Agricultural Sciences, Director of the Research Institute of Fundamental and Applied Agrobiotechnologies, Volgograd State Agrarian University

4.1.5. Land reclamation, water management and agrophysics (agricultural sciences)

Ovchinnikov A.S., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, **Academician of the Russian Academy of Sciences**, Volgograd State Agrarian University

Dubenok N.N., **Academician of the of the RAS**, member of the Bureau of the Branch of the RAS, Russian State Agrarian University named after Timiryazev

Kulik K.N., **Academician of the Russian Academy of Sciences**, Federal Research Centre of Agroecology, amelioration and protective afforestation RAS

Khodyakov E.A., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Proezdov P.N., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Saratov State Agrarian University

4.1.5. Land reclamation, water management and agrophysics (technical sciences)

Likhatsevich A.P., **Corresponding Member, National Academy of Belarus**, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, Institute of Land Reclamation (Belarus)

Bocharnikov V.S., Doctor of Technical Sciences, **Corresponding Member of RAS**, Scientific Secretary of the Volgograd State Agrarian University

Васильев С.М., доктор технических наук, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации

Ахмедов А.Д., доктор технических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Пахомов А.А., доктор технических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

4.1.6. Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация (сельскохозяйственные науки)

Кулик К.Н., академик РАН, Федеральный научный центр агроэкологии, мелиорации и защитного лесоразведения РАН (ФНЦ Агроэкологии РАН)

Иванцова Е.А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор института естественных наук, ФГАО ВО ВолГУ

Кулик А.К., кандидат сельскохозяйственных наук, ФНЦ Агроэкологии РАН

Проездов П.Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Саратовский ГАУ

Подковыров И.Ю., доктор сельскохозяйственных наук, Всероссийский НИИ фитопатологии, г. Москва

4.2. Зоотехния и ветеринария

4.2.1. Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология (ветеринарные науки)

Племышов К.В., член-корреспондент РАН, доктор ветеринарных наук, ректор ФГБОУ ВО «СПбГУВМ», г. Санкт-Петербург

Стекольников А.А., академик РАН, доктор ветеринарных наук, профессор, ФГБОУ ВО «СПбГУВМ», г. Санкт-Петербург

Ятусевич А.И., академик РАН, доктор ветеринарных наук, ректор Витебской государственной академии ветеринарной медицины (Республика Беларусь)

Рыжкова Г.Ф., доктор биологических наук, профессор, Курская ГСХА им. Иванова И.И.

Ряднов А.А., доктор биологических наук, профессор, проректор по НИР, Волгоградский ГАУ

Баймишев Х.Б., доктор биологических наук, профессор, Самарский ГАУ

Vasiliev S.M., Doctor of Technical Sciences, Russian Research Institute for Problems of Land Reclamation

Akhmedov A.D., Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Pakhomov A.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

4.1.6 Forest science, silviculture, agroforestry, landscaping, forest pyrology and inventory (agricultural sciences)

Kulik K.N., Academician of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Centre of Agroecology, amelioration and protective afforestation RAS

Ivantsova E.A., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Director of the Institute of Natural Sciences, Volgograd State University

Kulik A.K., Candidate of Agricultural Sciences, National Science Center of Agroecology RAS

Proezdov P.N., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Saratov State Agrarian University

Podkovyrov I.Yu., Doctor of Agricultural Sciences, All-Russian Research Institute of Phytopathology, Moscow

4.2. Animal science and veterinary medicine

4.2.1. Animal pathology, morphology, physiology, pharmacology and toxicology (veterinary sciences)

Plemyashov K.V., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Veterinary Sciences, Rector of St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

Stekolnikov A.A., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

Yatusovich A.I., Academician of RAS, Doctor of Veterinary Sciences, Rector of Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine (Belarus)

Ryzhkova G.F., Doctor of Biological Sciences, Professor, Kurgan State Agricultural Academy named after Ivanova I.I

Ryadnov A.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, Vice-Rector for Research, Volgograd State Agrarian University

Baimishev Kh.B., Doctor of Biological Sciences, Professor, Samara GAU

Ряднова Т.А., кандидат биологических наук, доцент, Волгоградский ГАУ

4.2.2. Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность (ветеринарные науки)

Ряднов А.А., доктор биологических наук, профессор, проректор по НИР, Волгоградский ГАУ

Злепкин Д.А., доктор биологических наук, Волгоградский ГАУ

Сухинин А.А., доктор биологических наук, профессор, проректор, Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины

4.2.3. Инфекционные болезни и иммунология животных (ветеринарные науки)

Ряднов А.А., доктор биологических наук, профессор, проректор по НИР, Волгоградский ГАУ

Сухинин А.А., доктор биологических наук, профессор, проректор, Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины

Ятусевич А.И., **академик РАН**, доктор ветеринарных наук, ректор Витебской государственной академии ветеринарной медицины (Республика Беларусь)

Сашнина Л.Ю., доктор ветеринарных наук, главный научный сотрудник, зав. лабораторией иммунологии, Всероссийский НИ ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии РАН

4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства (сельскохозяйственные науки)

Горлов И.Ф., **академик РАН**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, научный руководитель Поволжского НИИ производства и переработки мясомолочной продукции, профессор Волгоградского ГАУ, зав. кафедрой "Технология пищевых производств" ВолГТУ, Заслуженный деятель науки РФ, дважды лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники

Мосолов А.А., доктор биологических наук, Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции

Ryadnova T.A., Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University

4.2.2. Sanitation, hygiene, ecology, veterinary and sanitary expertise and biosafety (veterinary sciences)

Ryadnov A.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, Vice-Rector for Research, Volgograd State Agrarian University

Zlepkin D.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Sukhinin A.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

4.2.3. Infectious diseases and animal immunology (veterinary sciences)

Ryadnov A.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, Vice-Rector for Research, Volgograd State Agrarian University

Sukhinin A.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

Yatusевич A.I., **Academician of RAS**, Doctor of Veterinary Sciences, Rector of Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine (Belarus)

Sashnina L.Yu., Doctor of Veterinary Sciences, Chief Researcher, Head Laboratory of Immunology, All-Russian Scientific Research Institute of Veterinary Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy, Russian Academy of Sciences

4.2.4. Private zootechnics, feeding, feed and livestock production technologies (agricultural sciences)

Gorlov I.F., **Academician of the Russian Academy of Sciences**, Doctor of Agricultural Sciences, scientific director of the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products, professor of the Volgograd State Agrarian University, Head of the Department of Food Production Technology of VolGTU, Honored Scientist of the Russian Federation, twice laureate of the Russian Government Prize in science and technology

Mosolov A.A., Doctor of Biological Sciences, Volga Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products

Варакин А.Т., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Натыров А.К., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, декан аграрного факультета Калмыцкого государственного университета

Сложенкина М.И., **член-корреспондент РАН**, доктор биологических наук, профессор, директор Поволжского НИИ производства и переработки мясомолочной продукции

Чамурлиев Н.Г., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства (биологические науки)

Сизова Е.А., доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН, зам. директора по научной работе

Злепкин Д.А., доктор биологических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Мосолова Н.И., доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции

Арылов Ю.Н., доктор биологических наук, профессор, Калмыцкий государственный университет им. Б. Б. Городовикова

Дускаев Г.К., доктор биологических наук, профессор РАН, первый заместитель директора, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН

Шлыков С.Н., доктор биологических наук, профессор, Ставропольский государственный аграрный университет

4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных (сельскохозяйственные науки)

Горлов И.Ф., **академик РАН**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, научный руководитель Поволжского НИИ производства и переработки мясомолочной продукции, профессор Волгоградского ГАУ, зав. кафедрой "Технология пищевых производств" ВолГТУ, Заслуженный деятель науки РФ, дважды лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники

Varakin A.T., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Natyrov A.K., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Dean of the Agrarian Faculty of Kalmyk State University

Slozhenkina M.I., Doctor of Biological Sciences, **Corresponding Member of RAS**, Professor, Director of the Volga Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products

Chamurliiev N.G., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd Agrarian State University

4.2.4. Private animal husbandry, feeding, technologies of feed preparation and production of livestock products (biological sciences)

Sizova E.A., Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Federal Research Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director of Scientific Work

Zlepkin D.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Mosolova N.I., Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Volga Region Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products

Arylov Yu.N., Doctor of Biological Sciences, Professor, B. B. Gorodovikov Kalmyk State University

Duskaev G.K., Doctor of Biological Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, First Deputy Director, Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences

Shlykov S.N., Doctor of Biological Sciences, Professor, Stavropol State Agrarian University

4.2.5. Breeding, Selection, Genetics and Animal Biotechnology (Agricultural Sciences)

Gorlov I.F., **Academician of the Russian Academy of Sciences**, Doctor of Agricultural Sciences, scientific director of the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products, professor of the Volgograd State Agrarian University, Head of the Department of Food Production Technology of VolGTU, Honored Scientist of the Russian Federation, twice laureate of the Russian Government Prize in science and technology

Баймишев Х.Б., доктор биологических наук, профессор, Самарский ГАУ

Baimishev Kh.B., Doctor of Biological Sciences, Professor, Samara GAU

Волохов И.М., доктор биологических наук, профессор, ВНИИплем

Volokhov I.M., Doctor of Biological Sciences, Professor, All-Russian Research Institute of Breeding

Коханов А.П., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Kohanov A.P., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Ранделин А.В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Randelin A.V., Doctor of Agricultural Sciences, professor, Volgograd State Agrarian University

Федотов С.В., доктор ветеринарных наук, профессор, Московская ГАВМиБ, г. Москва

Fedotov S.V., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Moscow State Academy of Veterinary Medicine

Чеходариди Ф.И., доктор ветеринарных наук, профессор, Горский ГАУ

Cekhodaridi F.I., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Gorsky State Agrarian University

Коханов М.А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Kohanov M.A., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных (биологические науки)

4.2.5. Breeding, Selection, Genetics and Animal Biotechnology (Agricultural Sciences)

Ранделин Д.А., доктор биологических наук, Волгоградский ГАУ

Randelin D. A., Doctor of Biological Sciences, Volgograd State Agrarian University

Сложеникина М.И., **член-корреспондент РАН**, доктор биологических наук, профессор, директор Поволжского НИИ производства и переработки мясомолочной продукции

Slozhenkina M.I., Doctor of Biological Sciences, **Corresponding Member of RAS**, Professor, Director of the Volga Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products

Мосолова Н.И., доктор биологических наук, Главный научный сотрудник Поволжского НИИ производства и переработки мясомолочной продукции

Mosolova N.I., Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher of the Volga Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products

Злепкин Д.А., доктор биологических наук, Волгоградский ГАУ

Zlepkin D.A., Doctor of Biological Sciences, Volgograd State Agrarian University

4.2.6. Рыбное хозяйство, аквакультура и промышленное рыболовство (сельскохозяйственные науки)

4.2.6. Fisheries, aquaculture and industrial fisheries (agricultural sciences)

Ранделин Д.А., доктор биологических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Randelin D. A., Doctor of Biological Sciences, professor, Volgograd State Agrarian University

Васильев А.А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина

Vasiliev A.A., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Bio-Technology – MBA named after K. I. Scriabin

Гусева Ю.А., доктор сельскохозяйственных наук, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова

Guseva Yu.A., Doctor of Agricultural Sciences, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov

Бахарева А.А., доктор сельскохозяйственных наук, Астраханский государственный технический университет, Институт рыбного хозяйства, биологии и природопользования

Bakhareva A.A., Doctor of Agricultural Sciences, Astrakhan State Technical University, Institute of Fisheries, Biology and Environmental Management

4.2.6. Рыбное хозяйство, аквакультура и промышленное рыболовство (биологические науки)

Ранделин Д.А., доктор биологических наук, Волгоградский ГАУ

Васильев А.А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина

Гусева Ю.А., доктор сельскохозяйственных наук, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова

Бахарева А.А., доктор сельскохозяйственных наук, Астраханский государственный технический университет, Институт рыбного хозяйства, биологии и природопользования

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

Лихацевич А.П., **член-корреспондент Национальной академии Беларуси**, доктор технических наук, главный научный сотрудник, Институт мелиорации (Республика Беларусь)

Зиганшин Б.Г., доктор технических наук, **профессор РАН**, первый проректор – проректор по научной работе и цифровой трансформации, Казанский ГАУ

Успенский И.А., доктор технических наук, профессор, Рязанский ГАТУ

Шапров М.Н., доктор технических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Фомин С.Д., доктор технических наук, Волгоградский ГАУ

Новиков А.Е., доктор технических наук, **член-корр. РАН**, ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», г. Москва

Ряднов А.И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Борисенко И.Б., доктор технических наук, Волгоградский ГАУ

Гапич Д.С., доктор технических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

4.2.6. Рыбное хозяйство, аквакультура и промышленное рыболовство (биологические науки)

Randelin D. A., Doctor of Biological Sciences, Volgograd State Agrarian University

Vasiliev A.A., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Bio-Technology – MBA named after K. I. Scriabin

Guseva Yu.A., Doctor of Agricultural Sciences, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov

Bakhareva A.A., Doctor of Agricultural Sciences, Astrakhan State Technical University, Institute of Fisheries, Biology and Environmental Management

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

Likhatsevich A.P., **Corresponding Member, National Academy of Belarus**, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, Institute of Land Reclamation (Belarus)

Ziganshin B.G., Professor of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, First Vice-Rector – Vice-Rector for Scientific Work and Digital Transformation, Kazan State University

Uspensky I.A., Doctor of Technical Sciences, Rязан State Agrotechnological University

Shaprov M.N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Fomin S.D., Doctor of Technical Sciences, Volgograd State Agrarian University

Novikov A.E., Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, GNU VNIOZ, Director

Ryadnov A.I., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Borisenko I.B., Doctor of Technical Sciences, Volgograd State Agrarian University

Gapich D.S., Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса (технические науки)

Юдаев И.В., доктор технических наук, профессор, Кубанский ГАУ

Евдокимов А.П., кандидат технических наук, доцент, Волгоградский ГАУ

Дарманян А.П., доктор технических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

Гапич Д.С., доктор технических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

4.3.3. Пищевые системы (биологические науки)

Чернуха И.М., академик РАН, доктор технических наук, профессор, ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова, г. Москва

Бабински Лазло, профессор, доктор, директор института кормовых и пищевых биотехнологий, Дебреценский университет (Венгрия)
<http://mek.unideb.hu/hu/node/71>

Горлов И.Ф., академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, научный руководитель Поволжского НИИ производства и переработки мясомолочной продукции, профессор Волгоградского ГАУ, зав. кафедрой "Технология пищевых производств" ВолГТУ, Заслуженный деятель науки РФ, дважды лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники

Сложенкина М.И., член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, профессор, директор Поволжского НИИ производства и переработки мясомолочной продукции

Гиро Т.М., доктор технических наук, профессор, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва

Храмова В.Н., доктор биологических наук, профессор, Волгоградский государственный технический университет, декан факультета технологии пищевых производств

Золотокопова С.В., доктор технических наук, профессор, Астраханский ГТУ, Ученый секретарь

Мосолова Н.И., доктор биологических наук, главный научный сотрудник Поволжского НИИ производства и переработки мясомолочной продукции

4.3.2. Electrical technologies, electrical equipment and power supply of the agro-industrial complex (technical sciences)

Yudaev I.V., Doctor of technical sciences, professor, Kuban State University

Evdokimov A.P., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University

Darmanyan A.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd State University

Gapich D.S., Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

4.3.3. Food systems (biological sciences)

Chernukha I.M., Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, V. M. Gorbатов Food Science Research Center"

Babinski Lazlo, professor, doctor, director of the Institute of Feed and Food Biotechnology, Debrecen University (Hungary)

Gorlov I.F., Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, scientific director of the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products, professor of the Volgograd State Agrarian University, Head of the Department of Food Production Technology of VolGTU, Honored Scientist of the Russian Federation, twice laureate of the Russian Government Prize in science and technology

Slozhenkina M.I., Doctor of Biological Sciences, Corresponding Member of RAS, Professor, Director of the Volga Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products

Giro T.M., Doctor of Technical Sciences, Professor, RGAU-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev

Khramova V.N., Doctor of Biological Sciences, Professor, Volgograd State Technical University, Dean of the Faculty of Food Production Technology

Zolotokopova S.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Astrakhan State Technical University, Scientific Secretary

Mosolova N.I., Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher of the Volga Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products

**АГРОНОМИЯ, ЛЕСНОЕ И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО /
AGRONOMY, FORESTRY AND WATER MANAGEMENT**

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-01

THE PYROGENIC ZONING OF THE AGROFORESTRY LANDSCAPES IN THE ROSTOV REGION**Kulik K. N., Tanyukevich V. V.***Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective
Afforestation of the Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: tanyukevich-v@vfanc.ru

Received 28.11.2025

Submitted 19.12.2025

The work was carried out within the framework of the State assignment FNFE-2025-0004 "Theoretical justification and concept of adaptive solutions for the management of phytocological resources of the Russian Federation arid zone agricultural landscapes at the river's basin level, using system-dynamic modeling of soil-hydrological processes, climate change effects and anthropogenic loads multi-factorial analysis".

Summary

For the first time, a pyrogenic zoning of forest-agricultural landscapes has been developed, taking into account the forest reclamation zoning of the territory, the fire hazard of meteorological conditions, the silvicultural and reclamation status of protective stands, the rate and density of fires, and flammability. A number of new terms have been introduced into agroforestry.

Abstract

Introduction. The lack of pyrogenic zoning of agroforest landscapes complicates wildfire suppression on agricultural lands, reduces the effectiveness of protective afforestation, and hinders the implementation of measures to maintain agroforestry plantations. **The objective of this research** is to develop a pyrogenic zoning of agroforest landscapes in the Rostov Region, taking into account the fire hazard of weather conditions, a silvicultural and meliorative assessment of protective forest plantations, the rate of spread and density of wildfires, and the flammability of agroforest landscapes. **Materials and methods.** The study is based on the forest reclamation zoning of the Rostov Region. Data from a stand inventory, proven agroforestry and pyrology methods were used. **Results and conclusions.** The Priazovsky forest reclamation region (FRR) is classified as the first pyrogenic region (low fire hazard): the silvicultural and reclamation assessment of stands is over 3.8, the fire spread rate is less than 2 m/min, the density is no more than 58 fires/million hectares per year, and the flammability is no higher than 0.09 hectares/thousand hectares per year. The second pyrogenic region (moderate fire hazard) includes the Dono-Donetsky and Lower Don FRR, with the corresponding indicators: 2.8-3.8; 2-3.2; 58-110; 0.10-0.18. The third pyrogenic region (high fire hazard) includes the Salsk-Manychsky FRR with the corresponding indicators: less than 2.8; more than 3.2; over 110; more than 0.18.

Keywords: agroforestry landscapes, landscape fires, agroforestry plantations, burnability of agroforestry landscapes, density of landscape fires, rate of fires, pyrogenic zoning.

Citation. Kulik K. N., Tanyukevich V. V. The pyrogenic zoning of the agroforestry landscapes in the Rostov region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 16-25 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-01.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.6.02:614.841.2+630*232

**ПИРОГЕННОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ АГРОЛЕСОЛАНДШАФТОВ
РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ****Кулик К. Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН
Танюкевич В. В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор***ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного
лесоразведения Российской академии наук»
г. Волгоград, Российская Федерация*

Работа проводилась в рамках Государственного задания FNFE-2025-0004 «Теоретическое обоснование и концепция адаптивных решений по управлению фитоэкологическими ресурсами агроландшафтов засушливой зоны РФ на бассейновом уровне, с использованием системно-динамического моделирования почвенно-гидрологических процессов, многофакторного анализа влияния изменения климата и антропогенных нагрузок».

Актуальность. Отсутствие пирогенного районирования агролесоландшафтов затрудняет борьбу с природными пожарами на сельскохозяйственных землях, снижает эффективность защитного лесоразведения, затрудняет реализацию мероприятий по содержанию агролесомелиоративных

насаждений. **Цель исследований:** разработать пирогенное районирование агролесоландшафтов Ростовской области, с учетом пожарной опасности условий погоды, лесоводственно-мелиоративной оценки защитных лесонасаждений, скорости распространения, плотности природных пожаров, горимости агролесоландшафтов. **Материалы и методы.** В основу положено лесомелиоративное районирование Ростовской области. Использовались данные инвентаризации насаждений, апробированные методики агролесомелиорации и пироэкологии. **Результаты и выводы.** В первый пирогенный район (пожарная опасность низкая) отнесен Приазовский лесомелиоративный район (ЛМР): лесоводственно-мелиоративная оценка насаждений более 3,8, скорость распространения пожаров менее 2 м/мин., плотность – не более 58 пожаров/млн га в год, горимость – не выше 0,09 га/тыс. га в год. Ко второму пирогенному району (пожарная опасность средняя) относятся Доно-Донецкий и Нижне-Донской ЛМР, с соответствующими показателями – 2,8-3,8; 2-3,2; 58-110; 0,10-0,18. К третьему пирогенному району (пожарная опасность высокая) отнесен Сальско-Манычский ЛМР с соответствующими показателями: менее 2,8; более 3,2; свыше 110; более 0,18.

Ключевые слова: агролесоландшафты, ландшафтные пожары, агролесомелиоративные насаждения, горимость агролесоландшафтов, плотность ландшафтных пожаров, скорость пожаров, пирогенное районирование.

Цитирование. Кулик К. Н., Танюкевич В. В. Пирогенное районирование агролесоландшафтов Ростовской области. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 16-25. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-01.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Площадь агролесоландшафтов в Ростовской области, играющей важнейшую роль в обеспечении продовольственной безопасности России, достигает 8,76 млн га, при этом лесомелиоративный фонд региона оценивается в 240212 га [1, 2]. Аридизация климата, а также антропогенная деятельность человека, способствует ухудшению пожарной обстановки на землях сельскохозяйственного назначения. Ежегодно здесь фиксируется до 725 низовых природных пожаров. Их общая площадь около 1320 га. Величина причиняемого огнем экономического ущерба только защитным насаждениям достигает 66 тыс. руб./га [3]. Горимость агролесоландшафтов сегодня рассматривается в контексте проблемы опустынивания земель [4-7].

На землях сельскохозяйственного назначения развиваются низовые ландшафтные пожары. В период с 30 апреля по 15 октября устанавливаются IV-V классы пожарной опасности по условиям погоды. Скорость восточного ветра 5 м/с-7 м/с. Под действием природных и антропогенных факторов происходит возгорание пожнивных остатков, степной травянистой растительности, с последующим проникновением огня в агролесомелиоративные насаждения. Возникающие в лесоаграрных ландшафтах Ростовской области пожары являются средне и сильно интенсивными, а по площади – малыми и небольшими [8, 9].

Для эффективной борьбы с пожарами в лесном деле широко применяется пирогенное районирование территории России, а также её отдельных регионов. В соответствии с действующим ГОСТ Р 70861 – 2023, пирогенное районирование – это «объединение в территориальные единицы лесных площадей и участков, сходных по пироэкологическим характеристикам растительности (биогеоценоза) или по типам (видам) растительных горючих материалов, для прогнозирования распространения и развития пожаров, разработок региональных проектов и способов борьбы с пожарами, а также предвидения их последствий». В качестве основных показателей, используемых для пирогенного районирования лесного фонда, применяются горимость ландшафтов, плотность и скорость распространения пожаров, лесоводственное состояние древостоев [10-17].

Для агролесоландшафтов, в том числе для Ростовской области, аналогичное пирогенное районирование на сегодняшний день не разработано. Это затрудняет профилактику и борьбу с природными пожарами на землях сельскохозяйственного назначения, снижает мелиоративную эффективность защитных насаждений, приводит к увеличению экономического ущерба, наносимого огнем аграрному производству, затрудняет разработку проектов мелиорации земель и, как следствие, усугубляет проблему опустынивания в регионе.

Требуется уточнения шкала пожарной опасности степного фонда, разделяющая территории на 4 класса, поскольку в её основе лежит лишь один критерий – среднегодовая площадь степного пожара [18].

Анализ состояния вопроса позволяет констатировать, что в основу пирогенного районирования агролесоландшафтов должно быть положено лесомелиоративное районирование территории, поскольку оно учитывает природно – климатические факторы, а также лесоводственно-мелиоративное состояние совокупности защитных лесонасаждений – важнейших пироэкологических факторов.

Материалы и методы исследований. Цель исследований, проводившихся в период с 2017 по 2025 годы – разработать пирогенное районирование агролесоландшафтов Ростовской области. Изыскания проводили на основе лесомелиоративного районирования, разделяющего регион на Доно-Донецкий, Приазовский, Нижне-Донской и Сальско-Маньчский лесомелиоративные районы (ЛМР), учитывающего природно-климатические условия, площади земель сельскохозяйственного назначения и защитных лесонасаждений, технологии агролесомелиорации [1].

Средневзвешенный балл лесоводственно-мелиоративной оценки защитных насаждений по Е. С. Павловскому (1973) давался на основании площадей, занятых насаждениями с различными баллами оценки, полученных при анализе результатов лесоинвентаризации 2005 г., актуализированных в 2020 г. Состояние насаждений оценивали по шкале П. В. Кудряшева и др. (1985), класс бонитета определяли по общепринятой шкале М. М. Орлова.

Климатические условия региона исследований анализировали по данным метеостанций г. Миллерово, п. Гигант, г. Константиновск, п. Ремонтное, с использованием ресурса [https://gr5.ru], в период чрезвычайной пожарной опасности, которая, в среднем, длится с 30 апреля по 15 октября [https://61.mchs.gov.ru]. Класс пожарной опасности по условиям погоды в агролесоландшафтах (КПО) определялся с учетом ГОСТ Р 70861 – 2023, в соответствии с приказом Федерального агентства лесного хозяйства № 287, от 5.07.2011.

Количество и вид пожаров, их площадь, скорость, плотность, горимость агролесоландшафтов, устанавливали с использованием информационной системы дистанционного мониторинга «ИСДМ Рослесхоз», ресурса <https://maps.earthtouches.me>, а также на основании обследований пожарных на площади 2118 га. Пирогенные повреждения древесной растительности на площади 911 га оценивали по И. С. Мелехову др. (2007), с уточнением по отношению к агролесомелиоративным насаждениям [3]. Тип и продуктивность живого напочвенного покрова агроландшафтов устанавливали при обследовании пожарных в 2018 г. [19]. Запас древесных горючих материалов устанавливали при обследовании лесополос-горельников [3, 8, 9], массу пожнивных остатков, преимущественно, озимой пшеницы, принимали по данным [20].

Пирогенное районирование Ростовской области разрабатывали на основании математической обработки данных ($M \pm \sigma$)² и регрессионного анализа значений лесоводственно-мелиоративной оценки защитных насаждений, а также плотности и скорости пожаров, горимости агролесоландшафтов.

Результаты и обсуждение. Площадь агролесомелиоративных насаждений Приазовского ЛМР, представленных преимущественно спелыми и перестойными полезными, прибалочными лесными полосами шириной 12-15 м, составляет 42684 га, защитная лесистость агроландшафтов составляет 2,9 %. Основные древесные породы – робиния, вяз, ясень, гледичия, тополь, дуб. Это насаждения с древостоями II, реже – I класса состояния, III-IV бонитета. Защитные свойства полезных насаждений снижены по причине отсутствия лесоводственных уходов, направленных на поддержание конструкций. Здесь преобладают агролесомелиоративные насаждения, оцениваемые по шкале Е. С. Павловского, на 4 (18781 га) – 3 (7683 га) балла. Лесомелиоративные системы с оценкой 5а занимают площадь 3415 га. Средневзвешенный балл лесоводственно-мелиоративной оценки составляет 3,9.

В полезных лесополосах, где количество жизнеспособных деревьев достигает 75 %, скорость распространения кромки низового пожара не превышает 1 м/мин, что существенно ниже, чем на открытых участках агроландшафтов (3 м/мин). Как правило, в насаждениях Приазовского ЛМР происходит локализация или существенное замедление распространения низового огня. Это объясняется тем, что древесного горючего материала в виде ослабленных и сухостойных деревьев, валежника в таких лесополосах не более 3 м³/га. Сомкнутый древесный полог (0,8-0,9), пропуская мало света к поверхности почвы, препятствует проникновению в насаждения разнотравно- дерновинно- злаковой травянистой растительности – дополнительного горючего материала. Его масса в лесополосах не более 0,1 т/га, на необработываемых участках агролесоландшафтов – до 2,5 т/га. Масса сухих пожнивных остатков оценивается в 0,6 т/га. Лесополосы, после воздействия низового пожара, сохраняют не только свою жизнедеятельность, но и конструкцию, преимущественно плотную, живой напочвенный покров выгорает частично. В Зерноградском районе зафиксирован случай, когда в результате прохождения низового пожара через полезную

насаждение (инв. № 17) летом 2017 г., в июле 2018 года сформировался участок жизнеспособного насаждения с ажурной конструкцией, оптимальной для такого вида лесополос. Таким образом, в редких случаях пирогенное воздействие на агролесомелиоративные насаждения может иметь позитивный результат.

Условия Доно-Донецкого (площадь агролесоландшафтов 4,46 млн га) и Нижне-Донского ЛМР (0,63 млн га) между собой существенно не отличаются. Средняя защитная лесистость агроландшафтов 2,5 %. Здесь преобладают перестойные полезащитные и прибалочные лесополосы, со средней шириной 12-15 м/га, IV класса бонитета. Породный состав насаждений аналогичен таковому в Приазовском ЛМР. Насаждения ослаблены по причине отсутствия лесоводственных уходов. Здесь преобладают лесополосы, оцениваемые по шкале лесоводственно-мелиоративной оценки Е. С. Павловского на 4 (79989 га) и 3 (38984 га) балла. Также встречаются насаждения с оценкой 2 балла на площади 17996 га – это захламленные, распадающиеся лесополосы, отмирающие из-за отсутствия ухода, с неудовлетворительными мелиоративными свойствами. Средневзвешенный балл лесоводственно-мелиоративной оценки насаждений субрегиона 3,4.

В лесополосах, с количеством жизнеспособных деревьев не более 50 %, скорость распространения кромки низовых природных пожаров около 2 м/мин, то есть несколько ниже, чем на открытых территориях (3 м/мин). Низовой пожар преодолевает такие насаждения, переходя на межполосные сельхозугодья. Это объясняется тем, что запас древесного горючего материала в виде ослабленных и сухостойных деревьев в таких лесополосах около 7 м³/га. Сомкнутость древесного полога 0,7-0,8 способствует проникновению в агролесомелиоративные насаждения дополнительного горючего материала – сухой дерновинно-злаковой (бедно-разнотравной) травянистой растительности, в количестве сухой массы около 0,2 т/га, на межполосных пространствах этот показатель достигает 2,9 т/га. Масса сухих пожнивных остатков оценивается в 0,5-0,6 т/га. В полезащитных насаждениях, после воздействия низового пожара, количество сохранившихся живых деревьев составляет более 10 %, живой напочвенный покров здесь выгорает. Лесополосы утрачивают свою жизнеспособность и конструкцию, которые частично восстанавливаются через 2-3 года. Позитивное пирогенное воздействие на агролесомелиоративные насаждения отсутствует.

Наиболее сложные в пирологическом отношении условия в Сальско-Маньчском ЛМР, с защитной лесистостью 1,6 %. Здесь преобладают перестойные полезащитные и пастбищезащитные насаждения, шириной 12-20 м, образованные робинией, вязом и ясенем. Для этой части Ростовской области характерны IV-V классы пожарной опасности по условиям погоды в сочетании с неудовлетворительным состоянием лесомелиоративных комплексов. Преобладающий класс состояния лесополос IV, класс бонитета – V. Широко встречаются малоустойчивые насаждения, у которых мелиоративная эффективность выражена недостаточно (3б) – 15,7 тыс. га (45 %). Лесополосы с оценкой «2б» занимают площадь 10,1 тыс. га. Это расстраивающие, сильно захламленные сухостоем или отмирающие, неудовлетворительные по своему состоянию лесополосы, мелиоративная эффективность которых чрезвычайно слабая. На площади 1741 га встречаются насаждения, оцениваемые в 1 балл по шкале Е. С. Павловского – отмирающие и погибшие лесные полосы с сильным задержанием подпологового пространства и утратившие свою мелиоративную эффективность. Одна из основных причин такого состояния – отсутствие лесоводственных уходов на фоне сложных лесорастительных условий. Средневзвешенный балл лесоводственно-мелиоративной оценки насаждений минимальный для всего региона исследований – 2,7. Запас древесного горючего материала достигает 20 м³/га. Сомкнутость древесного полога 0,4-0,5 способствует активному задержанию лесонасаждений полынно-дерновинно-злаковой травянистой массой в количестве 0,3 т/га; на межполосных пространствах сухая травянистая фитомасса достигает 0,8 т/га. Масса сухих пожнивных остатков оценивается в 0,4 т/га.

В лесополосах, с количеством жизнеспособных деревьев не более 25 %, скорость распространения кромки беглых природных пожаров достигает 5-6 м/мин, что существенно выше, чем на открытых территориях (3-4 м/мин). То есть, такие насаждения способны ускорять распространение пожаров на землях сельскохозяйственного назначения. Низовой пожар быстро преодолевает лесополосы, распространяясь на примыкающие к ним сельхозугодья. После воздействия огня количество жизнеспособных деревьев – менее 10 %, а живой напочвенный покров выгорает, практически полностью. Лесополосы утрачивают свою жизнедеятельность, сохраняются отдельные куртины. Мелиоративной ценности такие лесополосы не представляют, являясь, по сути, гарью.

Регрессионный анализ полученных данных позволил получить линейную зависимость скорости кромки ландшафтного пожара ($V_{\text{лп}}$, м/мин) от средневзвешенного балла лесоводственно-мелиоративной оценки защитных лесонасаждений (ЛМО), по Е. С. Павловскому, 1973:

$$V_{\text{лп}} = -1,35_{\text{лмо}} + 7,16 \text{ при } R^2 = 0,645, \quad (1)$$

Как следует из решения уравнения (1), наименьшая скорость кромки ландшафтного пожара характерна для Приазовского ЛМР – она не превышает 1,9 м/мин., максимальная – для Сальско-Манычского – 3,5 м/мин. В условиях Доно-Донецкого и Нижне-Донского ЛМР данный показатель составляет 2,6 м/мин. Эти закономерности связаны с большей пожароустойчивостью лесных насаждений в Приазовском ЛМР, определяемых их лесоводственно-мелиоративным состоянием (средневзвешенный балл 3,9), о чем говорилось выше. Агролесомелиоративные насаждения Сальско-Манычского лесомелиоративного района обладают меньшей пожароустойчивостью вследствие плохого состояния (средневзвешенный балл лесоводственно-мелиоративной оценки 2,7). Данные по скорости кромки ландшафтных пожаров в условиях региона исследований соотносятся с ранее опубликованными сведениями [3, 8, 9].

Получена зависимость плотности пожаров в агролесоландшафтах (Π , кол-во/млн га в год) от лесоводственно-мелиоративной оценки насаждений (2):

$$\Pi = -52,4_{\text{лмо}} + 259,04 \text{ при } R^2 = 0,758, \quad (2)$$

Как видно из уравнения (2), плотность пожаров в агролесоландшафтах также определяется лесоводственно-мелиоративным состоянием насаждений. В Доно-Донецком и Нижне-Донском ЛМР она равна 81 пожарам/млн га в год, достигая наименьшего значения в условиях Приазовского лесомелиоративного района – 55, и максимального – в Сальско-Манычском ЛМР – 118.

Зависимость горимости агролесоландшафтов (Γ , га/тыс. га в год) от лесоводственно-мелиоративной оценки защитных насаждений также описывается уравнением линейного вида (3):

$$\Gamma = -0,08_{\text{лмо}} + 0,41 \text{ при } R^2 = 0,758, \quad (3)$$

Решение зависимости (3) указывает на то, что лесоводственно-мелиоративное состояние защитных насаждений является важным фактором, влияющим на горимость сельскохозяйственных ландшафтов. Так, в Приазовском ЛМР она минимальная в регионе и составляет лишь 0,09 га/тыс. га в год. Наибольшее значение горимости характерно для агролесоландшафтов Сальско-Манычского ЛМР – 0,2 га/тыс. га в год, с худшим в регионе показателем лесоводственно-мелиоративного состояния насаждений. Для Доно-Донецкого и Нижне-Донского ЛМР показатель горимости составляет 0,14 га/тыс. га в год.

Таким образом, на территории лесомелиоративных районов Ростовской области, при IV-V классах пожарной опасности погодных условий, динамика природных пожаров в условиях агролесоландшафтов, значительно отличается. Существенное влияние на распространение низового огня оказывают совокупности защитных лесонасаждений, преимущественно – ползащитные, пастбищезащитные и прибалочные лесные полосы, различного лесоводственно-мелиоративного состояния.

В основу пирогенного районирования агролесоландшафтов, наряду с пожарной опасностью по условиям погоды, предлагается положить следующие критерии: средневзвешенный балл лесоводственно-мелиоративной оценки насаждений; скорость, плотность ландшафтных пожаров, а также горимость агролесоландшафтов. С учетом полученных данных, представленных выше, имеющегося опыта пирогенного районирования лесного фонда России [10-17], а также лесомелиоративного районирования Ростовской области, предлагается деление агролесоландшафтов региона на три пирогенных района. При этом предлагается уточнить шкалу [18], выделив 3 класса пожарной опасности агролесоландшафтов с низкой, средней и высокой степенью опасности (таблица 1). Схема пирогенного районирования Ростовской области показана на рисунке 1.

Таблица 1 – Пирогенное районирование агролесоландшафтов Ростовской области
Table 1 – Pyrogenic zoning of agroforest landscapes in the Rostov Region

Площадь земель сельскохозяйственного назначения, га / Area of agricultural land, hectares	Площадь агролесомелиоративных насаждений, га / Area of agroforestry and reclamation plantings, hectares	Преобладающие виды защитных лесонасаждений / Predominant types of protective forestation		Средневзвешенный балл лесоводственно-мелиоративной оценки насаждений / Average weighted score of forestry and meliorative assessment of plantations	Скорость кромки ландшафтных пожаров, м / мин. / Landscape fire edge speed, m/min	Плотность ландшафтных пожаров / Landscape fire density	Горимость агролесоландшафтов / Agroforest landscape flammability
		Главные породы защитных лесонасаждений / Main species of protective forest plantations					
Первый пирогенный район (Приазовский ЛМР) – низкая пожарная опасность в агролесоландшафтах / The first pyrogenic region (Priazovsky forest reclamation region) – low fire hazard in agro-forest landscapes							
1471948	42684,3	Полезастные, прибалочные / protective fields, protective hollows		3,9	1,9	55	0,09
		Р6, Яс, В, Тп, Д, Гл / robinia, ash, elm, poplar, oak, honey locust					
Второй пирогенный район (Донско-Донецкий и Нижне-Донской ЛМР) – средняя пожарная опасность в агролесоландшафтах / Second pyrogenic region (Don-Donetsk and Lower Don forest reclamation regions) – moderate fire hazard in agroforest landscapes							
5098956	162710,0	Полезастные, прибалочные / protective fields, protective hollows		3,4	2,6	81	0,14
		Р6, Яс, В, Тп, Д, Гл / robinia, ash, elm, poplar, oak, honey locust					
Третий пирогенный район (Сальско-Маньчский ЛМР) – высокая пожарная опасность в агролесоландшафтах / The third pyrogenic region (Salsk-Manych forest reclamation region) – high fire hazard in agro-forest landscapes							
2193695	34817,6	Полезастные, пастбищезащитные / protective fields, protecting pastures		2,7	3,5	118	0,20
		Р6, В, Яс / robinia, elm, ash					
По региону исследований (M ± σ)² / By research region (M ± σ)²							
8764599	240212	-		2,8-3,8	2,0-3,2	58-110	0,10-0,18

Примечание: плотность ландшафтных пожаров – кол-во/1 млн га в год / Landscape fire density, number / 1 million hectares per year; горимость агролесоландшафтов – га/1 тыс. га в год / Agroforest landscape flammability, hectares / 1 thousand hectares per year.

Обозначения древесных пород: Рб – робиния; Яс – ясень; В – вяз; Тп – тополь; Д – дуб; Гл – гледичия.

Note: the density of landscape fires is the number. / 1 million hectares per year / Landscape fire density, number / 1 million hectares per year; Agroforest landscape flammability, hectares / 1 thousand hectares per year / Agroforest landscape flammability, hectares / 1 thousand hectares per year.

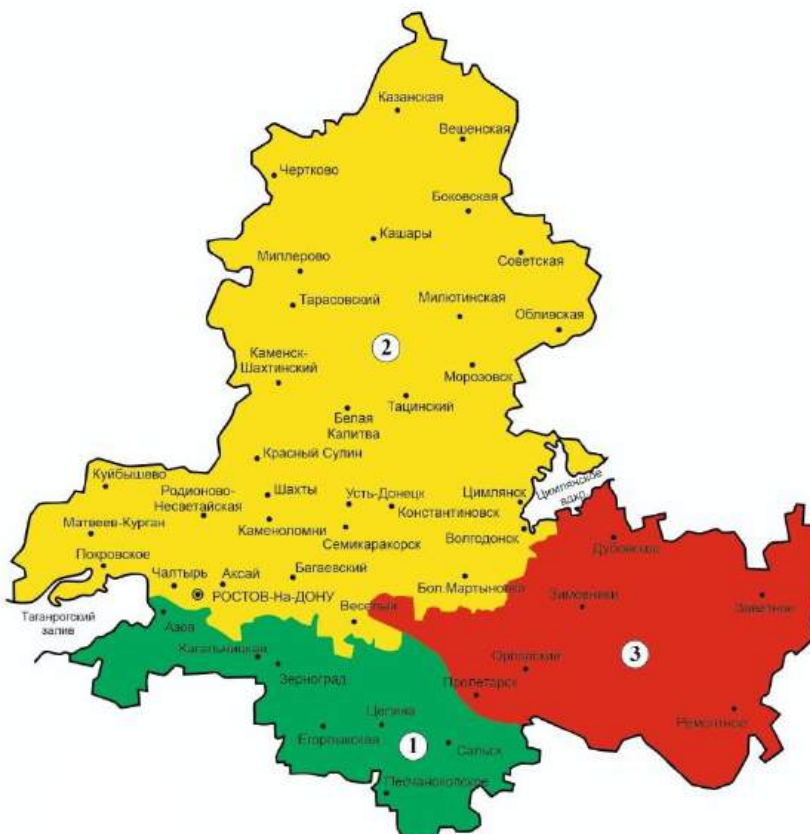


Рисунок 1 – Схема пирогенного районирования агролесоландшафтов Ростовской области:

- 2 – первый пирогенный район (низкая пожарная опасность в агролесоландшафтах);
3 – второй пирогенный район (средняя пожарная опасность в агролесоландшафтах);
4 – третий пирогенный район (высокая пожарная опасность в агролесоландшафтах)

Figure 1 – Pyrogenic zoning scheme for agroforest landscapes in the Rostov Region:

- 1 – First Fire Zone (low fire hazard in agroforest landscapes);
- 2 – Second Fire Zone (moderate fire hazard in agroforest landscapes);
- 3 – Third Fire Zone (high fire hazard in agroforest landscapes)

Первый пирогенный район (низкая пожарная опасность в агролесоландшафтах) – это территория Приазовского ЛМР со средневзвешенной лесоводственно-мелиоративной оценкой древостоев более 3,8, скоростью кромки ландшафтных пожаров менее 2 м/мин, плотностью ниже 58 пожаров/млн га в год, а также горимостью не выше 0,09 га/тыс. га в год.

Второй пирогенный район (средняя пожарная опасность в агролесоландшафтах) – территории Доно-Донецкого и Нижне-Донского ЛМР, с лесоводственной-мелиоративной оценкой защитных насаждений 2,8-3,8. Плотность пожаров колеблется в пределах 58-110 пожаров/млн га в год, скорость распространения – 2,0 м/мин-3,2 м/мин, горимость агролесоландшафтов 0,10-0,18 га/тыс. га в год.

Третий пиромный район (высокая пожарная опасность в агролесоландшафтах) – территория Сальско-Манычского лесомелиоративного района со средневзвешенной лесоводственно-мелиоративной оценкой насаждений не выше 2,7. Низовые пожары здесь распространяются с максимальной для Ростовской области скоростью – более 3,2 м/мин, их плотность превышает 110 пожаров/млн га в год, а горимость агролесоландшафтов – не менее 0,18 га/тыс. га в год.

Представленное пироженное районирование Ростовской области является укрупненным и может уточняться и дополняться.

Вышеприведенные результаты исследований указывают на необходимость развития нового направления в науке – агролесомелиоративной пироэкологии, изучающей природу пожаров в лесоагроландшафтах, вызываемые ими хозяйственно-экономические последствия, способы профилактики и борьбы с огнем, с целью адаптированного защитного лесоразведения на землях сельскохозяйственного назначения.

С учётом накопленных знаний в области лесной пирологии, ГОСТ Р 70861 – 2023, приказа Минсельхоза РФ от 26.04.2024 г. № 225 «Об утверждении Правил содержания и сохранения агролесомелиоративных насаждений и (или) агрофитомелиоративных насаждений», предлагается определение пирогенного районирования агролесоландшафтов – это объединение, на основе лесомелиоративного районирования, в территориальные единицы – пирогенные районы, земель сельскохозяйственного назначения, сходных по лесоводственно-мелиоративному состоянию защитных насаждений, климатическим и пирологическим показателям, с целью профилактики и борьбы с природными пожарами, экономической оценки их последствий, содержания и сохранения агролесомелиоративных систем и комплексов.

Заключение. Впервые, на основе лесомелиоративного районирования Ростовской области, предложено пирогенное районирование агролесоландшафтов, учитывающее пожарную опасность погодных условий, лесоводственно-мелиоративное состояние совокупности защитных насаждений, скорость распространения и плотность низовых природных пожаров, а также горимость агролесоландшафтов.

Получены регрессионные уравнения, доказывающие зависимость скорости распространения низовых пожаров, их плотности, а также горимости агролесоландшафтов, от балла лесоводственно-мелиоративной оценки защитных лесонасаждений.

Территория Ростовской области разделена на 3 пирогенных района.

Первый пирогенный район (пожарная опасность в агролесоландшафтах низкая) включает Приазовский лесомелиоративный район, площадью 1,47 млн га и защитной лесистостью 2,9 %. Характеризуется максимальной для региона средневзвешенной лесоводственно-мелиоративной оценкой защитных лесонасаждений (более 3,8 балла) и минимальными скоростью распространения пожаров (менее 2 м/мин), плотностью (не более 58 пожаров/млн га в год), а также горимостью агролесоландшафтов (не выше 0,09 га/тыс. га в год).

Второй пирогенный район (пожарная опасность в агролесоландшафтах средняя) включает территории Доно-Донецкого и Нижне-Донского ЛМР с защитной лесистостью 3,4 % и 1,5 % соответственно, и со средними для региона значениями ключевых показателей: лесоводственно-мелиоративная оценка защитных насаждений (2,8-3,8 балла), скорость распространения пожаров (2-3,2 м/мин), плотность (58-110 пожаров/млн га в год), горимость (0,10-0,18 га/тыс. га в год).

К третьему пирогенному району (пожарная опасность в агролесоландшафтах высокая) отнесена территория Сальско-Маньчского ЛМР с защитной лесистостью 1,6 %, минимальной для региона средневзвешенной лесоводственно-мелиоративной оценкой насаждений (не более 2,7), но максимальными значениями скорости пожаров (не менее 3,2 м/мин), плотности (более 110 пожаров/млн га в год) и горимости агролесоландшафтов (не менее 0,18 га/тыс. га в год).

Результаты исследований рекомендуются к применению при осуществлении мероприятий по содержанию и сохранению агролесомелиоративных насаждений, предусмотренных Приказом Минсельхоза РФ от 26.04.2024 г., № 225.

Conclusion. For the first time, based on the forest reclamation zoning of the Rostov Region, a pyrogenic zoning of agroforest landscapes is proposed. This zoning takes into account the fire hazard of weather conditions, the silvicultural and meliorative status of protective forest stands, the rate of spread and number of wild fires per surface area unit (fires density), and the flammability of agroforest landscapes.

Regression equations that demonstrate the dependence of the surface fires spread rate, their density, and the flammability of agroforest landscapes on the silvi-cultural and meliorative assessment score of protective forest stands were derived.

The territory of the Rostov Region is divided into three pyrogenic zones. The first pyrogenic region (minimal fire hazard in agroforest landscapes) includes the Azov forest reclamation region, with an area of 1.47 million hectares and a protective forest cover of 2.9 %. Region is characterized by the highest average weighted silvicultural and reclamation assessment of protective forest plantations (more than 3.8) and the lowest fire spread rate (less than 2 m/min), fires density (no more than 58 fires/million hectares per year), and flammability of agroforest landscapes (no higher than 0.09 hectares/thousand hectares per year). The second pyrogenic region (the fire danger in agroforest landscapes is average) includes the territories of the Don-Donetsk and Lower Don forest management districts, with protective forest cover of 3.4 % – 1.5 %, respectively, and with average values of key indicators for the region: forestry and meliorative assessment of protective plantings of 2.8-3.8 points, fire spread rate of 2-3.2 m/min, fires density of 58-110 / million hectares per year, flammability of 0.10-0.18 hectares/thousand hectares per year. The third pyrogenic region (the fire hazard in agroforest landscapes is maximum) includes the territory of the Salsko-Manychsky forest management district with a protective forest cover of 2.4 %, the minimum for the region average weighted forestry and reclamation assessment of plantings (no more than 2.7), but the maximum for the region values of fire speed (at least 3.2 m/min), fires density (more than 110 fires/million hectares per year), and flammability of agroforest landscapes (at least 0.18 hectares/thousand hectares per year).

The research results are recommended for use in implementing measures to maintain and preserve agroforestry plantations, as stipulated by Order No. 225 of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated April 26, 2024.

Библиографический список

1. Ивонин В. М., Танюкевич В. В. Адаптивная лесомелиорация степных агроландшафтов. Москва: «Вузская книга», 2011. 240 с.
2. Кулик К. Н. Современное состояние защитных лесонасаждений в Российской Федерации и их роль в смягчении последствий засух и опустынивания земель. Научно-агрономический журнал. 2022. № 3 (118). С. 8-13.
3. Танюкевич В. В., Доманина О. И., Тюрин С. В. и др. Рекомендации по прогнозированию распространения пожаров в лесоаграрных ландшафтах степной зоны и оценке причиненного ущерба. Новочеркасск: НИМИ, 2019. 12 с.
4. Турчин Т. Я., Ребриев А. Ю., Арчаков Д. И. и др. Национальная программа действий по борьбе с опустыниванием Ростовской области. Волгоград – Ростов-на-Дону: ФНЦ агроэкологии РАН, 2024. 240 с.
5. Кулик К. Н., Манаенков А. С. Опустынивание и защитное лесоразведение. Вызовы. Стратегия взаимодействия. Деградация земель и опустынивание. Москва: ООО «МАКС Пресс», 2020. С. 17-22.
6. Манаенков А. С., Егорова Е. В. Причины и погодные особенности формирования пожарной опасности в сосняках засушливой зоны. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 3. С. 61-66.
7. Манаенков А. С., Егорова Е. В. Лесообразование и пожарная опасность в монокультурах сосны на территории засушливых областей. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 3. С. 56-61.
8. Танюкевич В. В., Доманина О. И., Тюрин С. В. и др. Особенности низовых пожаров в агролесоландшафтах степного Придонья. Лесотехнический журнал. 2019. Т. 9. № 2 (34). С. 97-106.
9. Tanyukevich V. V., Kulik A. V., Domanina O. I. et al. Fires in arid agrarian and forest landscapes and their damage assessment. Acta Facultatis Xylogiae Zvolen. 2019. Vol. 61. No. 2. Pp. 99-107.
10. Зубарева А. М. Ключевые критерии пирологического районирования территории на региональном уровне. Региональные проблемы. 2020. Т. 23. № 3. С. 21-25.
11. Коган Р. М., Зубарева А. М. Комплексная оценка опасности возникновения пожаров растительности. Технологии техносферной безопасности. 2012. № 3 (43). С. 4.
12. Ольховка И. Э., Абрамов В. П., Залесов С. В. Анализ горимости лесов и лесопожарное районирование юга Тюменской области. Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. 2007. № 8. С. 46-49.
13. Софронов М. А., Волокитина А. В. Пирологическое районирование в таёжной зоне. Новосибирск: Наука, 1990. 205 с.
14. Усень В. В., Гордей Н. В., Каткова Е. Н. Совершенствование лесопожарного районирования территории Беларуси. Труды БГТУ. 2017. № 2 (198). С. 115-121.
15. Gouma V., Chronopoulou-Sereli A. Wildland Fire Danger Zoning - A Methodology. Int. J. Wildland Fire. 1998. № 8 (1). Pp. 37-43.
16. Parisien M.-A., Peters V. S., Wang Y. et al. Spatial Patterns of forest fires in Canada, 1980-1999. Int. J. Wildland Fire. 2006. № 15. Pp. 361-374.
17. Танков Д. А., Танков А. А., Жамурина Н. А. Лесопожарное районирование лесного фонда министерства лесного и охотничьего хозяйства Оренбургской области. Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал. 2013. № 2 (6). С. 67-74.
18. Атлас риска пожаров на территории Российской Федерации. М.: ООО «Феория», 2011. 651 с.
19. Дубенок Н. Н., Танюкевич В. В., Хмелева Д. В. и др. Живой напочвенный покров робиниевых полезащитных лесополос Ростовской области. Научная жизнь. 2018. № 12. С. 131-137.
20. Болучевский Д. А. Урожайность и качество озимой пшеницы в зависимости от приемов биологизации и обработки почвы. Агрохимический вестник. 2014. № 2. С. 39-40.

References

1. Ivonin V. M., Tanyukevich V. V. Adaptive forest reclamation of steppe agrolandscapes. Moscow: "Vuzovskaya kniga", 2011. 240 p.
2. Kulik K. N. Current state of protective forest plantations in the Russian Federation and their role in mitigating the effects of droughts and desertification. Scientific and Agronomical Journal. 2022. No. 3 (118). Pp. 8-13.
3. Tanyukevich V. V., Domanina O. I., Tyurin S. V. et al. Recommendations for forecasting the spread of fires in forest-agrarian landscapes of the steppe zone and assessing the damage caused. Novocherkassk: NIMI, 2019. 12 p.
4. Turchin T. Ya., Rebriev A. Yu., Archakov D. I. et al. National action program to combat desertification of the Rostov region. Volgograd - Rostov-on-Don: Federal Scientific Center of Agroecology, Russian Academy of Sciences, 2024. 240 p.
5. Kulik K. N., Manaenkov A. S. Desertification and protective afforestation. Challenges. Interaction strategy. Land degradation and desertification. Moscow: ООО "MAX Press". 2020. Pp. 17-22.
6. Manaenkov A. S., Egorova E. V. Causes and weather features of fire hazard formation in pine forests of arid zones. News of the Nizhnevolzhsk Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2013. No. 3. Pp. 61-66.
7. Manaenkov A. S., Egorova E. V. Forest formation and fire hazard in pine monocultures in arid regions. News of the Nizhnevolzhsk Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2013. No. 3. Pp. 56-61.
8. Tanyukevich V. V., Domanina O. I., Tyurin S. V. et al. Features of ground fires in arid agrarian and forest landscapes of the steppe Don region. Forest Engineering Journal. 2019. Vol. 9. No. 2 (34). Pp. 97-106.
9. Tanyukevich V. V., Kulik A. V., Domanina O. I. et al. Fires in arid agrarian and forest landscapes and their damage assessment. Acta Facultatis Xylogiae Zvolen. 2019. Vol. 61. No. 2. Pp. 99-107.

10. Zubareva A. M. Key criteria for pyrological zoning of the territory at the regional level. *Regional Problems*. 2020. Vol. 23. No. 3. Pp. 21-25.
11. Kogan R. M., Zubareva A. M. Comprehensive assessment of the risk of vegetation fires. *Technosphere Safety Technologies*. 2012. No. 3 (43). P. 4.
12. Olkhovka I. E., Abramov V. P., Zalesov S. V. Analysis of Forest Combustibility and Forest Fire Zoning in the South of Tyumen region. *Bulletin of the Moscow State Forest University - Forest Bulletin*. 2007. No. 8. Pp. 46-49.
13. Sofronov M. A., Volokitina A. V. *Pyrological Zoning in the Taiga Zone*. Novosibirsk: Nauka, 1990. 205 p.
14. Usenya V. V., Gordey N. V., Katkova E. N. Improving Forest Fire Zoning in Belarus. *Proceedings of BSTU*. 2017. No. 2 (198). Pp. 115-121.
15. Gouma V., Chronopoulou-Sereli A. Wildland Fire Danger Zoning – A Methodology. *Int. J. Wildland Fire*. 1998. 8 (1). Pp. 37-43.
16. Parisien M.-A., Peters V.S., Wang Y. et al. Spatial Patterns of forest fires in Canada, 1980-1999. *Int. J. Wildland Fire*. 2006. No. 15. Pp. 361-374.
17. Tankov D. A., Tankov A. A., Zhamurina N. A. Forest fire zoning of the forest fund of the Ministry of Forestry and Hunting of the Orenburg Region. *Bulletin of the Orenburg State Pedagogical University. Electronic scientific journal*. 2013. No. 2 (6). Pp. 67-74.
18. Atlas of fire risk on the territory of the Russian Federation. M.: OOO Feoriya, 2011. 651 p.
19. Dubenok N. N., Tanyukevich V. V., Khmeleva D. V. et al. Living ground cover of robinia shelterbelts in the Rostov region. *Scientific life*. 2018. No 12. Pp. 131-137.
20. Boluchevsky D. A. Yield and quality of winter wheat depending on biologization and soil cultivation techniques. *Agrochemical Bulletin*. 2014. No. 2. Pp. 39-40.

Информация об авторах

Кулик Константин Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник, ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), ORCID: 0000-0001-5927-7336, e-mail: kulikak79@yandex.ru

Танюкевич Вадим Викторович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), ORCID: 0000-0001-8052-6835, e-mail: tanyukevich-v@vifanc.ru

Authors' Information

Kulik Konstantin Nikolaevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher, Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: 0000-0001-5927-7336, e-mail: kulikak79@yandex.ru

Tanyukevich Vadim Viktorovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: 0000-0001-8052-6835, e-mail: tanyukevich-v@vifanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-02

THE UP-TO-DATE LANDS MOISTURE CONTENT ASSESSMENT OF THE VOLGOGRAD SUBURBAN AGRICULTURAL DISTRICT

¹Novikov A. E., ^{1,2}Bogomolova N. V., ¹Zbukarev R. V.

¹*Research Institute of Irrigated Agriculture Branch of the All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov
Volgograd, Russian Federation*

²*Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba
Moscow, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: ae_novikov@mail.ru

Received 11.01.2026

Submitted 03.02.2026

The study was funded by the Russian Ministry of Education and Science under the State Assignment FNFR-2025-0003.

Summary

The article examines the availability of agro-climatic resources in the Volgograd suburban agricultural region and current trends in changes in the influx of natural precipitation and solar radiation in order to improve the sustainability of agricultural production.

Abstract

Introduction. Analysis of heat and moisture resource availability is fundamental for assessing and improving the sustainability of agriculture and adapting agricultural systems to the effects of adverse seasonal and climatic fluctuations. **Object.** The object of the study were the agrometeorological parameters and moisture index of the Volgograd suburban agricultural region, one of the largest in Russia in terms of vegetable production. **Materials and methods.** To assess the territory's availability of heat and moisture resources, A. V. Danilchenko calculated natural moisture coefficient was used. The study was based on specialized meteorological datasets covering a period of more than 50 years, from 1973 to 2023. Integral availability curves, which allow one to estimate the probability of exceeding the studied value among the overall statistical set of the series, as well as statistical analysis methods, were used as tools for studying the meteorological

logical data. **Results and discussion.** It was found that the average year is characterized by average daily air temperatures ΣT and precipitation ΣP of at least 3155-3189°C and 67-74 mm, respectively. While most crops are provided with sufficient heat for maturation, natural precipitation during the growing season is insufficient for normal plant development. Moreover, if the average value of the ΣT parameter is considered a typical and reliable characteristic of the entire data sample ($C_V = 6.7\%$), then in the case of ΣP , the variability of the indicator indicates the associated high level of risk ($C_V = 44.3\%$). For an integrated assessment of the moisture content of agricultural lands, calculations of the natural moisture coefficient (Danilchenko A. V.) K_{UD} were carried out. It was found that in average (50 %) and moderately dry (75-80 %) years, K_{UD} values can exceed 0.24-0.27, which characterizes moisture conditions as arid and very arid. An analysis of current trends in heat and moisture availability indicates a decrease in provided ΣP by 10 mm and an increase in ΣT by 134°C in an average year. Sustainable agriculture in these conditions is realized primarily through irrigation in combination with other adaptation measures.

Keywords: climate change, farming systems, agro-climatic resources, soil moisture content, crop forecasting.

Citation. Novikov A. E., Bogomolova N. V., Zbukarev R. V. The up-to-date lands moisture content assessment of the Volgograd suburban agricultural district. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 25-35 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-02.

Authors' contribution. All the authors of this study were directly involved in the planning, execution or analysis of this study. All the authors of this article have read and approved the submitted final version.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 551.577.38: 631.67

АКТУАЛЬНАЯ ОЦЕНКА УВЛАЖНЕННОСТИ ЗЕМЕЛЬ ВОЛГОГРАДСКОГО ПРИГОРОДНОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО РАЙОНА

¹Новиков А. Е., член-корреспондент РАН, доктор технических наук

^{1,2}Богомолова Н. В., ассистент

¹Збукарев Р. В., старший лаборант-исследователь

¹Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия –
филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова»
г. Волгоград, Российская Федерация

²Российский университет дружбы народов
г. Москва, Российская Федерация

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России по Государственному заданию FNFR-2025-0003.

Актуальность. Анализ обеспеченности ресурсами тепла и влаги является базовым для оценки и повышения устойчивости земледелия, адаптации систем ведения сельского хозяйства к последствиям негативных сезонных и климатических колебаний. **Объект.** Объектом исследования являлись агрометеорологические параметры и показатель увлажненности Волгоградского пригородного сельскохозяйственного района, как одного из крупнейших в России по объему производства продукции овощеводства. **Материалы и методы.** Для оценки обеспеченности территории ресурсами тепла и влаги использовали расчетный коэффициент природного увлажнения А. В. Данильченко. Базовой информацией для выполнения исследования послужили специализированные массивы метеорологических данных за более чем 50-летний период с 1973 по 2023 гг. В качестве инструментария для изучения метеоданных использовали интегральные кривые обеспеченности, позволяющие оценить вероятность превышения изучаемой величины среди общей статистической совокупности ряда, а также статистические методы анализа. **Результаты и выводы.** Установлено, что средний год обеспечен суммами среднесуточных температур воздуха ΣT и атмосферных осадков ΣP на уровне не ниже 3155-3189°C и 67-74 мм соответственно. Если большинство культур для вызревания обеспечены теплом, то влаги естественных осадков в период вегетации недостаточно для нормального развития растений. При этом, если средняя величина признака ΣT считается типичной и надежной характеристикой всей выборки данных ($C_V = 6,7\%$), то в случае ΣP вариативность показателя указывает на связанный с ним высокий уровень риска ($C_V = 44,3\%$). Установлено, что в средние (50 %-е) и среднесухие (75-80 %-е) годы значения K_{UD} могут превышать 0,24-0,27, что характеризует условия увлажнения как засушливые и очень засушливые. Анализ актуальных трендов тепло- и влагообеспеченности указывает на уменьшение обеспеченных ΣP на 10 мм и повышение ΣT на 134°C в средний год. Устойчивое земледелие в этих условиях реализуется преимущественно на орошении в сочетании с другими адаптационными мероприятиями.

Ключевые слова: изменение климата, системы земледелия, агроклиматические ресурсы, увлажненность почв, прогнозирование урожаев.

Цитирование. Новиков А. Е., Богомолова Н. В., Збукарев Р. В. Актуальная оценка увлажненности земель Волгоградского пригородного сельскохозяйственного района. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 25-35. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-02.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В стратегии национальной безопасности¹ одной из важнейших задач на долгосрочную перспективу является стабильное и продуктивное производство продовольствия, сочетающее экологическую, экономическую и социальную устойчивость. При этом уже к 2030 году необходимо увеличить объемы продукции агропромышленного комплекса на 25 % (к базовому 2021 г.), а экспорт – в 1,5 раза². Обеспечение населения России доступными и качественными продуктами питания, рост показателей внешней торговли продовольственных товаров и сельскохозяйственного сырья гарантирует независимость страны в многополярном мире. Однако для этого требуется разработка и реализация целевых мероприятий с учетом существующих вызовов, возможных угроз и рисков. Особое внимание следует уделить прогнозированию климатических и агроэкологических угроз, аномальных природных явлений для адаптации систем ведения сельского хозяйства к последствиям воздействия абиотических факторов окружающей среды³ [6, 11].

Так, неблагоприятные погодные условия 2024 года в ряде регионов нанесли ощутимый ущерб отечественному растениеводству. Относительно 2023 года по стране отмечено снижение валового сбора зерна на 13,8 %, подсолнечника на 4,0 %, сахарной свеклы на 21,1 %, картофеля на 10,9 %, овощей на 0,6 %, и урожайности культур в целом – зерновых на 10,6 % (2,77 т/га), сахарной свеклы на 23,8 % (38,4 т/га), картофеля на 6,4 % (17,8 т/га). В 2025 году сельское хозяйство юга России снова пострадало из-за весенних заморозков и летней аномальной засухи. В сравнении с 2024 годом в Краснодарском крае валовый сбор зерна и урожайность зерновых снизились почти на 20 и 25 % (4,73 т/га) соответственно, а наибольшее падение отмечено по подсолнечнику – 33,3 % (1,36 т/га). В Ростовской области недобор зерновых составил около 50 %!

В последние годы, учитывая экстремальные погодные явления, тенденции роста повторяемости, интенсивности и продолжительности засух, проблема повышения устойчивости урожайности сельскохозяйственных культур особо актуальна и обозначена на государственном уровне. В частности, одним из главных направлений Стратегии научно-технологического развития определено «Высокопродуктивное и устойчивое к изменениям природной среды сельское хозяйство»⁴. Для противодействия опасным гидро- и метеорологическим явлениям необходимо адаптировать системы земледелия путем использования обоснованных и рекомендованных наукой севооборотов с учетом приоритетов в специализации агропроизводства, ресурсосберегающих технологий, агротехнических и агро-мелиоративных приемов, увеличения площади мелиорированных земель, создания новых сортов и гибридов культур с высокой толерантностью к заморозкам и засухе⁵. Сегодня для развития отечественной селекции и семеноводства культур, устойчивых к стресс-факторам природной среды, реализуется Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017-2030 годы, включающая 15 подпрограмм, в том числе по картофелю, сахарной свекле, кукурузе, масличным, техническим, зерновым и овощным культурам⁶. В 2025 году дан старт национальному проекту «Технологическое обеспечение продовольственной безопасности», направленному на укрепление технологического сувере-

¹ Указ Президента РФ от 02.07.2021 г. № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации».

² Указ Президента РФ от 07.05.2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года».

³ Указ Президента РФ от 21.01.2020 г. № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» (в ред. Указа Президента РФ от 10.03.2025 г. № 141).

⁴ Указ Президента РФ от 28.02.2024 г. № 145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации».

⁵ Материалы форума «Научное обеспечение продовольственной безопасности в условиях глобальных вызовов». М.: РАН, 2024. 40 с.

⁶ Постановление Правительства РФ от 25.08.2017 г. № 996 «Об утверждении Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017 – 2030 годы» (в ред. Постановления Правительства РФ от 27.03.2025 г. № 395).

нитета страны в сфере сельского хозяйства⁷. Здесь в рамках реализации инициативы «Селекция и генетика» предусмотрено достижение к 2030 году уровня обеспеченности отечественными семенами не ниже 75 %.

Проблема продовольственной безопасности в новых климатических реалиях сформулирована ФАО ООН в 2010 году в концепции «Климатически оптимизированное сельское хозяйство» (КОСХ) – «Climate smart agriculture (CSA)». Ее основными целями определены устойчивое повышение продуктивности и доходности, адаптация и устойчивость к изменению климата, сокращение выбросов парниковых газов [15, 16].

Таким образом, сегодня в России и мире для смягчения и преодоления последствий негативных сезонных и климатических колебаний на высоком уровне поставлены задачи по разработке и реализации комплекса адаптивных мер для повышения устойчивости земледелия и агропродовольственных систем в целом с учетом территориальных особенностей. При этом начальным мероприятием является анализ агроклиматических ресурсов для полевого производства, который показывает не только ретроспективные погодные аномалии, но и служит исходной базой данных для прогнозирования подобных явлений. На основе экспертных оценок полученной метеоинформации актуализируют природную тепло- и влагообеспеченность, и, при необходимости, корректируют структуру посевных площадей, агротехнику и сроки выполнения полевых работ, подбирают отзывчивые на местные условия возделывания сельскохозяйственной культуры [1, 8, 13].

Цель настоящей работы состояла в территориальной оценке увлажненности земель Волгоградского пригородного сельскохозяйственного района по ретроспективным метеоданным с актуализацией трендов тепло- и влагообеспеченности.

Материалы и методы. Для оценки режима увлажнения территории используют разные методы расчета с применением фактических данных по поступлению природного тепла, света и влаги – главных факторы жизни растений. Среди них в отечественной сельскохозяйственной климатологии распространены расчеты гидротермического коэффициента Селянинова Г. Т.⁸ (K_{gt}), коэффициентов естественного (природного) увлажнения в интерпретации Шашко Д. И. (M_d), Иванова Н. Н. (K_{ul}) и Данильченко А. В. (K_{ud}), радиационного индекса сухости Будыко М. И. (I_s) – таблица 1⁹.

Возможность использования методов оценки агроклиматических ресурсов главным образом ограничивается наличием метеоинформации для проведения соответствующих расчетов. Наиболее доступным считается определение K_{gt} , показывающего уровень увлажненности территории по двум показателям – атмосферным осадкам и температуре воздуха за теплый (вегетационный) период года, в целях дальнейшего принятия решений по выбору возделываемых культур. Данный показатель не содержит потенциальную эвапотранспирацию (потенциальное испарение) – составляющую водного баланса, и не полностью охватывает межфазные периоды растений.

Для агроклиматического районирования сельскохозяйственных земель чаще на практике применяют M_d , K_{ul} и K_{ud} . Эти показатели учитывают факторы испарения – испаряемость или дефицит влажности воздуха. Если менее детализированный расчет M_d удобен для сравнительного анализа больших по площади территорий, то K_{ul} и K_{ud} отражают интегральные оценки устойчивости зонального земледелия. При этом K_{ud} является более объективным, так как в расчет включены активные запасы влаги в метровом слое почвы и охватывает все фазы развития большинства сельскохозяйственных культур. Применение I_s для моделирования аридности климата также физически обосновано и дает высокую теоретическую точность оценки, но, как уже отмечали, на практике сдерживается нехваткой фактических данных для агрометеорологических вычислений. В этой связи и с учетом цели исследования для анализа ресурсов тепла и влаги использован коэффициент естественного увлажнения Данильченко А. В. (K_{ud}).

⁷ Национальный проект по обеспечению технологического лидерства «Технологическое обеспечение продовольственной безопасности» (утв. Протоколом заочного голосования членов президиума Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам от 20.12.2024 г. № 12пр).

⁸ Селянинов Г. Т. Оценка обеспеченности влагой вегетационного периода // Мировой агро – климатический справочник. Л.: Гидрометеиздат, 1937. С. 20-26.

⁹ Шашко Д. И. Агроклиматическое районирование СССР. М.: Колос, 1967. 336 с.

Таблица 1 – Оценки увлажненности сельскохозяйственных земель
Table 1 – Estimates of agricultural land moisture content

Показатель / Indicator	^a K_{gt}	^b M_d	^c K_{ul}	^d K_{ud}	^e I_s
Формула / Formula	$\frac{\sum P}{0,1 \cdot \sum T}$	$\frac{\sum P}{\sum d}$	$\frac{\sum P}{E_0}$	$\frac{(W_a + \sum P)}{E_0}$	$\frac{R}{L \cdot \sum P}$
Условия и значение показателя увлажнения / Conditions and meaning of the moisture index					
Избыточное / Excessive	> 1,3	> 0,60	$\frac{> 1,50}{> 1,33}$	$\frac{> 1,50}{> 1,33}$	$\frac{< 0,45}{< 0,75}$
Достаточное / Sufficient		0,60 – 0,45	$\frac{1,49 - 1,00}{1,33 - 1,00}$	$\frac{1,49 - 1,00}{1,33 - 1,00}$	$\frac{0,45 - 1,00}{0,75 - 1,00}$
Умеренное / Moderate	1,3 – 1,0	0,45 – 0,35	$\frac{0,99 - 0,60}{1,00 - 0,77}$	$\frac{0,99 - 0,60}{1,00 - 0,77}$	$\frac{1,00 - 1,28}{1,28 - 1,80}$
Недостаточное / Insufficient	1,0 – 0,7	0,35 – 0,25	$\frac{0,59 - 0,30}{0,77 - 0,55}$	$\frac{0,59 - 0,30}{0,77 - 0,55}$	$\frac{1,00 - 3,00}{1,28 - 1,80}$
Засушливые и очень засушливые / Dry and very dry	0,7 – 0,5	0,25 – 0,15	$\frac{0,29 - 0,13}{0,55 - 0,33}$	$\frac{0,29 - 0,13}{0,55 - 0,33}$	$\frac{1,80 - 3,00}{1,80 - 3,00}$
Сухие / Dry	< 0,5	< 0,15	$\frac{< 0,13}{< 0,33}$	$\frac{< 0,13}{< 0,33}$	$\frac{> 3,00}{> 3,00}$
^a $\sum P, \sum T$ – суммы осадков (мм) и температур воздуха (°C) за период с температурой воздуха $\geq 10^\circ\text{C}$ / precipitation amounts (mm) and air temperatures (°C) for the period with air temperatures $\geq 10^\circ\text{C}$; ^b $\sum P, \sum d$ – суммы осадков (мм) и среднесуточных дефицитов влажности воздуха (мм) за год / total precipitation (mm) and average daily air humidity deficits (mm) per year; ^c $\sum P, E_0$ – сумма осадков (мм) и испаряемость (мм) за год / total precipitation (mm) and evaporation rate (mm) per year; ^d $W_a, \sum P, E_0$ – соответственно активные запасы влаги в метровом слое почвы на начало расчетного периода (мм), сумма осадков (мм) и испаряемость или потенциальная эвапотранспирация (мм) за период с температурой воздуха $\geq 5^\circ\text{C}$ / respectively, the active moisture reserves in the meter-deep soil layer at the beginning of the calculation period (mm), the total precipitation (mm) and evaporation or potential evapotranspiration (mm) for the period with an air temperature $\geq 5^\circ\text{C}$; ^e $\sum P, R, L$ – соответственно сумма осадков (мм) и радиационный баланс (ккал/см ²) за год, скрытая теплота испарения (ккал/см ²) / respectively, the amount of precipitation (mm) and radiation balance (kcal·cm ⁻²) for the year, latent heat of evaporation (kcal·cm ⁻²).					

Примечание: под чертой – значения показателей по шкале Шашко Д. И.⁹

Note: below the line are the values of the indicators according to the Shashko D. I. scale.⁹

Информацией для территориальной оценки тепло- и влагообеспеченности послужили специализированные массивы метеорологических данных за более чем 50-летний ретроспективный период (с 1973 по 2023 гг.) с официального портала ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»¹⁰ по метеостанции с синоптическим индексом 34561 (координаты – широта 48°40', долгота 44°27').

Обеспеченность метеорологического показателя рассчитывали по формуле Н. Н. Чегодаева¹¹:

$$p = \frac{m - 0,3}{n + 0,4} \cdot 100\%,$$

где m – номер ранга показателя в ранжированном по убыванию ряду многолетних данных; n – общее число наблюдений в многолетнем ряду данных.

Для оценки изменчивости и асимметричности функции обеспеченности метеорологического показателя вычисляли значения коэффициентов вариации и асимметрии:

$$C_V = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K - 1)^2}{n}};$$

$$C_S = 2 \cdot C_V,$$

где K – безразмерный модульный коэффициент, характеризующий отношение изменяющейся во времени величины к ее среднему значению.

¹⁰ ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных». Режим доступа <http://meteo.ru>.

¹¹ Чегодаев Н. Н. Расчет поверхностного стока с малых водосборов. М.: Трансжелдориздат, 1953. 76 с.

Результаты и обсуждение. Волгоградский пригород, выделенный с учетом дифференциации условий развития АПК и сельскохозяйственного районирования, включает Городищенский, Калачёвский, Среднеахтубинский и Светлоярский муниципальные районы. Занимая примерно 10 % площади от всех сельхозугодий, здесь производится более 22 % продукции растениеводства, преимущественно овощной и плодово-ягодной [2]. В последние годы Волгоградская область по валовому сбору овощей входит в тройку субъектов-лидеров; производя около 8,5 % от общероссийского объема, вносит существенный вклад в обеспечение населения страны плодовоовощной продукцией. При этом рассматриваемая территория относится к зоне рискованного земледелия. Из-за географического расположения в зоне сухих степей на северо-западе и полупустынь на востоке, воздействия резко континентального климата (возрастающего вдоль параллели), а также особенностей ландшафта часто подвержена опасным погодным воздействиям – жаре, атмосферной и почвенной засухе, суховеям, шквалистому и ураганному ветру, пыльным бурям, граду и заморозкам, другим явлениям (таблица 2)¹² [3, 10, 14], которые обусловлены сменой режима увлажнения территории и наносят существенный ущерб сельскому хозяйству. Для смягчения их последствий в регионе принят план адаптации к изменению климата, включающий проведение гидро- и лесомелиоративных мероприятий в сочетании с другими агроприемами, расширение площади стрессоустойчивых культур, мониторинговые наблюдения за погодой для достоверного установления частоты проявления экстремальных явлений, а также отклонений метеопараметров от среднесезонных значений.

Таблица 2 – Опасные метеоявления на территории Волгоградской области
в период вегетации культур

Table 2 – Dangerous weather events in the Volgograd region during the growing season

Метеоявления / Meteorological phenomena	Параметры метеоявления / Parameters of the meteorological phenomenon		Подверженность территории / Exposure of the territory, %	Примечание / Note
	повторяемость / repeatability	уровень опасности / danger level		
Жара / Heat	Непрерывно, Май – сентябрь / Continuously, May – September	Опасный / Dangerous	100	Максимальная температура + 44°С / Maximum temperature + 44°С
Суховей / Dry wind	1 раз в 2-3 года / Once every 2-3 years		40-90	Очень интенсивный / Very intense
Засуха / Drought	1 раз в 4-5 лет / Once every 4-5 years		50-100	В условиях высокого риска – Светлоярский, Среднеахтубинский, Палласовский и Ленинский районы / High-risk areas include Svetloyarsky, Sredneakhtubinsky, Pallasovsky and Leninsky districts
Шквал, ураган / squall, hurricane	1-2 раза в год / 1-2 times a year	Умеренно опасный / Moderately dangerous	5-10	Более 25 м/с / More than 25 m·s ⁻¹
Крупный град / Large hail	1-2 раза в 10 лет / 1-2 times every 10 years			–
Сильный ливень / Heavy rain	1 раз в 4-5 лет / Once every 4-5 years		3-5	–
Заморозки / Frosts			30-50	–

Для актуальной оценки увлажненности сельскохозяйственных земель построены эмпирические кривые обеспеченности (вероятности превышения) сумм среднесуточных атмосферных осадков (рисунок 1) и температур воздуха (рисунок 2) за расчетный период с мая по сентябрь исследуемого временного ряда. Анализ кривых показывает, что 50 %-я

¹² Региональный план адаптации к изменениям климата на территории Волгоградской области (утв. Постановлением Администрации Волгоградской от 27.04.2022 г. № 248-п).

обеспеченность территории осадками (средний год) варьируется от 156 до 163 мм. Сухой год (95 %) обеспечен осадками на уровне не ниже 62-74 мм, а влажный (5 %) – 309-342 мм. Таким образом, практически ежегодно влаги естественных осадков в период вегетации недостаточно для нормального развития растений. Дефицит влаги, особенно в критические фазы развития культур (цветение, формирование урожая), без его восполнения орошением, является лимитирующим фактором снижения урожая.

Среднемноголетнее значение сумм температур варьируется от 3155 до 3189°C. Условия для выращивания сельскохозяйственных культур принято считать «хорошими» при обеспеченности теплом 80 % и выше¹³. Для данной вероятности 8 лет из 10 обеспечены суммой среднесуточных температур 2960°C и более. Эти суммы полностью обеспечивают теплом такие культуры как овощные, картофель, зерновые колосовые, кукуруза, подсолнечник. Позднеспелые сорта винограда, сои и риса, потребность в тепле которых варьируется от 3000 до 3550°C, в редкие годы могут не сформировать запланированных урожаев из-за недостатка термических ресурсов.

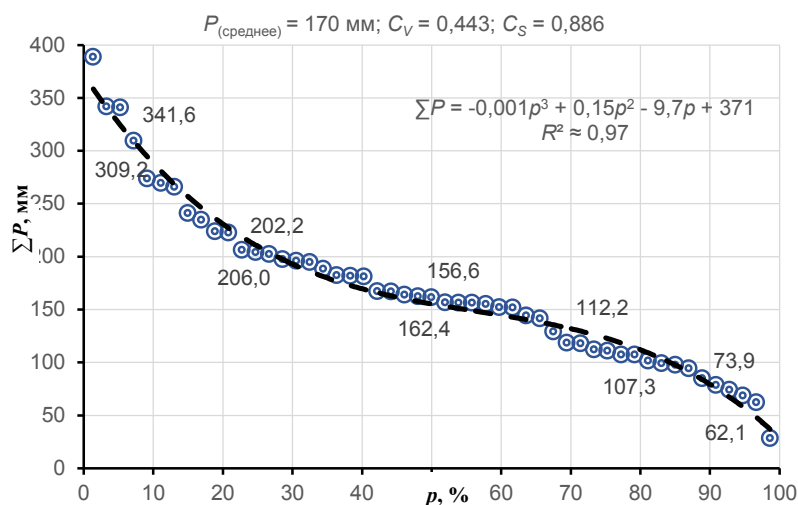


Рисунок 1 – Обеспеченность суммой среднесуточных атмосферных осадков расчетного периода, 1973-2023 гг.

Figure 1 – Provision with the amount of average daily precipitation for the calculation period, 1973-2023

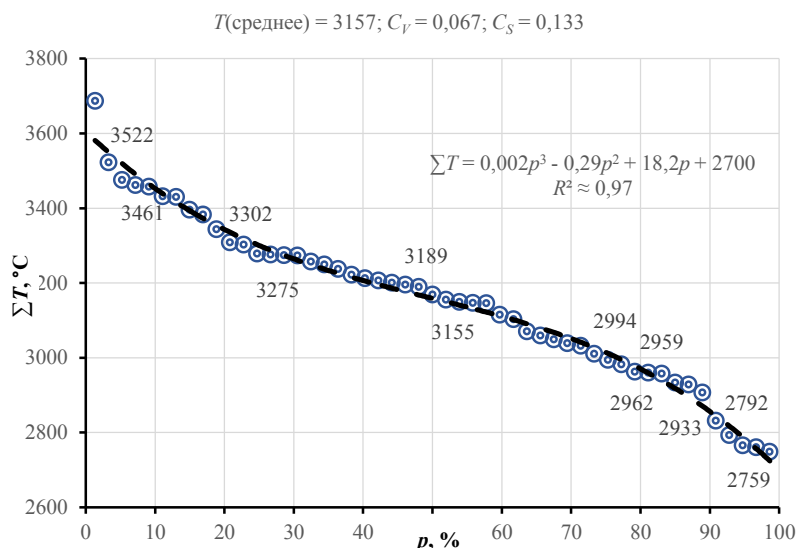


Рисунок 2 – Обеспеченность суммой среднесуточных температур воздуха расчетного периода, 1973-2023 гг.

Figure 2 – Provision with the sum of average daily air temperatures for the calculation period, 1973-2023

¹³ Агроклиматический справочник по Волгоградской области. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 143 с.

Для комплексной оценки тепло- и влагообеспеченности рассматриваемого сельскохозяйственного района были выполнены расчеты коэффициента естественного увлажнения K_{UD} и построена кривая обеспеченности данного показателя (рисунок 3).

Анализ полученных результатов показывает, что в средний (50 %-й) год значения величины K_{UD} обеспечены на уровне 0,26-0,27, в 7-8 лет из 10 (75-80 %-я вероятность) $K_{UD} \geq 0,24$. Условия увлажнения характеризуются как засушливые и очень засушливые (таблица 1), что согласуется с выводами других исследований [4, 5, 12], и подтверждают необходимость развития мелиорации и расширения площади орошаемых земель для повышения устойчивости сельского хозяйства на региональном уровне.

Анализ эмпирических кривых обеспеченности ΣP , ΣT и K_{UD} (рисунки 1-3) показал, что многолетние временные ряды изучаемых параметров имеют положительную (правостороннюю) асимметричность (> 0), причем для графиков $\Sigma P = f(p)$ и $K_{UD} = f(p)$ асимметрия значительна ($\geq 0,5$) – $C_S = 0,886$ и $C_S = 0,466$, а для $\Sigma T = f(p)$ – незначительна ($< 0,25$), близкая к нормальной (≈ 0) – $C_S = 0,133$. Модельно кривые обеспеченности соответствуют (коэффициент детерминации $R^2 \geq 0,97$) полиномиальной регрессии вида:

$$\Sigma P; \Sigma T; K_{UD} = b_0 + b_1 \cdot p + b_2 \cdot p^2 + b_3 \cdot p^3,$$

где b_0, b_1, b_2, b_3 – коэффициенты регрессии.

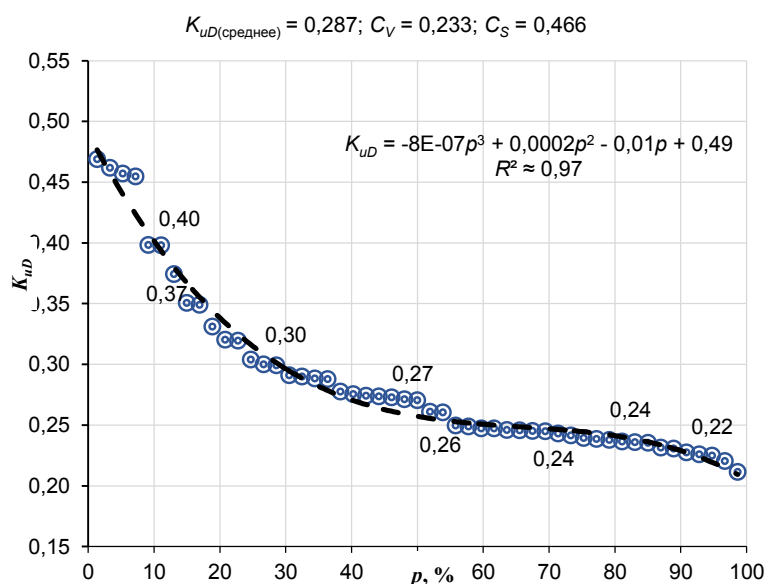


Рисунок 3 – Обеспеченность расчетного периода по коэффициенту природного увлажнения, 1973-2023 гг.

Figure 3 – Provision of the calculation period by the natural moisture coefficient, 1973-2023

Для актуализации тепло- и влагообеспеченности Волгоградской пригородной сельскохозяйственной зоны сформированы выборки со смещением рядов данных (шаг $\tau = 10$ лет) от ретроспективных к актуальным (таблица 3). По значениям сумм среднесуточных атмосферных осадков и температур воздуха по каждой выборке временного ряда построены соответствующие тренды линейной регрессии с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,97 - 0,98$ (рисунок 4), описывающие их динамику. Анализ трендов указывает на уменьшение обеспеченных ΣP на 10 мм и повышение ΣT на 134°C в средний (50 %-й) год.

Закключение. Волгоградская область одна из крупнейших в стране как по наличию сельскохозяйственных угодий (3 место – 8,8 млн га всего, 5,6 млн га пашни), так и по производству растениеводческой продукции (например, 3 место в России по овощам – более 1 млн т), в избытке обеспечена солнечной радиацией и теплом, но недостаточно влагой. Устойчивое земледелие в этих условиях реализуется преимущественно на орошении, что обуславливает необходимость развития в регионе мелиоративного комплекса.

Таблица 3 – Оценки вероятности обеспечения накопленных сумм агроклиматических ресурсов
Table 3 – Estimates of the probability of providing accumulated amounts of agro-climatic resources

Выборка временного ряда, гг. / Sample time series, years	Обеспеченность расчетного периода / Security of the settlement period, %				
	5 (влажный / wet)	25 (средневлажный / medium-humidity)	50 (средний / average)	75 (среднесухой / medium-dry)	95 (сухой / dry)
1973-2023	<u>3475</u> 341	<u>3278</u> 204	<u>3168</u> 162	<u>3034</u> 111	<u>2762</u> 69
1983-2023	<u>3498</u> 341	<u>3302</u> 197	<u>3195</u> 157	<u>3102</u> 109	<u>2830</u> 62
1993-2023	<u>3522</u> 309	<u>3380</u> 195	<u>3256</u> 155	<u>3145</u> 102	<u>2927</u> 74
2003-2023	<u>3604</u> 219	<u>3443</u> 167	<u>3302</u> 152	<u>3242</u> 115	<u>3031</u> 79

Примечание: над чертой – ресурсы тепла, °C; под чертой – ресурсы влаги, мм.

Note: above the line – heat resources, °C; below the line – moisture resources, mm.

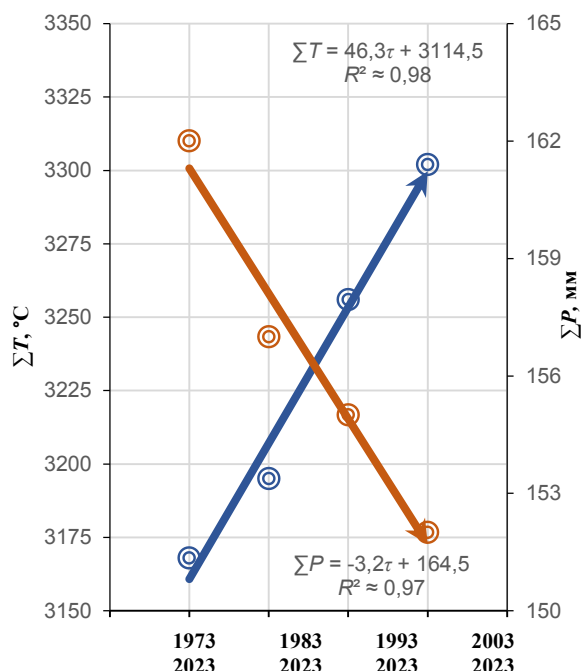


Рисунок 4 – Актуальные тренды изменения тепло- и влагообеспеченности земель Волгоградской пригородной сельскохозяйственной зоны (50 %-й год)

Figure 4 – Current trends in changes in heat and moisture supply of lands in the Volgograd suburban agricultural zone (50 % of the year)

По результатам оценок тепло- и влагообеспеченности Волгоградской пригородной сельскохозяйственной зоны, как основной по выращиванию плодоовощной продукции, на основе массива метеоданных с 1973 по 2023 годы (расчетный период май – сентябрь) и кривых обеспеченности изучаемых факторов, установлено, что в средние (50 %-е) и среднесухие (75 – 80 %-е) годы значения коэффициента естественного увлажнения (по Данильченко А. В.) K_{ud} = 0,24 – 0,27 могут быть превышены, что характеризует условия увлажнения как засушливые и очень засушливые. При этом, если статистическая совокупность по суммам среднесуточных температур воздуха однородная ($C_V < 33$ %), степень их рассеивания незначительна ($C_V < 10$ %), а средняя величина признака считается типичной и надежной характеристикой всей выборки данных – C_V = 6,7 %, то по суммам среднесуточных атмосферных осадков ситуация обратная. C_V = 44,3 % свидетельствует о неоднородности совокупности, среднее значение признака не может считаться типичной характеристикой. Вариативность показателя влагообеспеченности указывает на связанный с ним высокий уровень риска. Полученную по результатам расчетов выборку значений интегрального показателя увлажненности K_{ud} в целом можно считать однородной, так как коэффициент ва-

риации не превышает 33 % ($C_V = 23,3$ %), однако степень рассеивания данных значительна (> 20 %) – присутствует вероятность отклонения K_{UD} от средней величины признака. Таким образом, результаты исследования многолетних метеоданных рассматриваемой территории подтверждают изменчивость погоды вегетационного периода разных лет, которая при отсутствии адаптационных мероприятий существенно влияет на колебания урожайности сельскохозяйственных культур.

Conclusions. According to the results of assessments of heat and moisture supply of the Volgograd suburban agricultural zone, as the main one for growing fruit and vegetable products, based on an array of meteorological data from 1973 to 2023 (calculated period May – September) and curves of supply of the studied factors, it was established that in average (50 %) and medium-dry (75-80 %) years, the values of the natural moisture coefficient (according to Danilchenko A. V.) $K_{UD} = 0.24 - 0.27$ can be exceeded, which characterizes the moisture conditions as dry and very dry. Moreover, if the statistical population of average daily air temperature sums is homogeneous ($C_V < 33$ %), the degree of their dispersion is insignificant ($C_V < 10$ %), and the average value of the feature is considered a typical and reliable characteristic of the entire data sample – $C_V = 6.7$ %, then the situation is reversed for the sums of average daily precipitation. $C_V = 44.3$ % indicates the heterogeneity of the population, and the average value of the feature cannot be considered a typical characteristic. The variability of the moisture supply indicator indicates the high level of risk associated with it. The sample of values of the integral moisture indicator K_{UD} obtained from the calculations can be considered homogeneous as a whole, since the variation coefficient does not exceed 33 % ($C_V = 23.3$ %), however, the degree of data dispersion is significant (> 20 %) – there is a probability of K_{UD} deviation from the average value of the feature. Thus, the results of the study of long-term meteorological data for the territory under consideration confirm the variability of weather during the growing season in different years, which, in the absence of adaptation measures, significantly affects fluctuations in crop yields.

Библиографический список

1. Иванов А. Л. Почвенные ресурсы и биологический потенциал в системе мер адаптации сельского хозяйства России к природно-климатическим изменениям. Плодородие. 2018. № 1. С. 42-47.
2. Корабельников И. С. Производственно-экономические особенности сельскохозяйственного районирования: региональный аспект. Аграрный вестник Урала. 2022. № 8. С. 81-90.
3. Леонтьева Е. Е. Агроклиматические особенности сухостепной зоны светло-каштановых почв Городищенского района Волгоградской области. Научно-агрономический журнал. 2019. № 2. С. 9-14.
4. Масный Р. С., Балакай Г. Т., Юркова Р. Е., Селицкий С. А., Бабенко А. А. Районирование территории юга России по тепло- и влагообеспеченности для интродукции хлопчатника. Мелиорация и гидротехника. 2024. № 14 (4). С. 1-14.
5. Мелихов В. В., Зибаров А. А., Мелихова Н. П., Романова А. В. Характер и направленность изменений климатических параметров Волгоградской области. Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 1. С. 60-67.
6. Мохов И. И. Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования. Вестник Российской академии наук. 2022. № 92 (1). № 3-14.
7. Новиков А. Е., Дранников А. В. Прецизионные технологии орошения в повышении устойчивости земледелия к природным изменениям. Орошаемое земледелие. 2024. № 4. С. 45-50.
8. Ползиков Д. А. Основные направления политики адаптации сельского хозяйства России к климатическим изменениям. Проблемы прогнозирования. 2023. № 6. С. 119-137.
9. Потапова Т. И. Организация водоучета и водораспределения на мелиоративных системах ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз». Мелиорация и водное хозяйство. 2016. № 5. С. 3-4.
10. Пугачёва А. М., Беляев А. И., Трубакова К. Ю., Ромадина О. Д. Региональные изменения климата в сухих степях и их связь с засухами. Аридные экосистемы. 2022. № 28 (4). С. 13-21.
11. Семенов В. А. Изменение климата: причины, последствия, актуальные задачи. Вестник Российской академии наук. 2024. № 94 (3). С. 246-254.
12. Ткаченко Н. А. Засухи и урожайность зерновых культур в Волгоградской области. Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 4. С. 171-178.
13. Теймуров С. А., Казиев М. Р. А., Багомаев А. А. Региональные адаптационные меры по минимизации климатических рисков в сельском хозяйстве. Юг России: экология, развитие. 2024. № 19 (4). С. 178-190.
14. Шевченко В. А., Исаева С. Д., Дедова Э. Б. Новый этап развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса Российской Федерации. Вестник Российской академии наук. 2023. № 93 (4). С. 355-361.
15. Lipper L., McCarthy N., Zilberman D., Asfaw S., Branca G. Climate smart agriculture: Building resilience to climate change. FAO. Cham: Springer, 2018. 630 p.
16. Hellin J., Fisher E., Taylor M., Bhasme S., Loboguerrero A. M. Transformative adaptation: from climate-smart to climate-resilient agriculture. CABI Agriculture and Bioscience. 2023. No 4. P. 30.

References

1. Ivanov A. L. Soil resources and biological potential in the system of measures for adaptation of Russian agriculture to natural-climatic changes. Fertility. 2018. No 1. Pp. 42-47.
2. Korabelnikov I. S. Production and economic features of agricultural zoning: regional aspect. Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No 8. Pp. 81-90.

3. Leontyeva E. E. Agro-climatic conditions of the dry steppe zone of light chestnut soils of Gorodishchensky region of the Volgograd province. *Scientific Agronomy Journal*. 2019. No 2. Pp. 9-14.
4. Masnyi R. S., Balakay G. T., Yurkova R. Ye., Selitskiy S. A., Babenko A. A. Zoning of the southern Russia territory according to heat and moisture supply for the cotton introduction. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024. No 14 (4). Pp. 1-14.
5. Melikhov V. V., Zibarov A. A., Melikhova N. P., Romanova A. V. Nature and direction of changes of climatic parameters of the Volgograd region. *Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2019. No 1. Pp. 60-67.
6. Mokhov I. I. Climate change: causes, risks, consequences, and problems of adaptation and regulation. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2022. No 92 (1).
7. Novikov A. E., Drannikov A. V. Precision irrigation technologies in increasing the resilience of agriculture to natural changes. *Irrigated agriculture*. 2024. No 4. Pp. 45-50.
8. Polzikov D. A. Adaptation of Russian agriculture to climate change: policy objectives and main problems. *Studies on Russian Economic Development*. 2023. No 34 (6). Pp. 805-819.
9. Potapova T. I. Organization of water accounting and water allocation to reclamation systems FGBU "Management "Volgogradmelovodkhoz". *Melioration and Water Management*. 2016. No 5. Pp. 3-4.
10. Pugacheva A. M., Belyaev A. I., Trubakova K. Yu., Romadina O. D. Regional climate changes in arid steppes and their connection with droughts. *Arid Ecosystems*. 2022. No 12 (4). Pp. 353-360.
11. Semenov V. A. Climate change: causes, consequences, imperatives. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2024. No 94 (3). Pp. 246-254.
12. Tkachenko N. A. Droughts and yield of cereal crops in Volgograd region. *Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2018. No 4. Pp. 171-178.
13. Teymurov S. A., Kaziev M. R. A., Bagomaev A. A. Regional adaptation measures to minimize climate risks in agriculture. *South of Russia: ecology, development*. 2024. No 19 (4). Pp. 178-190.
14. Shevchenko V. A., Isaeva S. D., Dedova E. B. A new stage in the development of the land reclamation and water management complex in the Russian Federation. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2023. No 93 (4). Pp. 355-361.
15. Lipper L., McCarthy N., Zilberman D., Asfaw S., Branca G. *Climate smart agriculture: Building resilience to climate change*. FAO. Cham: Springer, 2018. 630 p.
16. Hellin J., Fisher E., Taylor M., Bhasme S., Loboguerrero A. M. *Transformative adaptation: from climate-smart to climate-resilient agriculture*. CABI Agriculture and Bioscience. 2023. No 4. P. 30.

Информация об авторах

Новиков Андрей Евгеньевич, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, директор, ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГИМ им. А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. им. Тимирязева, 9), <https://orcid.org/0000-0002-8051-4786>, e-mail: ae_novikov@mail.ru

Богомолова Наталья Владимировна, ассистент агроинженерного департамента Аграрно-технологического института РУДН (Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6), <https://orcid.org/0000-0002-0741-392X>, e-mail: bogomolova-nv@rudn.ru

Збукарев Роман Валентинович, старший лаборант-исследователь, ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГИМ им. А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. им. Тимирязева, 9), <https://orcid.org/0000-0002-9237-547X>, e-mail: zbukarevr@mail.ru

Authors' Information

Novikov Andrey Evgenievich, Corresponding Member of RAS, Doctor of Engineering Sciences, Director, Research Institute of Irrigated Agriculture Branch of the All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev Str., 9), <https://orcid.org/0000-0002-8051-4786>, e-mail: ae_novikov@mail.ru

Bogomolova Natalya Vladimirovna, Assistant of the Agricultural Engineering Department, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (Russian Federation, 117198, Moscow, Miklukho-Maklay Str., 6), <https://orcid.org/0000-0002-0741-392X>, e-mail: bogomolova-nv@rudn.ru

Zbukarev Roman Valentinovich, Senior Laboratory Researcher, Research Institute of Irrigated Agriculture Branch of the All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev St., 9), <https://orcid.org/0000-0002-9237-547X>, e-mail: zbukarevr@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-03

THE BASICS OF WINTER WHEAT HIGH YIELDS OBTAINING IN THE SOUTH OF RUSSIA¹Belyaev A. I., ²Petrov N. Yu., ¹Petrov Yu. N., ²Belyaev I. V., ²Shchepotko N. A.¹*Federal Scientific Institution "Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation"*²*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*Corresponding author E-mail: npetrov60@list.ru

Received 23.12.2026

Submitted 28.01.2026

The study was conducted within the framework of the State Task "Theoretical Foundations and Methodology for Assessing the Greenhouse Gas Balance in Freshwater Bodies in Arid Conditions of Southern Russia" (FNFE-2025-0012).

Abstract

Introduction. This article presents the results of a study examining the relationship between winter wheat yield and agricultural practices in the Volgograd region. It was found that the combined application of mineral nutrition at seeding at a dose of 60 kg and top dressing in the spring at a dose of 200 kg of physical

weight on southern chernozem soil with a fertility of 5.63 % humus allows for a grain yield of 9.04 t/ha for the locally bred Yelanskaya variety. The experiment included a study of winter wheat varieties in the southern chernozem zone using calculated doses of mineral nutrition – Stanichnaya (control) and promising varieties – Skipetr, Gubernator Dona and Elanskaya (local selection (patent for breeding achievement No. 11906 dated 2021). **Materials and methods.** The field experiment was conducted in 2023-2025 on the territory of "Niva" in the Elansky district of the Volgograd region, located in the southern chernozem zone. **Results and conclusions.** As a result, in the control variants, the yield varied from the Stanichnaya variety 5.11 t / ha to the Elanskaya variety – 7.56 t / ha (with the presence of humus in the arable horizon of 5.63 %). With the use of mineral nutrition during sowing, the yield increased, respectively, from 6.89 t / ha for Stanichnaya to 9.12 t / ha for the Elanskaya variety. The highest yield was obtained from Combined application of mineral nutrients during sowing and spring fertilization. The resulting yield reached 7.85 t/ha for the Stanichnaya variety and 1.56 t/ha for the Elanskaya variety.

Keywords: southern chernozem, mineral nutrition of winter wheat, winter wheat yields, winter wheat varieties, winter wheat cultivation technologies.

Citation. Belyaev A. I., Petrov N. Yu., Petrov Yu. N., Belyaev I. V., Shchepotko N. A. The basics of winter wheat high yields obtaining in the south of Russia. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 35-41 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-03.

Authors' contribution. The authors of this study were directly involved in developing the program, planning the experiment, recording and analyzing the obtained data, presenting the conclusions, and formulating proposals for production. The authors of this article reviewed and approved the final version of the article.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

УДК 633.11:631.5

ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКИХ УРОЖАЕВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ЮГЕ РОССИИ

¹Беляев А. И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

²Петров Н. Ю., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹Петров Ю. Н., кандидат сельскохозяйственных наук

²Беляев И. В., соискатель

²Щепотько Н. А., преподаватель

¹ФГБНУ Федеральный научный центр «Агроэкологии, комплексной мелиорации и защитного лесоразведения»

²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

Исследование выполнено в рамках Гос. задания «Теоретические основы и методология оценки баланса парниковых газов на пресноводных водоемах в засушливых условиях Юга России» (FNFE-2025-0012).

Актуальность и значимость исследования. В статье представлены результаты исследований, посвященных изучению влияния агротехнических приемов на урожайность озимой пшеницы в условиях Волгоградского региона. Особое внимание уделено влиянию минерального питания на продуктивность сортов озимой пшеницы, выращиваемых на черноземе южном с содержанием гумуса 5,63 %. **Объект исследования.** Объектом исследования стали сорта озимой пшеницы, выращиваемые в зоне чернозема южного Волгоградской области. В полевом опыте были изучены следующие сорта: Станичная (контроль), Скипетр, Губернатор Дона, Еланская (местной селекции, патент на селекционное достижение № 11906 от 2021 года). **Материалы и методы.** Полевой опыт проводился в 2023-2025 годах на территории землепользования ООО «Нива» Еланского района Волгоградской области. Исследования включали изучение влияния различных доз минерального питания на урожайность озимой пшеницы. В частности, изучалось влияние совместного применения минерального питания при посеве и весенней подкормке. **Результаты и выводы.** В результате проведенных исследований были получены следующие данные: на контрольных вариантах урожайность изменялась от сорта Станичная (5,11 т/га) до сорта Еланская (7,56 т/га), при применении минерального питания при посеве урожайность возрастала до 6,89 т/га у сорта Станичная и до 9,12 т/га у сорта Еланская, наибольшая урожайность была получена при совместном внесении минерального питания при посеве и весенней подкормке. Урожайность достигала 7,85 т/га у сорта Станичная и 10,56 т/га у сорта Еланская. Таким образом, результаты исследования подтверждают, что применение минерального питания в сочетании с весенней подкормкой позволяет значительно повысить урожайность озимой пшеницы в условиях Волгоградского региона.

Ключевые слова: чернозем южный, минеральное питание озимой пшеницы, урожайность озимой пшеницы, сорта озимой пшеницы, технологии возделывания озимой пшеницы.

Цитирование. Беляев А. И., Петров Н. Ю., Петров Ю. Н., Беляев И. В., Щепотько Н. А. Основы получения высоких урожаев озимой пшеницы на юге России. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 35-41. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-03.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования непосредственно участвовали в постановке программы, планировании эксперимента, учете и анализе полученных данных, в изложении выводов и формировании предположений по производству. Авторы настоящей статьи изучили и одобрили представленный в окончательном виде вариант статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. По мнению Е. А. Бильдиева (2023) «...озимая пшеница является главной зерновой культурой и во многих регионах Российской Федерации она занимает ведущие площади. Ее высокие урожайности ни с чем не сравниваются с другими зерновыми культурами. Основные площади сосредоточения: Центрально-Черноземная зона, Северный Кавказ и Поволжье» [3, 7].

«...на современном этапе, состояние мирового зернового хозяйства – важнейший индикатор эффективности всей сельскохозяйственной отрасли мировой планеты. Все это напрямую влияет на продовольственную безопасность страны и, следовательно, на устойчивость развития глобальной экономики. Дифференциация в самообеспеченности стран зерном и географическая несбалансированность между спросом и предложением являются факторами, стимулирующими развитие мировой торговли зерном. На протяжении последних 30 лет торговля зерном в мировом масштабе увеличилась вдвое, однако за последние десятилетия среднегодовые темпы его прироста замедлились» [2, 11].

Результатами исследований В. А. Капанова (2025) и других показано, что «...основополагающей проблемой сельскохозяйственного производства Российской Федерации по-прежнему остается производство и наращивание объемов зерна. Зерно является основным источником получения продуктов питания для человека, то есть обеспечение потребности населения страны хлебобулочными, макаронными и крупяными изделиями, создание кормовой базы для сельскохозяйственных животных и служит сырьевой базой для промышленности. В мировом производстве по объемам посевных площадей они занимают порядка 35 %. Вследствие многочисленных видов, форм и сортов яровых зерновых культур возделывание их возможно в различных почвенных и климатических условиях» [1, 8].

Несмотря на имеющийся богатый экспериментальный и практический материал, средняя урожайность озимой пшеницы по стране остается на сравнительно невысоком уровне, в том числе и по Волгоградской области, где средняя урожайность варьирует в пределах 2,00-3,50 т/га. Поэтому вопросы, связанные с повышением ее урожайности [4] требуют постоянного внимания, дальнейшего уточнения и изучения.

На современном этапе более широкое распространение получают передовые методы возделывания озимой пшеницы, включающие в себя элементы ресурсосбережения, внедрения современных более урожайных сортов и отработка новых элементов в технологии возделывания.

По мнению З. М. Азизова (2023) «...эта культура предъявляет повышенные требования к условиям выращивания и при строгом соответствии выполнения агротехнических приемов – можно ожидать высокую отдачу урожайности.

Несомненный интерес представляют условия выращивания и, прежде всего, почвенная характеристика (плодородие). Наличие гумуса выполняет основополагающую роль при формировании урожайности, а в сочетании с оптимальным применением минерального питания можно получать урожайность 10,0 и более т/га. В этой связи чернозем южный – прекрасное подспорье в получении высокого урожая» [1, 9].

Оптимизация элементов минерального питания является ключевым фактором повышения урожайности и качества озимой пшеницы. Научно-обоснованная система внесения удобрений позволяет учитывать содержание элементов питания в почве и адаптировать дозы и соотношения питательных веществ к конкретным условиям возделывания. В данной статье рассматриваются основные закономерности протекания почвенных и растительных процессов, а также роль азотных удобрений в повышении продуктивности озимой пшеницы.

Азотные удобрения и их применение. Азотные удобрения играют ведущую роль в повышении урожайности озимой пшеницы. Их рекомендуется применять в весенне-летний период вегетации в виде подкормок по материалам листовой и почвенной диагностики условий питания. Это позволяет обеспечить растения необходимыми питательными веществами в критические периоды их развития.

Основные закономерности почвенных и растительных процессов. Для эффективного применения азотных удобрений необходимо учитывать основные закономерности протекания почвенных и растительных процессов. Это включает знание сортовых особен-

ностей озимой пшеницы, условий возделывания и взаимодействия растений с окружающей средой. Научные исследования показывают, что оптимизация элементов минерального питания позволяет значительно повысить урожайность и качество зерна [5, 12].

Адаптивные системы земледелия. Обзор результатов исследований, проведенных научными учреждениями России, свидетельствует о перспективности применения адаптивных систем земледелия в рыночных условиях. Такие системы включают почвозащитные экономные системы обработки почвы, современные технологии нового поколения и другие элементы адаптивных систем земледелия. Они позволяют создать принципиально новые условия для воспроизводства почвенного плодородия, снизить затраты и сделать производство зерна устойчиво рентабельным и конкурентоспособным.

Оптимизация элементов минерального питания озимой пшеницы является важным аспектом повышения урожайности и качества зерна. Применение азотных удобрений в весенне-летний период вегетации, учет сортовых особенностей и условий возделывания, а также использование адаптивных систем земледелия позволяют создать условия для устойчивого и рентабельного производства зерна в степных районах Нижнего Поволжья.

Материалы и методы исследования. Полевой опыт был организован на территории землепользования ООО «Нива», расположенного в Еланском районе Волгоградской области, в зоне распространения южного чернозема. Эксперимент проводился в период с 2023 по 2025 год. Предприятие применяет классическую систему обработки почвы, включающую севооборот: черный пар – озимая пшеница – подсолнечник. Основная обработка почвы осуществляется с использованием плуга с предплужником на глубину 0,29-0,31 метра.

В рамках исследования были изучены четыре сорта озимой пшеницы: Станичная (контроль), Скипетр, Губернатор Дона и Еланская (сорт местной селекции, патент на селекционное достижение № 11906). Перед посевом семена обрабатывались баковой смесью, содержащей инсекто-фунгицидный протравитель. В процессе посева вносились удобрения в соответствии с разработанной схемой опыта: аммофос (12:52) в количестве 60 кг физического веса. В весенний период проводилась подкормка самоходным разбрасывателем Туман-2М аммиачной селитрой в дозе 200 кг физического веса.

Результаты и обсуждения. Продуктивность культуры является основным критерием оценки влияния любого элемента технологии. Для получения высокого и стабильного урожая надлежащего качества необходимо, чтобы все факторы роста растений были представлены в определенных гармоничных сочетаниях, наиболее полно отвечающих потребностям растений в соответствующие периоды их роста и развития.

Тенденции развития зернового хозяйства. Увеличение объемов производства зерновой продукции остается одной из важнейших тенденций развития зернового хозяйства в Нижневолжском регионе. Ведущее место в этом звене отводится озимой пшенице, а именно ее интенсивным сортам, которые по наследственным показателям имеют более высокую потенциальную продуктивность.

Потребность в ресурсосберегающих технологиях. В настоящее время сельское хозяйство постоянно испытывает повышенную потребность в довольно приспособленных ресурсосберегающих технологиях производства озимой пшеницы, которые напрямую базируются на полноценном обеспечении физиологических потребностей данной культуры и более эффективном использовании погодных и почвенных ресурсов места произрастания.

Влияние сортов на урожайность. Одним из основных агрономических приемов повышения валового сбора зерна озимой пшеницы является внедрение в производство современных высокопродуктивных сортов данной культуры. Научная разработка таких технологий выращивания озимой пшеницы представляет собой существенное научно-практическое предназначение для дальнейшего решения проблемы производства зерновой продукции.

Роль генетических факторов. Урожайность является результирующим показателем ценности того или иного сорта, которая всецело опирается на наследственные характеристики, реакцию комплекса генетических условий растений на его разные факторы окружающей среды. Новые современные сорта интенсивного типа, как показали наши опыты в благоприятные годы (например, 2022 год), способны формировать урожайность до 10,0 т/га по предшественнику черный пар на черноземе южном с дополнительным применением минерального питания.

Таким образом, для повышения продуктивности озимой пшеницы в Нижневолжском регионе необходимо учитывать все факторы роста растений, внедрять современные высокопродуктивные сорта и использовать ресурсосберегающие технологии, обеспечивающие полноценное обеспечение физиологических потребностей культуры и эффективное использование погодных и почвенных ресурсов.

Результаты проведенного опыта отражены в таблице.

Таблица – Урожайность озимой пшеницы в зоне чернозема южного, т/га среднее за 2023-2025 гг.
Table – Winter wheat yield in the southern chernozem zone, t/ha average for 2023-2025

Фон / Background	Сорт / Variety			
	Станичная / Stanichnaya	Губернатор Дона / Gubernator Dona	Скипетр / Scipetr	Еланская / Elanskaya
Контроль / Control	5,11	7,09	6,32	7,56
При посеве – Амофос 12:52, 60 кг / When sowing – Amophos 12:52, 60 kg	5,98	8,14	7,16	8,73
Подкормка весной – 200 кг / Feeding in spring – 200 kg	6,89	8,61	7,38	9,12
Амофос 60 кг + Аммиачная селитра 200 кг / Amofos 60 kg + Ammonium nitrate 200 kg	7,85	9,34	8,26	10,56

$HCP_{05} = 0,22$

Проведенный опыт продемонстрировал, что на фоне естественного плодородия почвы, характеризующегося содержанием гумуса в пахотном горизонте на уровне 5,63 %, средняя урожайность контрольного сорта составила 5,11 т/га за три года. При этом сорта Скипетр и Губернатор Дона показали более высокие результаты: 6,32 т/га и 7,09 т/га соответственно.

Однако применение агротехнических мероприятий, таких как внесение амофоски при посеве, значительно повысило урожайность. Так, у сорта Станичная она достигла 5,98 т/га, у сорта Скипетр – 7,16 т/га, у сорта Губернатор Дона – 8,14 т/га, а у сорта Еланская – 8,79 т/га.

Максимальная урожайность была зафиксирована при совместном внесении минерального питания с посевом и в весеннюю подкормку. В этом случае показатели урожайности составили: сорт Станичная – 7,85 т/га, сорт Скипетр – 8,26 т/га, сорт Губернатор Дона – 8,26 т/га, сорт Еланская – 10,56 т/га.

Закключение. Таким образом, проведенный опыт показал, что использование комплексного подхода к минеральному питанию, включающего внесение удобрений при посеве и весеннюю подкормку, позволяет существенно повысить урожайность зерновых культур. В частности, на черноземе южном с плодородием 5,63 % гумуса, применение минерального питания в дозе 60 кг при посеве и 200 кг в виде подкормки весной обеспечивает получение урожайности зерна у сорта местной селекции Еланская на уровне 10,56 т/га, что значительно превышает показатели естественного плодородия (7,56 т/га).

Conclusion. Thus, the experience has shown that using an integrated approach to mineral nutrition, including fertilization during sowing and spring fertilization, can significantly increase the yield of grain crops. In particular, on the southern chernozem with a fertility of 5.63 % humus, the use of mineral nutrition at a dose of 60 kg during sowing and 200 kg in the form of top dressing in spring ensures grain yields of the locally selected Elanskaya variety at the level of 10.56 t/ha, which significantly exceeds the indicators of natural fertility (7.56 t/ha).

Библиографический список

1. Азизов З. М. и др. Влияние систем приемов основной обработки почвы в сочетании с применением азотного удобрения на урожайность сортов озимой пшеницы в условиях Нижнего Поволжья. Аграрный научный журнал. 2023. № 10. С. 4-13.
2. Беляев А. И., Петров Н. Ю., Петров Ю. Н., Беляев И. В., Плодородие почвы и урожайность озимой пшеницы на юге России. Теоретические и прикладные проблемы развития АПК. 2024. № 4 (62). С. 3-7.
3. Бильдиева Е. А., Ерошенко Ф. В. Влияние технологии возделывания на накопление азота растениями озимой пшеницы. Сельскохозяйственный журнал. 2023. № 1 (16). С. 4-11.
4. Касабиев А. Б. и др. Влияние нормы высева на урожай и качество зерна различных сортов озимой пшеницы. Известия Горского государственного аграрного университета. 2021. Т. 58-2. С. 22-29.
5. Вошидский Н. Н., Кулыгин В. А., Целуйко О. А. Влияние элементов технологии возделывания на урожайность новых сортов озимой пшеницы в Ростовской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 3 (67). С. 125-134.

6. Емельянова А. А., Дубовик Д. В., Айдиев А. Я., Логинов Е. В. Изменение урожайности и качества зерна озимой пшеницы в зависимости от сорта и доз минеральных удобрений. Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36 (11). С. 26-30.

7. Зеленев А. В., Егоров Н. М., Новокрещенов И. Д. Эффективность приемов основной обработки чистого пара в повышении урожайности сортов озимой пшеницы в условиях каштановых почв Волгоградской области. Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в условиях цифровой трансформации: материалы Международной науч.-практ. конференции. Волгоград, 2022. С. 88-95.

8. Капранов В. Н., Зеленев А. В., Кисилев Е. Ф., Тегенов Д. С., Плескачев Н. Ю. Роль технологии разного уровня в формировании урожайности и качества зерна новых сортов озимой пшеницы. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 1 (79). С. 32-39.

9. Петров Л. К., Ивенин В. В., Ивенин А. В. Формирование урожайности сортов озимой пшеницы в зависимости от технологии их возделывания в Нижегородской области. Аграрный научный журнал. 2024. № 10. С. 34-41.

10. Прянишников А. И., Смит И. Н., Мельник А. Ф. Оценка отзывчивости сортов озимой пшеницы на уровень интенсивности их возделывания. Научно-агрономический журнал. 2023. № 2 (121). С. 28-33.

11. Туманян А. Ф., Тютюма Н. В., Бондаренко А. Н. Агротехнологические приемы повышения урожайности озимых и яровых зерновых культур в условиях Астраханской области. Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2020. № 1 (43). С. 3-6.

12. Bikmukhametov Z. Adaptive technologies for intensification of winter wheat grain production in biologized crop rotation. BIO Web of Conferences. 2020. Volume 17.

13. Bakaeva N. P. et al. Intensive agricultural technologies of winter wheat cultivation in the Middle Volga region. BIO Web of Conferences. 2020. Volume 17.

14. Pelech L. Formation of productivity of winter wheat crops depending on agrotechnical methods of tillage. The Scientific Heritage. 2021. № 62-1. Pp. 5-8.

References

1. Azizov Z. M. et al. Effect of Primary Tillage Systems in Combination with Nitrogen Fertilizer Application on the Yield of Winter Wheat Varieties in the Lower Volga Region. Agrarian Scientific Journal. 2023. No 10. Pp. 4-13.

2. Belyaev A. I., Petrov N. Yu., Petrov Yu. N., Belyaev I. V. Soil Fertility and Winter Wheat Yield in Southern Russia. Theoretical and Applied Problems of Agro-Industrial Complex Development. 2024. No 4 (62). Pp. 3-7.

3. Bil'dieva E. A., Eroshenko F. V. Effect of Cultivation Technology on Nitrogen Accumulation by Winter Wheat Plants. Agricultural Journal. 2023. No 1 (16). Pp. 4-11.

4. Kasabiev A. B. et al. The Influence of Seeding Rate on the Yield and Grain Quality of Different Winter Wheat Varieties. Bulletin of the Gorsk State Agrarian University. 2021. Vol. 58-2. Pp. 22-29.

5. Voshidsky N. N., Kulygin V. A., Tseluyko O. A. The Influence of Cultivation Technology Elements on the Yield of New Winter Wheat Varieties in the Rostov Region. Bulletin of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2022. No. 3 (67). Pp. 125-134.

6. Emelyanova A. A., Dubovik D. V., Aidiev A. Ya., Loginov E. V. Changes in the yield and grain quality of winter wheat depending on the variety and doses of mineral fertilizers. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2022. Vol. 36 (11). Pp. 26-30.

7. Zelenev A. V., Egorov N. M., Novokreshchenov I. D. Efficiency of primary cultivation techniques of clean fallow in increasing the yield of winter wheat varieties in chestnut soils of the Volgograd region. Innovative technologies in the agro-industrial complex in the context of digital transformation: Proceedings of the International scientific and practical conference. Volgograd, 2022. Pp. 88-95.

8. Kapranov V. N., Zelenev A. V., Kiselev E. F., Tegenov D. S., Pleskachev N. Yu. The Role of Different Levels of Technology in Determining the Yield and Grain Quality of New Winter Wheat Varieties. News of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No. 1 (79). Pp. 32-39.

9. Petrov L. K., Ivenin V. V., Ivenin A. V. Formation of the Yield of Winter Wheat Varieties Depending on the Technology of Their Cultivation in the Nizhny Novgorod Region. Agrarian Scientific Journal. 2024. No. 10. Pp. 34-41.

10. Pryanishnikov A. I., Smith I. N., Melnik A. F. Evaluation of the Response of Winter Wheat Varieties to the Level of Cultivation Intensity. Scientific and Agronomic Journal. 2023. No 2 (121). Pp. 28-33.

11. Tumanyan A. F., Tyutyuma N. V., Bondarenko A. N. Agro technological methods for increasing the yield of winter and spring grain crops in the Astrakhan region. Theoretical and applied problems of the agro-industrial complex. 2020. No. 1 (43). Pp. 3-6.

12. Bikmukhametov Z. Adaptive technologies for intensification of winter wheat grain production in biologized crop rotation. BIO Web of Conferences. 2020. Volume 17.

13. Bakaeva N. P. et al. Intensive agricultural technologies of winter wheat cultivation in the Middle Volga region. BIO Web of Conferences. 2020. Volume 17.

14. Pelech L. Formation of productivity of winter wheat crops depending on agrotechnical methods of tillage. The Scientific Heritage. 2021. № 62-1. Pp. 5-8.

Информация об авторах

Беляев Александр Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН) (Российская Федерация, г. Волгоград, проспект Университетский, 97).

Петров Николай Юрьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26), e-mail: npetrov60@list.ru

Петров Юрий Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН) (Российская Федерация, г. Волгоград, проспект Университетский, 97).

Беляев Иван Владимирович, соискатель, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26).

Щепотко Наталья Александровна, преподаватель, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: schepotko.n@yandex.ru

Authors' Information

Belyaev Aleksander Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Director, Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, Volgograd, Universitetskiy Avenue, 97).

Petrov Nikolay Yuryevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 40002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: npetrov60@list.ru

Petrov Yuri Nikolaevich, Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, Volgograd, Universitetskiy Avenue, 97).

Belyaev Ivan Vladimirovich, applicant, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 40002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26).

Shchepotko Natalia Aleksandrovna, lecturer, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 40002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: schepotko.n@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-04

THE ANALYSIS OF THE LIVE LEAF GROWTH OF THE *TILIA PLATYPHYLLOS* BY THE NON-INVASIVE METHOD IN THE EARLY SPRING PERIOD

Voronina V. P., Kiseleva A. V.

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: v.p.voronina@mail.ru

Received 15.12.2025

Submitted 28.01.2026

Summary

For the first time in real time in the early spring period, the dynamics of the area of the *Tilia platyphyllos* live leaf was studied using Petiol Pro computer technology. It is revealed that the method makes it possible to qualitatively determine the morphometric characteristics of a leaf and its reaction to changes in the hydrothermal regime.

Abstract

Introduction. The most significant structural and other changes in the leaves of tree species occur in the early spring period with the beginning of vegetation. However, for a deep understanding of the reaction of the photosynthetic apparatus in tree species to rapidly changing hydrothermal conditions, there is currently insufficient information to identify critical conditions for the growth and development of the entire plant. **Objects.** Young leaves of the large-leaved Linden *Tilia platyphyllos* Scop. growing on man-made soils in the park area of the Volgograd Agrarian University. **Materials and methods.** Morphometric monitoring was carried out using an innovative method on intact leaves using *Petiol Pro*. The influence of the thermal regime was assessed by the leaf area, water content, and LMA (*specific phytomass*). **Results and conclusions.** For the first time, the dynamics of the area of a *Tilia platyphyllos* live leaf was studied in real time in the early spring period using *Petiol Pro* computer technologies. The study of the growth characteristics of a large-leaved linden leaf, which was not separated from the shoot by a noninvasive (intact) method, showed high efficiency in determining the leaf area. The application of this technique can be successful for leaves of complex configuration. It was revealed that the log phase (intensive leaf growth) lasts 9-11 days, and the daily increase in leaf area is 4.19-6.3 cm² for medium-sized leaves and 6.66-11.56 cm² for large leaves. The maximum increase in leaf area is observed at a temperature of 16.6-19.2°C and a relative humidity of 34-63 %. We have recorded a Drop effect, which is associated with a sharp drop in air temperature (to 7.0-8.3°C) during the active period of leaf blade growth. It leads to a decrease in the area of the living leaf, a decrease in daily growth and waterlogging, which return to normal after the restoration of hydrothermal conditions. During active leaf growth, the LMA is 0.283-0.328 g/cm², which is 1.36 times higher in medium-sized leaves than in large ones, indicating a denser leaf structure and thickness. Throughout the entire leaf growth period, there is a slight change in LMA, as the leaf area and its mass change dynamically. A fully formed leaf can change its LMA depending on favorable growing conditions. The open phenomenon of Drop effects in tree species will improve the technology of growing tree and shrub seeds in a controlled environment – greenhouses, briquettes.

Keywords: *Tilia platyphyllos*, leaf area, noninvasive method, *Petiol Pro* method, DROP-effect in the early spring period, LMA – specific phytomass.

Citation. Voronina V. P., Kiseleva A. V. The analysis of the live leaf growth of the *Tilia platyphyllos* by the non-invasive method in the early spring period. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 41-52 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-04.

Authors' contributions. All authors of this study were directly involved in the planning, execution or analysis of this study. All authors of this article have reviewed and approved the final version presented.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 630*232.1

АНАЛИЗ РОСТА ЖИВОГО ЛИСТА *TILIA PLATYPHYLLOS* НЕИНВАЗИВНЫМ МЕТОДОМ В РАННЕВЕСЕННИЙ ПЕРИОД**Воронина В. П., доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Киселева А. В., аспирант**ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Наиболее значимые структурные и иные изменения листьев древесных пород происходят в ранневесенний период с началом вегетации. Однако для глубокого понимания реакции фотосинтетического аппарата у древесных пород на стремительно меняющиеся гидротермические условия в настоящее время недостаточно сведений, чтобы выявить критические условия для роста и развития всего растения. **Объекты.** Молодые листья липы крупнолистной *Tilia platyphyllos* Scop., произрастающей на техногенных почвогрунтах в парковом насаждении Волгоградского аграрного университета. **Материалы и методы.** Морфометрический мониторинг проводился инновационным методом на интактных листьях с применением *Petiol Pro*. Влияние термического режима оценивалось по площади листа, обводненности, LMA (удельная фитомасса). **Результаты и выводы.** Впервые в режиме реального времени в ранневесенний период была изучена динамика площади живого листа *Tilia platyphyllos* с применением компьютерных технологий *Petiol Pro*. Изучение особенностей роста листа липы крупнолистной неотделенного от побега неинвазивным (интактным) методом показало высокую эффективность при определении площади листа. Применение данной методики может быть успешной для листьев сложной конфигурации. Выявлено, что лог-фаза (интенсивный рост листа) длится 9-11 дней, а ежедневный суточный прирост площади листа составляет у средних листьев 4,19-6,3 см², у крупных листьев – 6,66-11,56 см². Максимальный прирост площади листа отмечается при температуре – 16,6-19,2°С и относительной влажности воздуха 34-63 %. Нами зафиксировано дроп-воздействие, которое связано с резким падением температуры воздуха (до 7,0-8,3°С) в активный период роста листовой пластинки. Оно приводит к уменьшению площади живого листа, снижению ежесуточного прироста и обводненности, которые возвращаются к нормальным показателям после восстановления гидротермических условий. Во время активного роста листа LMA составляет 0,283-0,328 г/см², что в 1,36 раза выше у листьев среднего размера, чем у крупных, что свидетельствует о более плотной структуре и толщине листа. На протяжении всего периода роста листьев наблюдается небольшое изменение LMA, поскольку площадь листа и его масса динамично меняются. Полностью сформированный лист может менять LMA в зависимости от благоприятности условий произрастания. Открытое явление дроп-воздействия у древесных видов позволит улучшить технологию выращивания древесных и кустарниковых сеянцев в контролируемой среде – теплицах, брикетах.

Ключевые слова: *Tilia platyphyllos*, площадь листа, неинвазивный метод, метод *Petiol Pro*, ДРОП-воздействие в ранневесенний период, LMA – удельная фитомасса.

Цитирование. Воронина В. П., Киселева А. В. Анализ роста живого листа *Tilia platyphyllos* неинвазивным методом в ранневесенний период. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 41-52. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-04.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Естественный ареал липы крупнолистной *Tilia platyphyllos* Scop. (семейство Мальвовые *Malvaceae*) находится в зоне широколиственных лесов, в биоклиматических зонах Европы, Северного Кавказа. С увеличением теплообеспеченности более северных географических регионов Европы, особенно городских территорий и агломераций, вторичный (искусственный) ареал сейчас начал активно расширяться. Однако адаптивный потенциал липы крупнолистной по сравнению с липой мелколистной (*Tilia cordata* Mill.), которая произрастает достаточно широко как в естественных лесах, так и в лесных культурах, остается малоизученным вопросом.

Волгоградская область, особенно урбанизированная среда, имеет свои специфические отличия от других европейских районов из-за засушливости климата, который проявляется в экстремальных гидротермических показателях, сопровождаются высокой запыленностью воздуха, повышенной инсоляцией, которые дополнительно усиливают термическую напряженность. Поэтому ассортимент дендрофлоры, произрастающий в озелени-

тельных насаждениях или в лесных культурах небольшой, представлен засухоустойчивыми и морозостойкими видами [1]. Учитывая тенденцию уплотнения городской застройки и все меньшую площадь, которую отводят под озелененные пространства, возрастает актуальность привлечения новых видов, имеющих раскидистую и тенистую крону. Современным потребностям озеленителей отвечает липа крупнолистная, имеющая уже в молодом возрасте габитус с раскидистой, но компактной кроной. Однако её адаптивные реакции, особенно в засушливых условиях, мало изучены, соответственно продуктивное долголетие, естественная возобновляемость, особенности роста и развития требуют тщательного изучения.

Лист – это орган растения, который напрямую контактирует с воздушной средой, которая характеризуется не только определенными гидротермическими параметрами, но и токсичными веществами, поступающими от промышленных предприятий, автотранспорта. Поэтому морфологические и физиологические изменения, происходящие в процессе онтогенеза, прежде всего, отражаются на листовой пластинке. Меняется площадь, толщина, окрас листа, которые зависят не только от видовой принадлежности, но и экологических условий местообитания и часто служат диагностическими признаками долговечности (или угнетения) растения.

Наиболее полный аналитический анализ площади листа, как объекта исследований дали Уткин А. И. и др., 2008, которые привели оценку мирового и отечественных методов исследований, включая интактные листья (неотделенные от растения) и деструктивные листья (отделенные от растения). Они, как и другие исследователи [2, 3] отмечают трудоемкость и сложность в определении морфометрических параметров, включая площадь листа, поэтому исследователи часто испытывают потребность в специальном оборудовании.

Лист липы крупнолистной, как первый агент живой системы контактирует с окружающей средой. Листья липы имеют сердцевидную (дельтовидную) форму с заостренным концом, их основание зачастую неравнобокое, а край листа мелкозубчатый (иногда крупнозубчатый). Лист имеет сложную форму листовой пластинки, которая не симметрична по отношению к центральной жилке, что создает определенные сложности в определении площади листа как в гербарном (высушенном) виде, так и в живом состоянии. По морфологической шкале Раункиера, в соответствии с площадью листовой пластинки, листья липы можно классифицировать как мезофиллы (средних размеров), где их площадь составляет 20,25-182,25 см². Также следует учесть, что определённую сложность и трудоемкость представляют реализация многих методов изучения листовой поверхности, таких как измерение асимметрии листа, включая весовой метод и др. [4]. Применяемые на практике методы малоэффективны, могут использоваться только на деструктивных листьях (в сыром или воздушно-сухом состоянии), что не дает объективного научного представления о механизмах роста живого листа.

Ранее нами были проведены сравнительные исследования точности определения площади листа: липы мелколистной, клена остролистного, березы повислой, имеющих сложную конфигурацию и край листа методом *Petiol Pro* и доказана его высокая точность и эффективность.

Целью исследования являлось изучение особенностей роста листа липы крупнолистной неотделенного от побега неинвазивным (интактным) методом с применением компьютерной технологии – *Petiol Pro* в ранневесенний период.

Новизна исследований. Впервые в режиме реального времени в ранневесенний период изучалась динамика площади живого листа *Tilia platyphyllos* с применением компьютерных технологий *Petiol Pro*.

Объекты и методы исследований. Объектом исследования являлся живой лист липы крупнолистной (*Tilia platyphyllos*) на однолетних побегах, находящийся с южной стороны кроны. Для наблюдений были выбраны модельные деревья липы крупнолистной в возрасте 25 лет, произрастающей в парковом насаждении на территории Волгоградского аграрного университета. Морфометрические наблюдения проводились в конце апреля 2025 года в период начала активного весеннего роста ассимиляционных органов древесных растений. В нижнем ярусе кроны было отобрано и промаркировано 10 листьев, визуальнo здоровых и не имеющих механических повреждений. Маркировка проводилась с использованием влагостойкого малярного скотча и перманентного маркера путем нанесения на поверхность черешка этикеток с номером. При измерении площади, живой лист фикси-

ровался на планшете с калибровочной пластиной известной площади (диаметр 14 см²), предоставляемой функционалом приложения *Petiol Pro*. Последовательность выполняемых манипуляций представлена на рисунке 1. Каждый маркированный лист аккуратно помещался в измерительный планшет без отделения от побега, что исключало влияние водного стресса на процесс роста. Фотофиксация производилась с помощью камеры смартфона с определенного расстояния при естественном свете, обеспечивающем равномерное освещение объекта и отсутствие резких теней на поверхности листа. В кадр смартфона одновременно помещались калибровочная пластина и весь контур измеряемого листа. Полученные фотографии в режиме реального времени обрабатывались в мобильном приложении *Petiol Pro*. Алгоритм приложения, основанный на распознавании контура листа и пиксельном анализе изображения с учетом калибровочного эталона, автоматически вычислял площадь листовой пластинки в см². Полученные численные значения заносились в электронную таблицу с привязкой к дате, времени и номеру листа. Измерения проводились ежедневно в течение роста листа. Для минимизации погрешностей, связанных с суточными ритмами тургора листа, все замеры выполнялись в идентичный временной интервал – 17:00 по московскому времени.

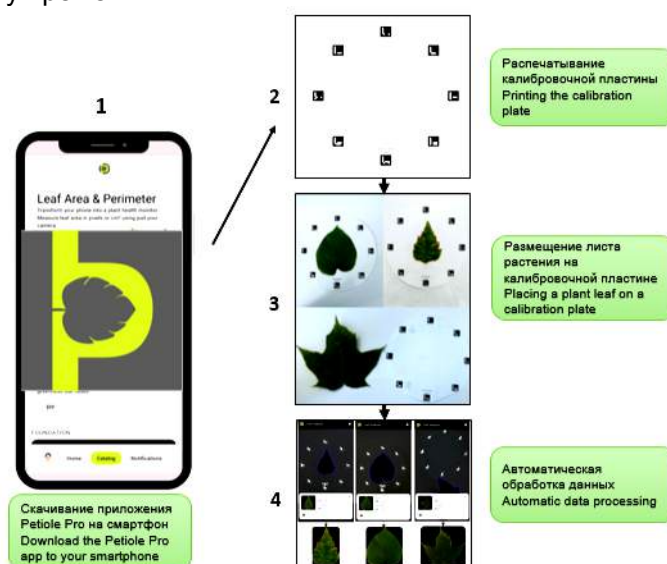


Рисунок 1 – Схема определения площади гербарного (деструктивного) листа методом *Petiol Pro*
Figure 1 – Diagram of determining the area of a herbarium (destructive) leaf by the *Petiol Pro* method

Для контроля за обводненностью листа срезалось по 5 листьев, проводилось их взвешивание в сыром и воздушно-сухом состоянии, измерялась их площадь. Масса листа определялась весовым методом на электронных весах *Professionnal digital mini scale TL-seriens* с точностью $\pm 0,001$ г. Первичные данные (ежедневные морфометрические показатели) были систематизированы и обработаны с помощью *Microsoft Excel*.

Примененная современная методика неразрушающего мониторинга роста листовой поверхности с использованием цифровой фотометрии и специализированного программного обеспечения, позволила получать новые высокоточные показатели с минимальным воздействием на растительный организм [1, 2, 3]. LMA – это отношение воздушно-сухой массы листовой пластинки к его площади, выражается в г/см².

Результаты и обсуждение. Апробация нового метода *Petiol Pro* ранее была проведена на высушенном гербарном материале на листьях древесных пород со сложной конфигурацией. Сравнительный анализ площади листьев *Tilia cordata*, *Betula pendula*, *Acer platanoides*, проведенный весовым и методом *Petiol Pro* показал высокую точность и производительность, что позволило нам применить тестируемый метод на живых объектах. Предлагаемый метод *Petiol Pro* лицензированный, находится в открытом доступе, существенно сокращает временные затраты, как при получении первичных данных, так и при обработке полученных результатов наблюдений. Сравнительный анализ точности определения площади листьев, выполненный двумя методами приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ точности определения площади листа методом *Petiole Pro*
Table 1 – Comparative analysis of the accuracy of determining the area of a sheet by the *Petiole Pro* method

Древесная порода / Tree species	Весовой метод (контроль) / Weight method (control)			Метод <i>Petiole Pro</i> , площадь листа, см ² / The <i>Petiole Pro</i> method, sheet area, cm ²	Отклонение от контроля, % / Deviation from control, %
	биометрические характеристики гербарного листа / biometric characteristics of the herbarium leaf				
	воздушно- сухая масса, г / air-dry weight, g	масса бумажно- го контура, г / weight of the pa- per contour, g	площадь, см ² / area, cm ²		
Липа мелколистная / <i>Tilia cordata</i>	0,089	0,04	19,39	19,62	+1,17
Клен остролистный / <i>Acer platanoides</i>	0,337	0,86	79,63	79,74	+0,13
Береза повислая / <i>Betula pendula</i>	0,057	0,04	9,42	9,47	+0,53

Выявлено, что отклонение от контрольных значений находится в пределах 0,13-1,17 %, причем во всех трех вариантах в большую сторону, что свидетельствует о более точном определении площади листа компьютерным методом, где учитывается самый сложный для измерения – край листа. Данные свидетельствуют о хорошей сходимости результатов и доказывают, что метод *Petiole Pro* позволяет точно и быстро определить площадь листовой поверхности и при этом не требуется наличия дорогостоящего научного оборудования или сложных программных средств.

Более технически сложная задача – это проведение эксперимента на живых листьях, так как необходимо было дожидаться роста листьев (минуя фазу «тряпочки», когда лист находится в висячем состоянии), а также учесть, что первые 1-2 листа имеют нехарактерный маленький размер. Поэтому для изучения отбирались листья более высокого порядка – среднего размера (3-4-й листья на побеге) и крупные листья (5-6-е листья на побеге), верхушечный лист не анализировался, так как он отличается размером от боковых листьев.

Начало распускания почек *Tilia platyphyllos* отмечалось 08.04.2025 года, потребовалось около 2-х недель, чтобы молодые листья отросли, и можно было на черешке зафиксировать цифровые метки. Визуальный ряд тестируемых листьев (№ 6 и № 10) представлен на рисунке 2.

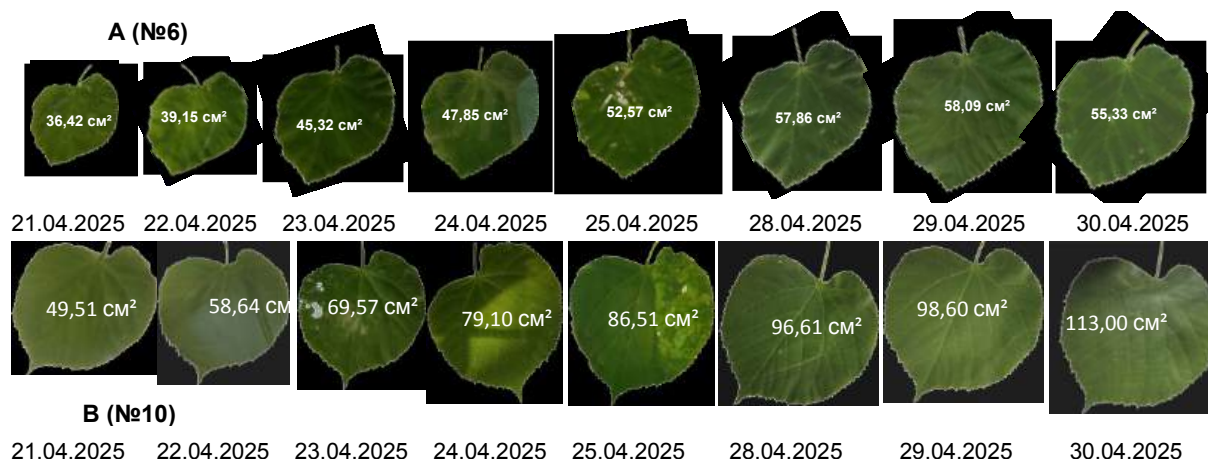


Рисунок 2 – Визуализация динамики площади живых листьев *Tilia platyphyllos*:

А-№ 6 – среднего размера, В-№ 10 – крупного размера

Figure 2 – Visualization of the dynamics of the area of living leaves of *Tilia platyphyllos*:

A-No.6 – medium size, B-No. 10 – large size

Как видно из рисунка 2 в течение наблюдений общая конфигурация тестируемого листа сохраняется, однако некоторые морфометрические различия очевидны. Мы четко отмечаем изменение (прирост) площади листа. При ежедневной оценке площади листа было выявлено, что некоторые листья (анализировалось 10 шт.) могут не только увеличивать площадные параметры, но и в некоторые дни уменьшать площадь, а затем они восстанавливают утраченные характеристики. Вероятнее всего зафиксированная флуктуация

объясняется внутренними физиологическими причинами, которые влияют на тургорное состояние жидкости как внутри клетки, так и в межклеточном пространстве. А также необходимо понимать, что площадь листа и поверхность листа – это различные понятия [2, 3]. Поверхность листа обладает более сложной площадной конфигурацией из-за наличия крупных и более мелких проводящих сосудов (жилок), формирующих определённую нано-ландшафтную поверхность, также у живого листа меняется количество клеток, их обводненность и соответственно способность к растяжению или сжатию. Если отмечается уменьшение обводненности, то лист обезвоживается, а его площадь уменьшается, так как происходит сжатие и сморщивание.

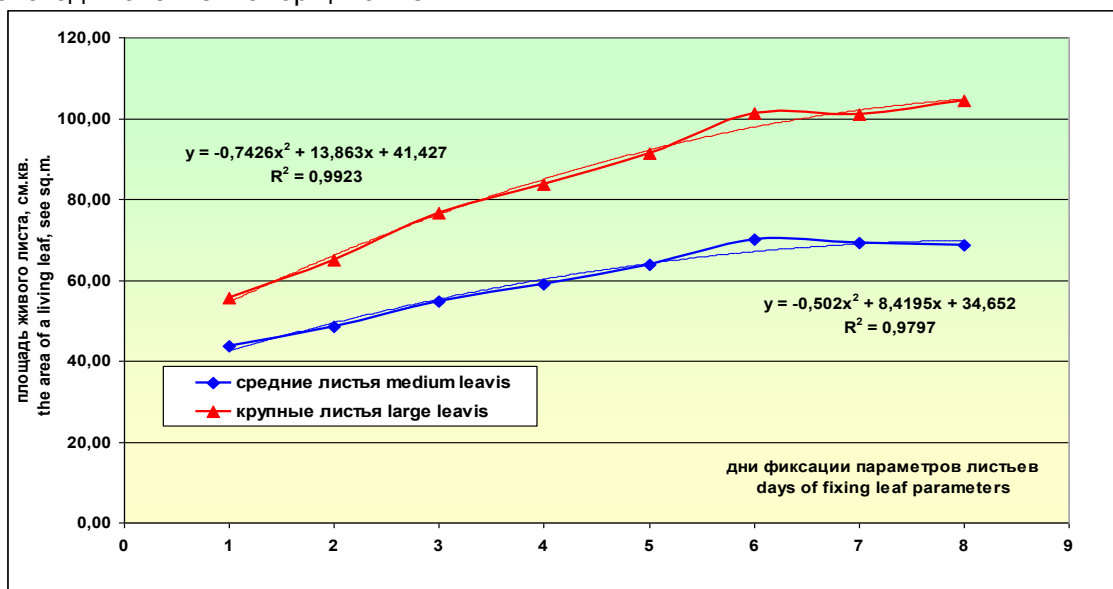


Рисунок 3 – Динамика роста площади живого листа *Tilia platyphyllos* (начало распускания почек – 08.04.2025, дни наблюдений: 1-21.04.2025; 2-22.04.2025; 3-23.04.2025; 4-24.04.2025; 5-25.04.2025; 6-28.04.2025; 7-29.04.2025; 8-30.04.2025)

Figure 3 – Dynamics of the area growth of *Tilia platyphyllos* live leaf (the beginning of budding is 04/08/2025, observation days: 1-21.04.2025; 2-22.04.2025; 3-23.04.2025; 4-24.04.2025; 5-25.04.2025; 6-28.04.2025; 7-29.04.2025; 8-30.04.2025)

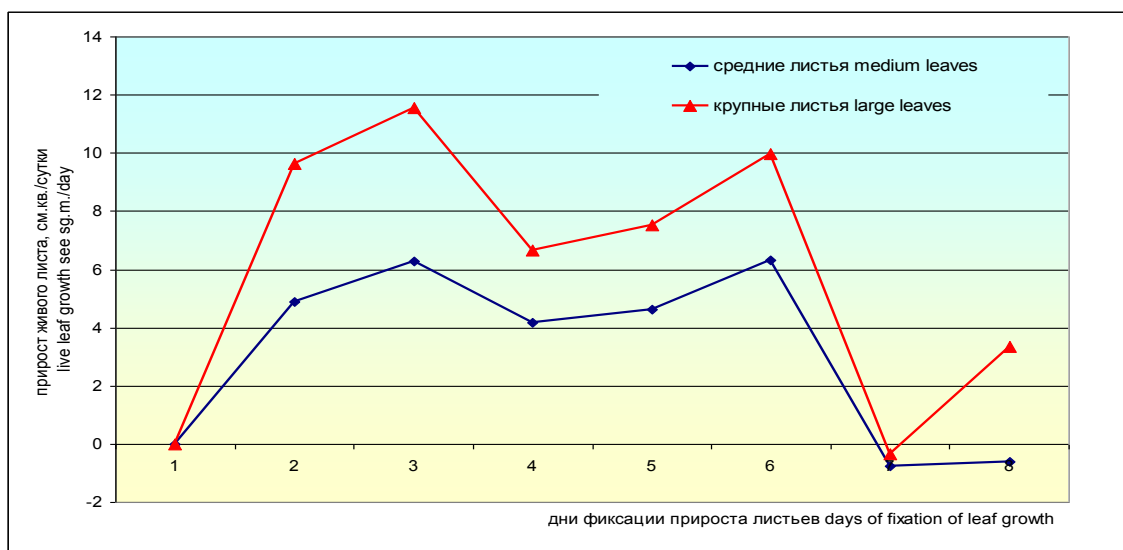


Рисунок 4 – Динамика прироста площади живого листа *Tilia platyphyllos* (даты наблюдений: 1-21.04.2025; 2-22.04.2025; 3-23.04.2025; 4-24.04.2025; 5-25.04.2025; 6-28.04.2025; 7-29.04.2025; 8-30.04.2025)

Figure 4 – Dynamics of the area growth of *Tilia platyphyllos* live leaf (dates of observations: 1-21.04.2025; 2-22.04.2025; 3-23.04.2025; 4-24.04.2025; 5-25.04.2025; 6-28.04.2025; 7-29.04.2025; 8-30.04.2025)

У большинства высших растительных организмов механизм роста описывается S-образной (логистической) кривой. В начале роста площадные параметры листа липы увеличиваются очень медленными темпами. Лаг-фаза у липы крупнолистной занимает около 2 недель. Лог-фаза, являющаяся отрезком времени с интенсивным ростом, занимает около 9-11 дней (длится с 21.04.25 по 30.04.25), а затем наступает кратковременный период времени, когда лист полностью сформировал пластинку и ростовые процессы замедляются. Наступившая фаза стабилизационного (стационарного) состояния будет отвечать за физиологические процессы, которые отражаются на всей особи, включая генеративное развитие.

У наблюдаемых листьев липы стабилизационное состояние наступило около 30.04-02.05.2025 г. и затем фиксировались лишь незначительные колебания площади (1,0-1,5 %), связанные с адаптационными реакциями листа на изменения погодных условий.

Как показывают наблюдения за приростом площади листа (рисунок 4), при среднесуточных температурах 16,6-19,2 °С и относительной влажности воздуха 34-63 % (рисунок 5) фиксируется достаточно стабильное приращение площади как у средних, так и крупных листьев. Ежедневный прирост оценивается у средних листьев 4,19-6,3 см², у крупных листьев – 6,66-11,56 см². После резкого снижения температуры воздуха до 7,0-8,3 °С, которое фиксировалось с 27.04 по 29.04.2024 г. и сопровождалось падением относительной влажности воздуха, был выявлен небольшой отрицательный прирост площади листа. То есть проявилась реакция живого листа липы на резкое изменение гидротермических условий и была вполне объяснимой с физиологической точки зрения. У листьев происходило уменьшение количество воды (рисунок 6) из-за падения температуры воздуха, что вызвало ответную реакцию, уменьшив скорость газо- и водообмена (фотосинтетическая активность, отток пластических веществ), соответственно площадь листа уменьшалась.

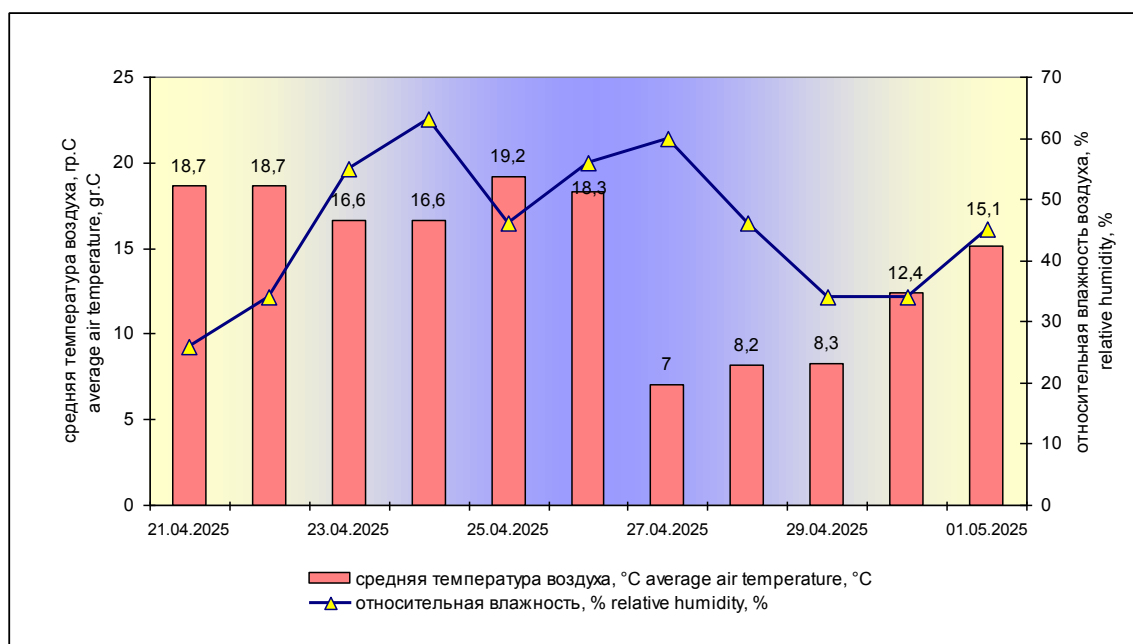


Рисунок 5 – Метеорологические условия роста живых листьев липы в период с 21.04.2025-01.05.2025 г.г. (ВолГАУ)

Figure 5 – Meteorological conditions for the growth of live linden leaves in the period from 04/21/2025 – 05/01/2025 (VolGAU)

по данным версии https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Волгограде, метеостанция 34561

Икконен Е. Н., Шибаева Т. Г. и др. [5, 6, 7, 8] в контролируемых условиях освещения и температуры провели глубокое изучение ответной реакции овощных культур на кратковременное понижение температуры и выявили, что дроп-воздействие (*drop-падение*) оказывает существенное изменение площади листа у теплолюбивых культур (огурец, томат, сладкий перец, баклажан) и не вызывает аналогичных реакций у холодостойких растений (озимая пшеница, цветная капуста). Титов А. Ф. [8] и др., 2020 г. отмечает, что «чаще всего

в центре внимания исследователей оказываются вопросы длительного воздействия и низкотемпературной адаптации и/или низкотемпературного повреждения растений», однако вопросы реакции растений при кратковременном понижении температуры, не приводящей к гибели, а стимулирующим заданные параметры роста пока являются малоизученными.

Сходного мнения придерживаются другие исследователи [9], которые считают, что более тщательное изучение воздействия кратковременных понижений температуры на высшие растения позволит улучшить знания о природе, поскольку этот вопрос изучен недостаточно.

Шибаета Т. Г. и др., 2018, считают, что «изучение влияния ДРОП-воздействий на растения, помимо теоретического, представляет большой практический интерес с точки зрения выявления эффективных и недорогих способов управления ростом растений», который начал успешно использоваться при выращивании рассады овощных культур в тепличных хозяйствах.

Аналогичных экспериментов или наблюдений в отношении древесных растений мы не встретили, что вероятно связано со сложностью проводимых исследований, а также технологий фиксации площади живых листьев.

Проведенные нами исследования по реакции листовой пластинки на дроп-воздействие показал, что у липы крупнолистной развивается соответствующая адаптация (стресс-реакция), так как при восстановлении гидротермического режима восстанавливаются нормальные параметры прироста площади, а содержание воды в листьях (оводненность) возвращается к исходным параметрам (около 76-78 %).

При измерении площади листа в режиме реального времени, когда температура воздуха имела тенденцию к стабильному увеличению, отмечалось увеличение (улучшение) физиологических параметров почти у всех листьев. Однако иногда реальные измерения площади листа показывали небольшое уменьшение на следующий день. Объяснением могут быть различия, в измеряемых величинах – площади, которая оценивается как проекция и поверхности листа, которая отражает некоторую совокупность микро(нано)неровностей, которые свойственны живым системам. Зафиксированное нами дроп-воздействие (*drop-падение*) у липы крупнолистной приводит к увеличению сроков (продолжительности) фазы бутонизации и резко сокращает продолжительность фазы цветения до 3-4 дней, что существенно ухудшает декоративность и медоность липы крупнолистной.

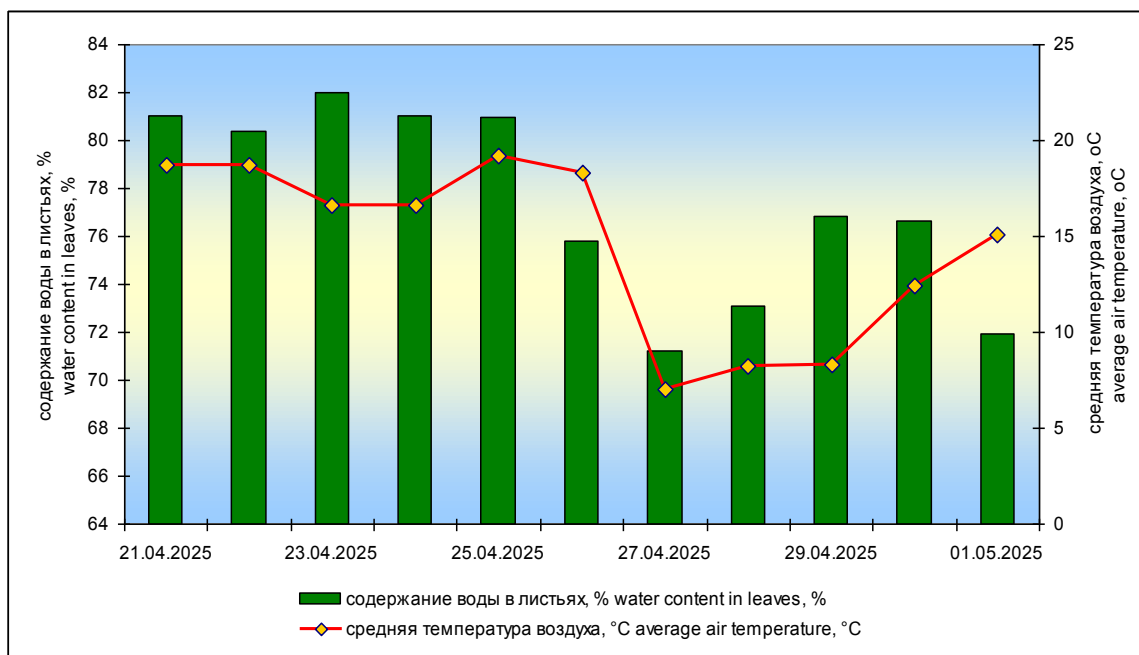


Рисунок 6 – Динамика содержания воды в живых листьях *Tilia platyphyllos* под влиянием температуры воздуха (ВолГАУ)

Figure 6 – Dynamics of water content in live leaves of *Tilia platyphyllos* under the influence of air temperature (VolGAU)

Лобова О. В., 1998, [10] выявила, что у липы мелколистной «с момента начала набухания почек и до окончания роста листа, толщина листовой пластинки увеличивается в 2-3 раза, а площадь в 200-300 раз. При анализе [11] произрастания липы мелколистной в условиях загрязнений продуктами нефтехимии, выявлено, что происходит уменьшение площади листа, снижается жизнеспособность дерева.

Кавеленова Ю. А., и др., [12] сообщают что «...сформировавшиеся листья липы сердцевидной адекватно реагируют на флуктуации погодных условий в зависимости от характера биотопа (пойма, склон, арена), что обеспечивает устойчивость растений в лесных насаждениях степи в Среднем Поволжье», то есть возможность культивирования липы в городских условиях, вероятнее всего будет успешной, однако следует тщательно подбирать условия местопроизрастания. Баранов С. Г. и др. [13] провели сравнительную оценку биометрических показателей листа липы крупнолистной и липы мелколистной, произрастающих в насаждениях г. Москвы и установили высокую изменчивость тестируемых показателей (билатерально симметричных листовых пластин), зависящих от места сбора листьев, текущих погодных условий, соответственно метод требует больших затрат времени при сборе первичной камеральной обработке.

Многие авторы [1, 2, 3, 7, 14], считают, что при биомониторинге окружающей среды применительно к древесным породам следует использовать уже достаточно широко известный в отечественной и зарубежной науке показатель LMA, который определяется как отношение воздушно-сухой массы листа (г/лист) к площади тестируемого листа (см²) (*leaf mass per area*, LMA), который может быть одним из показателей успешности в отношении адаптации растения к условиям среды.

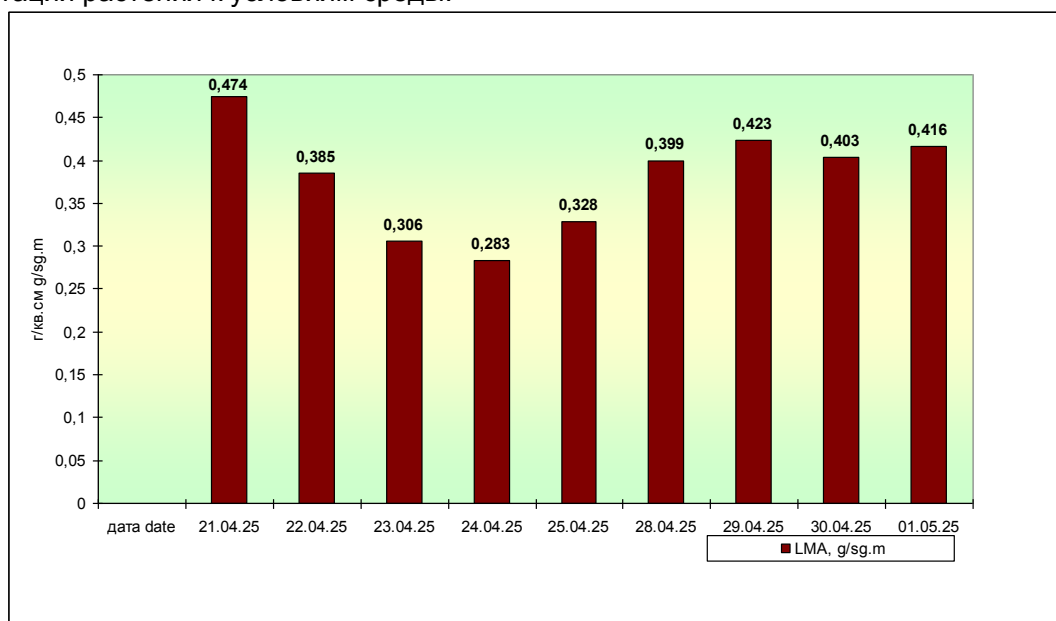
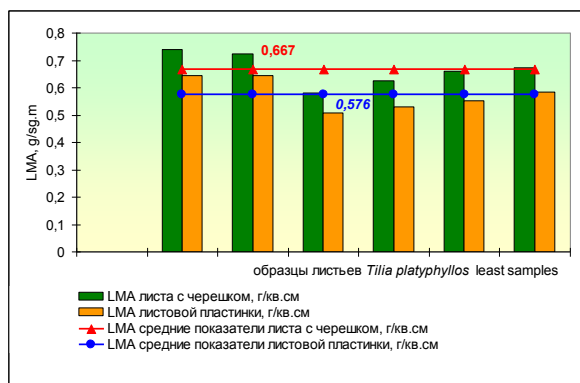


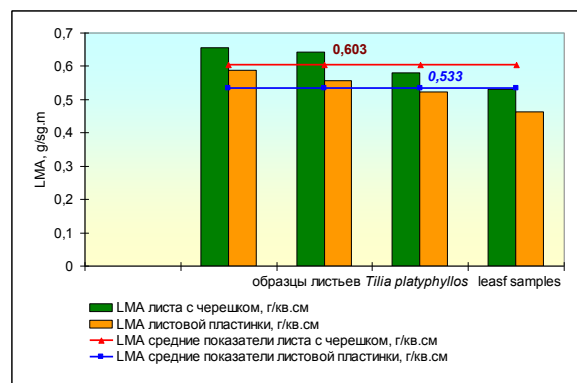
Рисунок 7 – Динамика LMA (удельного веса) листьев с черешком *Tilia platyphyllos* (ВолГАУ)
Figure 7 — Dynamics of LMA (specific gravity) of leaves with petiole *Tilia platyphyllos* (VolGAU)

Проведенный анализ LMA у живых листьев показал (рисунок 7), что при интенсивном росте листа выявлено прежде всего увеличение площади, а толщина листа, например, в дни наблюдений: 23.04, 24.04, 25.04, когда LMA составляет 0,283-0,328 г/см² меньше в 1,36 раза по сравнению со зрелыми листьями (01.05.25). То есть сначала формируется своеобразная матрица в виде площади листа, а затем происходит увеличение массы листа и соответственно лист становится толще и морфологически более структурированным. Достигнув морфологических параметров, обусловленных видовой особенностью и условиями произрастания, лист липы крупнолистной менее остро реагирует на изменение гидротермических параметров. Выявленный дроп-эффект позволяет объяснить «отсроченный» эффект, проявляющийся в увеличении продолжительности фазы бутонизации и сокращение сроков цветения, что значительно уменьшает медоносность липы.

Сравнение LMA у листьев, имеющих средний и крупный размер (рисунок 8) позволило выявить небольшие различия. Так листья, имеющие меньший размер, имеют более плотную структуру и толщину, так как формируются быстрее (это 3-4 лист на побеге), чем листья более крупные по площади (это 5-6 лист на побеге). Выявленная вариация LMA обусловлена возрастом листа, а также гидротермическими факторами, в том числе дроп-эффектом и ответной реакцией листа. Если тестировать листья вместе с черешком, то средние листья имеют LMA на уровне $0,667 \text{ г/см}^2$, а крупные листья – $0,603 \text{ г/см}^2$, так как черешок имеет довольно существенную массу и небольшую площадь. Естественно, удалив черешок LMA снижается, однако выявленная тенденция сохраняется.



LMA листьев *Tilia platyphyllos* среднего размера
Medium-sized *Tilia platyphyllos* leaf LMA



LMA листьев *Tilia platyphyllos* крупного размера
Large-sized *Tilia platyphyllos* leaf LMA

Рисунок 8 – LMA (удельный вес) сформированных листьев *Tilia platyphyllos* (ВолГАУ)
Figure 8 – LMA (specific gravity) of the formed leaves *Tilia platyphyllos* (VolGAU)

Поэтому при оценке устойчивости растения к внешним негативным воздействиям следует четко собирать полевой материал, так как даже незначительное отклонение от методических нормативов может привести к «смазыванию» итоговых результатов, что не позволит правильно оценить адаптационный потенциал древесного вида.

Заключение. Впервые в режиме реального времени в ранневесенний период была изучена динамика площади живого листа *Tilia platyphyllos* с применением компьютерных технологий *Petiol Pro*. Выявлено, что применяемый метод позволяет качественно определять площадь листа как в гербарном виде, так и в живом состоянии, особенно у листьев со сложной морфологией. Интенсивный рост площади листа продолжается около 2 недель и составляет у средних листьев $54,94\text{--}73,71 \text{ см}^2$, у крупных – $85,86\text{--}107,1 \text{ см}^2$. Происходит накопление живой фитомассы, которая варьирует у средних листьев $0,81\text{--}1,413 \text{ г/лист}$, у крупных – $1,348\text{--}1,909 \text{ г/лист}$. Рост площади листа описывается S-образной кривой. На отрезке максимального роста ежесуточный прирост составляет у средних листьев $4,19\text{--}6,3 \text{ см}^2$, у крупных листьев – $6,66\text{--}11,56 \text{ см}^2$. Нами было выявлено, что при резком падении температуры воздуха (до $7,0\text{--}8,3 \text{ C}$) проявляется дроп-воздействие, которое также наблюдается у овощных культур. Ростовые реакции листа в этот период замедляются, уменьшается площадь, суточный прирост и обводненность. При повышении температуры воздуха ($16,6\text{--}19,2 \text{ C}$) и влажности ($34\text{--}63 \%$) анализируемые показатели восстанавливаются. Во время интенсивного роста площади листа LMA (удельная фитомасса) составляет $0,283\text{--}0,328 \text{ г/см}^2$. У листьев среднего размера более плотная структура и толщина листа выше в 1,36 раза, чем у крупных. Удельная фитомасса (LMA) адекватно реагирует на изменение гидротермических условий, но сохраняет морфометрическую структуру, свойственную *Tilia platyphyllos*. Открытое явление дроп-воздействия у древесных видов позволит улучшить технологию выращивания древесных и кустарниковых сеянцев в контролируемой среде – теплицах, брикетах.

Conclusions. For the first time, the dynamics of the area of a living *Tilia platyphyllos* leaf was studied in real time in the early spring period using *Petiole Pro* computer technology. It has been revealed that the method used makes it possible to qualitatively determine the leaf area both in herbarium form and in the living state, especially in leaves with complex morphometry. The intensive growth of the leaf area lasts about 2 weeks and amounts to $54.94\text{--}73.71 \text{ cm}^2$ in medium leaves, $85.86\text{--}107.1 \text{ cm}^2$ in large leaves. There is an accumulation of living phytomass, which varies in medium leaves from 0.81 to 1.413 g/leaf , in large leaves from 1.348 to 1.909 g/leaf . The growth of the leaf area is described by an S-shaped curve. During the maximum growth period, the daily increase is $4.19\text{--}6.3 \text{ cm}^2$

for medium-sized leaves, and 6.66-11.56 cm² for large leaves. We have found that with a sharp drop in air temperature (to 7.0-8.3°C), a drop effect is manifested, which is also observed in vegetable crops. The growth reactions of the leaf during this period slow down, the area decreases, the daily increase and the water content. With an increase in air temperature (16.6-19.2°C) and humidity (34-63 %), the analyzed indicators are restored. During intensive growth of the leaf area, LMA (specific phytomass) It is 0.283-0.328 g/cm². Medium-sized leaves have a denser structure and leaf thickness is 1.36 times higher than that of large ones. The specific phytomass (LMA) adequately reacts to changes in hydrothermal conditions, but retains the morphometric structure characteristic of *Tilia platyphyllos*. The open phenomenon of Drop effects in tree species will improve the technology of growing tree and shrub seedlings in a controlled environment – greenhouses, briquettes.

Библиографический список

1. Воронина В. П., Долмоного М. А., Габунщина А. А. Адаптационные возможности кленовых насаждений в малолесистых урбанизированных ландшафтах. Известия НВ АУК. 2023. № 1 (69). С. 65-78.
2. Уткин А. И., Ермолова Л. С., Уткина И. А. Площадь поверхности лесных растений: сущность, параметры, использование. М.: Наука, 2008. 292 с.
3. Васфилов С. П. Анализ причин изменчивости отношения сухой массы листа к его площади у растений. Журнал общей биологии, 2011. Т. 72. № 6. С. 436-454.
4. Дорофеева М. М., Бонетская С. А. Сравнительный анализ некоторых классических и современных методик определения площади листовой поверхности. Растительные ресурсы. 2020. Т. 56. № 2. С. 182-192.
5. Шибаева Т. Г., Икконен Е. Н., Шерудило Е. Г., Титов А. Ф. Особенности реакции растений на ежесуточные понижения температуры в зависимости от их интенсивности и продолжительности. Труды Карельского научного центра РАН. 2018. № 12. С. 20-37.
6. Шерудило Е. Г., Шибаева Т. Г. Влияние кратковременных ежесуточных понижений температуры на холодоустойчивость листьев разного возраста. Труды Карельского научного центра РАН. 2018. № 8. С. 115-123.
7. Икконен Е. Н., Шибаева Т. Г. Вариабельность величины отношения массы листа растения к его площади в условиях кратковременных ежесуточных понижений температуры. Журнал общей биологии. 2020. Т. 81. № 1. С. 47-53.
8. Титов А. Ф., Шибаева Т. Г., Икконен Е. Н., Шерудило Е. Г. Реакции растений на кратковременные ежесуточные понижения температуры: феноменология и механизмы. Физиология растений. 2020. Т. 67. № 6. С. 599-615.
9. Марковская Е. Ф. и др. Влияние кратковременного снижения ночной температуры на рост и холодоустойчивость растений огурца. Физиология растений. 2000. Т. 47. № 4. С. 511-515.
10. Лобова О. В. Влияние городских условий на морфологическое строение листьев и побегов Липы мелколистной. Лесной вестник. 1998. № 4. С. 116-121.
11. Сейдафаров Р. А. Возрастная динамика площади листовой пластинки липы мелколистной в различных типах техногенных условий. Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2013. № 1. С. 121-124.
12. Кавеленова Ю. А., Куриленко Ю. А., Смирнов Ю. В. К особенностям изменений экофизиологических параметров зрелых листьев липы сердцевидной в естественных насаждениях Красносамарского леса. Вестник СамГУ. Естественнаучная серия. 2006. № 7 (47). С. 66-74.
13. Баранов С. Г., Зыков И. Е., Фёдорова Л. В. Влияние климатического фактора на пластичность и асимметрию листовых пластин представителей рода *Tilia* L. Принципы экологии. 2019. № 1. С. 3-18.
14. Петрова А. Б. и др. К оценке количественных параметров листового аппарата дикорастущих и культивируемых *Rosaceae*. Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. Вятский государственный университет. Киров, 2017. Книга 2. С. 246-249.

References

1. Voronina V. P., Dolmonogo M. A., Gabunshchina A. A. Adaptive capabilities of maple plantations in sparsely wooded urbanized landscapes. Proceedings of the LV AUC. 2023. No 1 (69). Pp. 65-78.
2. Utkin A. I., Ermolova L. S., Utkina I. A. Surface area of forest plants: essence, parameters, use. Moscow: Nauka, 2008. 292 p.
3. Vasfilov S. P. Analysis of the causes of variability in the ratio of dry leaf weight to its area in plants. Journal of General Biology. 2011. V. 72. No 6. Pp. 436-454.
4. Dorofeeva M. M., Bonetskaya S. A. Comparative analysis of some classical and modern methods for determining the area of a leaf surface. Plant resources. 2020. V. 56. I. 2. Pp. 182-192.
5. Shibaeva T. G., Ikkonen E. N., Sherudilo E. G., Titov A. F. Peculiarities of plant reaction to daily temperature drops depending on their intensity and duration. Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2018. No 12. Pp. 20-37.
6. Sherudilo E. G., Shibaeva T. G. The effect of short-term daily temperature drops on the cold resistance of leaves of different ages. Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2018. No 8. Pp. 115-123.
7. Ikkonen E. N., Shibaeva T. G. Variability in the ratio of the mass of a plant leaf to its area under conditions of short-term daily temperature drops. Journal of General Biology. 2020. V. 81. No 1. Pp. 47-53.
8. Titov A. F., Shibaeva T. G., Ikkonen E. N., Sherudilo E. G. Plant reactions to short-term daily temperature drops: phenomenology and mechanisms. /Plant physiology. 2020. V. 67. No 6. Pp. 599-615.
9. Markovskaya E. F. et al. The effect of a short-term decrease in night temperature on the growth and cold resistance of cucumber plants. Plant physiology. 2000. V. 47. No 4. Pp. 511-515.
10. Lobova O. V. Influence of urban conditions on the morphological structure of leaves and shoots of small-leaved linden. Forest bulletin. 1998. No 4. Pp. 116-121.

11. Seidafarov R. A. Age dynamics of the area of the leaf blade of small-leaved linden in various types of anthropogenic conditions. Bulletin of the V. G. Shukhov BSTU 2013. No 1. Pp. 121-124.
12. Kavelenova Yu. A., Kurylenko Yu. A., Smirnov Yu. V. On the peculiarities of changes in the eco physiological parameters of mature heart-shaped linden leaves in natural plantations of the Krasnosamarsky forest. Bulletin of SamSU. Natural science series. 2006. No 7 (47). Pp. 66-74.
13. Baranov S. G., Zykov I. E., Fedorova L. V. Influence of the climatic factor on the plasticity and asymmetry of leaf plates of representatives of the genus *Tilia* L. Principles of ecology. 2019. No 1. Pp. 3-18.
14. Petrova A. B. et al. On the assessment of quantitative parameters of the leaf apparatus of wild-growing and cultured Rosaceae. Bio diagnostics of the state of natural and man-made systems. Vyatka State University. Kirov, 2017. V. 2. Pp. 246-249.

Информация об авторах

Воронина Валентина Павловна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26), ORCID: 0000-0002-3441-5314, e-mail: v.p.voronina@mail.ru

Киселева Ангелина Владимировна, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26), e-mail: iarohow4@yandex.ru

Authors' Information

Voronina Valentina Pavlovna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3441-5314>, e-mail: v.p.voronina@mail.ru

Kiseleva Angelina Vladimirovna, postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: iarohow4@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-05

THE ADAPTIVE POTENTIAL ASSESSMENT OF THE PEA VARIETIES (*PISUM SATIVUM* L.) BY STABILITY AND PLASTICITY PARAMETERS

¹Laptina Yu. A., ²Gichenkova O. G., ¹Savinova K. A., ¹Volpe A. A.

¹Federal research Center «Nemchinovka»
Moscow, Russian Federation

²Volgograd state agricultural university
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: olga.gichenkova@mail.ru

Received 26.12.2025

Submitted 12.01.2026

Summary

The article presents a comprehensive assessment of the adaptive potential of ten field pea varieties based on parameters of stability, plasticity, and stress tolerance. Based on three years of data, varieties with high stability and stress tolerance, suitable for regions with unstable climates, have been identified, and a strong correlation between yield and adaptability has been established.

Abstract

Introduction. The increasing production of plant-based protein, primarily supplied by legumes, remains a highly relevant and significant global challenge for the agricultural sector. Despite the high productivity potential of field pea (*Pisum sativum* L.), its realization is often limited by insufficient varietal stability and a generally reduced adaptive potential under conditions of unstable agroclimatic factors, manifesting as abiotic stresses. **Research object.** To conduct a comprehensive evaluation of a pea variety collection based on yield and a wide spectrum of ecological stability and plasticity parameters, followed by correlation analysis to identify key interrelationships between the studied traits. **Object of study.** Ten field pea (*Pisum sativum* L.) varieties of diverse eco-geographic origin were studied: Nemchinovskiy 50, Nemchinovskiy 100, Spartak, Jackpot, Krasnous, Fakel, Krasnoufimskiy 11, Marathon, Astronaut, Madonna. **Materials and methods.** The research was conducted over three vegetation seasons with contrasting productivity (2020-2022). A set of 16 parameters was used for analysis, characterizing stability (σd^2 , Pouss, d, Hom), plasticity (bi, Wi, Kr), stress resistance (Kst, Ymin-Ymax, (Ymin+Ymax)/2), and adaptability (KA, I, KM). For an integrated assessment, each parameter within its group was ranked, and the final variety position was determined by the sum of ranks. Correlation analysis was performed by calculating pairwise Pearson correlation coefficients. **Results and conclusions.** The vegetation periods differed significantly in productivity levels (environment index from -10.11 in 2021 to +9.03 in 2022), allowing for a reliable evaluation of the varieties. Genotypes with opposing reaction types were identified: highly stable and stress-resistant (Nemchinovskiy 100, Nemchinovskiy 50) and highly plastic but unstable (Marathon). Correlation analysis revealed strong positive relationships between yield and the integrated adaptability index (KA, $r=0.99$), as well as strong inverse relationships between stability and plasticity parameters. For practical seed production in regions with unstable climates, varieties combining satisfactory yield with high stability and stress resistance are recommended: Nemchinovskiy 100, Spartak, and Nemchinovskiy 50.

Keywords: peas, pea yields, pea varieties, stress-resistant pea varieties, adaptability of peas.

Citation. Laptina Yu. A., Gichenkova O. G., Savinova K. A., Volpe A. A. The adaptive potential assessment of the pea varieties (*Pisum sativum* L.) by stability and plasticity parameters. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 52-62 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-05.

Authors' contribution. All authors listed in this article were directly involved in conducting research and processing the obtained data. All authors are familiar with the final version presented and have approved it.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 633.358:631.526.32

ОЦЕНКА АДАПТИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА СОРТОВ ГОРОХА ПОСЕВНОГО (*PISUM SATIVUM* L.) ПО ПАРАМЕТРАМ СТАБИЛЬНОСТИ И ПЛАСТИЧНОСТИ

¹Лаптина Ю. А., доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

²Гиченкова О. Г., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

¹Савинова К. А., старший научный сотрудник

¹Вольпе А. А., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

¹Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»

г. Москва, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. В статье представлена комплексная оценка адаптивного потенциала десяти сортов гороха посевного по параметрам стабильности, пластичности и стрессоустойчивости. На основе трёхлетних данных выявлены сорта с высокой стабильностью и стрессоустойчивостью, пригодные для регионов с нестабильным климатом, и установлена сильная корреляция между урожайностью и адаптивностью.

Актуальность. Повышение объемов производства растительного белка, основным поставщиком которого выступают зернобобовые культуры, сохраняет свою актуальность в качестве одной из наиболее значимых глобальных проблем аграрного сектора. Несмотря на высокий потенциал продуктивности гороха посевного, его реализация часто ограничивается недостаточной стабильностью сортов и общим сниженным адаптивным потенциалом в условиях нестабильных агроклиматических факторов, проявляющихся в виде абиотических стрессов. **Цель исследований.** Проведение комплексной оценки коллекции сортов гороха по урожайности и широкому спектру параметров экологической стабильности и пластичности с последующим корреляционным анализом для выявления ключевых взаимосвязей между изучаемыми признаками. **Объектом** исследования были десять сортов гороха посевного (*Pisum sativum* L.) различного эколого-географического происхождения: Немчиновский 50, Немчиновский 100, Спартак, Джепкот, Красноуфимский 11, Марафон, Астронавт, Мадонна. **Материалы и методы.** Исследования проводились в течение трех контрастных по продуктивности вегетационных сезонов (2020-2022 гг.). Для анализа использован набор из 16 параметров, характеризующих стабильность (B^2 , Пусс, d , Hom), пластичность (bi , Wi , Kp), стрессоустойчивость ($K_{ст}$, $Y_{min}-Y_{max}$, $(Y_{min}+Y_{max})/2$) и адаптивность (KA , I , KM). Для интегральной оценки каждый параметр внутри своей группы ранжировался, итоговое место сорта определялось по сумме рангов. Корреляционный анализ проводился путем расчета парных коэффициентов корреляции Пирсона. **Результаты и выводы.** Условия вегетационных периодов существенно различались по уровню продуктивности (индекс среды от -10,11 в 2021 г. до +9,03 в 2022 г.), что позволило достоверно оценить сорта. Выявлены генотипы с противоположным типом реакции: высокостабильные и стрессоустойчивые (Немчиновский 100, Немчиновский 50) и высокопластичные, но нестабильные (Марафон). Корреляционный анализ выявил сильные положительные связи между урожайностью и интегральным показателем адаптивности (KA , $r=0,99$), а также сильные обратные связи между параметрами стабильности и пластичности. Для практического семеноводства в зонах с нестабильным климатом рекомендованы сорта, сочетающие удовлетворительную урожайность с высокими показателями стабильности и стрессоустойчивости: Немчиновский 100, Спартак и Немчиновский 50.

Ключевые слова: горох посевной, урожайность гороха посевного, сорта гороха посевного, стрессоустойчивые сорта гороха, адаптивность гороха посевного.

Цитирование. Лаптина Ю. А., Гиченкова О. Г., Савинова К. А., Вольпе А. А. Оценка адаптивного потенциала сортов гороха посевного (*Pisum sativum* L.) по параметрам стабильности и пластичности. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 52-62. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-05.

Авторский вклад. Все авторы, указанные в настоящей статье, принимали непосредственное участие в проведении исследований и обработке полученных данных. Все авторы ознакомлены с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Горох посевной (*Pisum sativum* L.) – одна из ключевых зернобобовых культур в России, значение которой возрастает в связи с задачей импортозамещения и обеспечения животноводства высокобелковыми кормами [1].

Повышение объемов производства растительного белка, основным поставщиком которого выступают зернобобовые культуры, сохраняет свою актуальность в качестве одной из наиболее значимых глобальных проблем аграрного сектора. Одним из ключевых путей решения проблемы дефицита растительного белка является массовое внедрение в АПК высокопродуктивных и технологичных сортов зернобобовых культур, среди которых лидирующие позиции занимает горох. Несмотря на высокий потенциал продуктивности, его реализация часто ограничивается недостаточной стабильностью сортов и их общим сниженным адаптивным потенциалом.

Долгое время селекция двигалась в сторону повышения урожайности через изменение архитектоники растения и интродукции в их генотип рецессивных генов [2, 3]. К современным сортам предъявляются высокие и разносторонние требования: они должны быть не только высокопродуктивными, но также стрессоустойчивыми, адаптивно гибкими и приспособленными к современным агротехнологиям [4].

Оценка генотипов лишь по средней урожайности является недостаточной, так как не раскрывает характер их реакции на изменение условий выращивания [5, 6]. Для комплексной оценки реакции генотипов на изменяющиеся условия среды разработан ряд статистических методов и параметров [7, 8]. Так, стабильность понимается как способность сорта сохранять относительно постоянный уровень продуктивности в различных условиях. Классическими подходами к ее оценке являются:

- Модель Эберхарта и Рассела (1966), которая предлагает параметры коэффициента регрессии (b_i) и отклонения от регрессии ($\sigma^2 d$). b_i характеризует отзывчивость на улучшение условий, а $\sigma^2 d$ – стабильность поведения [9].
- Гомеостатичность (Hom) по Хангильдину (1985) оценивает способность генотипа поддерживать продуктивность в неблагоприятных условиях [10].
- Показатель размаха (d) по Зыкину и уровень стабильности (Пусс) по Неттевичу также широко используются для количественной оценки стабильности [11].

Параметр экологической пластичности (b_i) из модели Эберхарта-Рассела является ключевым, так как показывает способность сорта изменять свою продуктивность в ответ на улучшение условий окружающей среды [9].

Эквалента (W_i) по Wricke (1962) оценивает вклад генотипа в генотип-средовое взаимодействие, где меньшее значение указывает на большую стабильность [12], а коэффициент отзывчивости (K_p) по Зыкину напрямую характеризует, насколько сорт реагирует на изменение условий [13].

Нестабильность современных агроклиматических условий, проявляющаяся в виде абиотических стрессов, делает актуальным поиск и внедрение сортов, обладающих не только потенциально высокой урожайностью, но и устойчивостью к стрессовым факторам среды, то есть высокой экологической стабильностью и адаптивностью.

По данным ряда авторов существует закономерность между ростом продуктивности и снижением адаптивности. Так по данным Катюк А. И. и др. [2] сорта с высокой отзывчивостью ($b_i > 1$, как Мадонна, Фокор) резко снижают урожай в плохих условиях, а по данным Сапега В. А. [14] интенсивный сорт Саламанка ($b_i = 1,13$) имеет наихудшую стрессоустойчивость – 26,3.

Поэтому для глубокого понимания взаимообусловленности этих параметров необходим корреляционный анализ, позволяющий выявить силу и направление связей между ними.

Целью настоящей работы была комплексная оценка коллекции сортов гороха по урожайности и широкому спектру параметров экологической стабильности и пластичности с последующим корреляционным анализом для выявления ключевых взаимосвязей между изучаемыми признаками.

Материалы и методы. Исследования проводились в течение трех вегетационных сезонов (2020, 2021, 2022 гг.).

Объектом исследования служили десять сортов гороха различного эколого-географического происхождения: Немчиновский 50, Немчиновский 100, Спартак, Джекпот, Красноус, Факел, Красноуфимский 11, Марафон, Астронавт, Мадонна.

Почва опытного участка дерново-подзолистая, среднесуглинистая на моренном суглинке. Содержание гумуса 1,9 %, pH_{KCl} в слое почвы 0-20 см – 5,5. Содержание K_2O 144-166 мг/кг, P_2O_5 161-224 мг/кг.

Площадь делянки составляла 10 м², повторность опыта – 4-х кратная, норма высева – 1,4 млн всхожих зерен на 1 га.

Были рассчитаны следующие показатели:

1. Параметры стабильности: стабильность по Эберхарту и Расселу ($b d^2$), уровень стабильности по Неттевичу (Пусс, %), показатель размаха (d) по Зыкину, гомеостатичность (Ном) по Хангильдину.

2. Параметры пластичности: коэффициент регрессии (b_i) по Эберхарту и Расселу, эквивалента (W_i) по С. Wricke, коэффициент отзывчивости (K_p) по Зыкину.

3. Параметры стрессоустойчивости: коэффициент стрессоустойчивости ($K_{ст}$) по Быкову, устойчивость к стрессу ($Y_{min}-Y_{max}$), компенсаторная способность $((Y_{min}+Y_{max})/2)$ по Гончаренко [15].

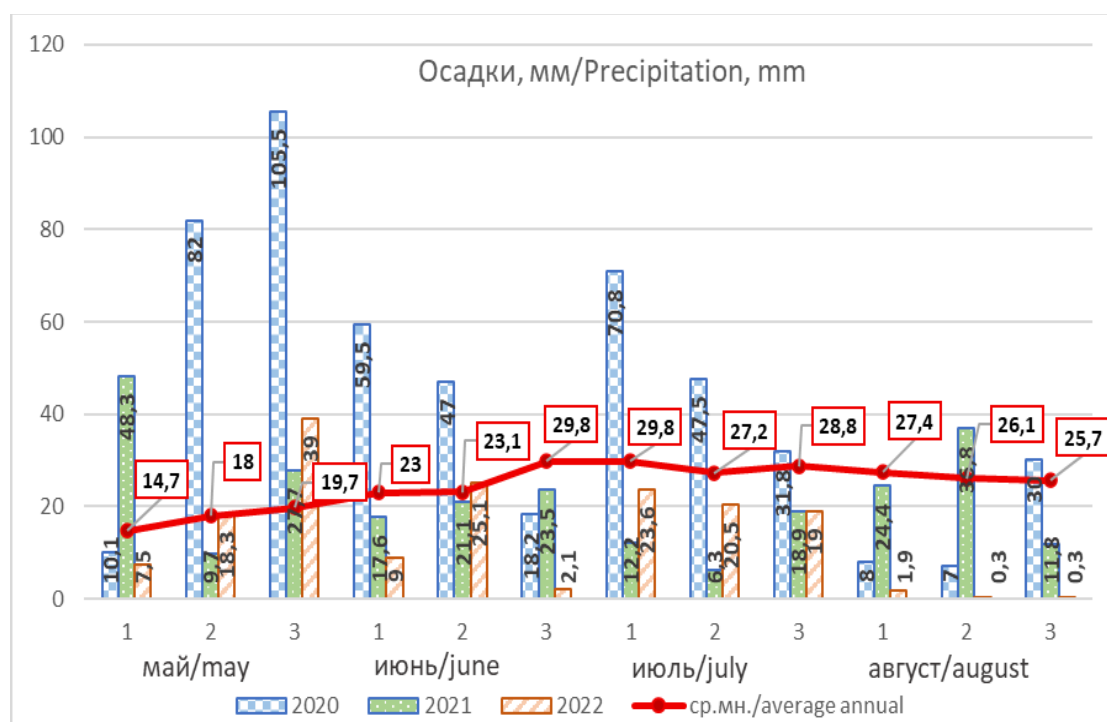
4. Интегральные показатели адаптивности: коэффициент адаптивности (KA) по Животкову, коэффициент интенсивности (I) по Удачину, коэффициент мультипликативности (KM) по Драгавцеву [16-18].

Для интегральной оценки каждый параметр внутри своей группы ранжировался (1 – наилучшее значение, 10 – наихудшее). Итоговое место сорта определялось по сумме рангов внутри каждой таблицы. Корреляционный анализ проводился путем расчета парных коэффициентов корреляции Пирсона между всеми изучаемыми параметрами с последующим построением матрицы корреляций.

Результаты и обсуждения. Анализ погодных условий за период 2020-2022 гг. и их влияние на урожайность гороха позволяет выявить ключевые зависимости между климатическими факторами и продуктивностью культуры в разные фазы развития.

К критическим фазам развития гороха в зависимости от погодных условий относится фаза всходы (май), в этот период горох чувствителен к температуре и влажности почвы. Низкие температуры ($< 10^\circ C$) замедляют прорастание и рост, а избыток осадков может привести к загниванию семян.

Фаза цветение – формирование бобов (июнь – начало июля), наиболее уязвимая фаза, так как высокие температуры ($> 25^\circ C$) и дефицит влаги вызывают опадение цветков и завязей, что напрямую снижает урожайность.



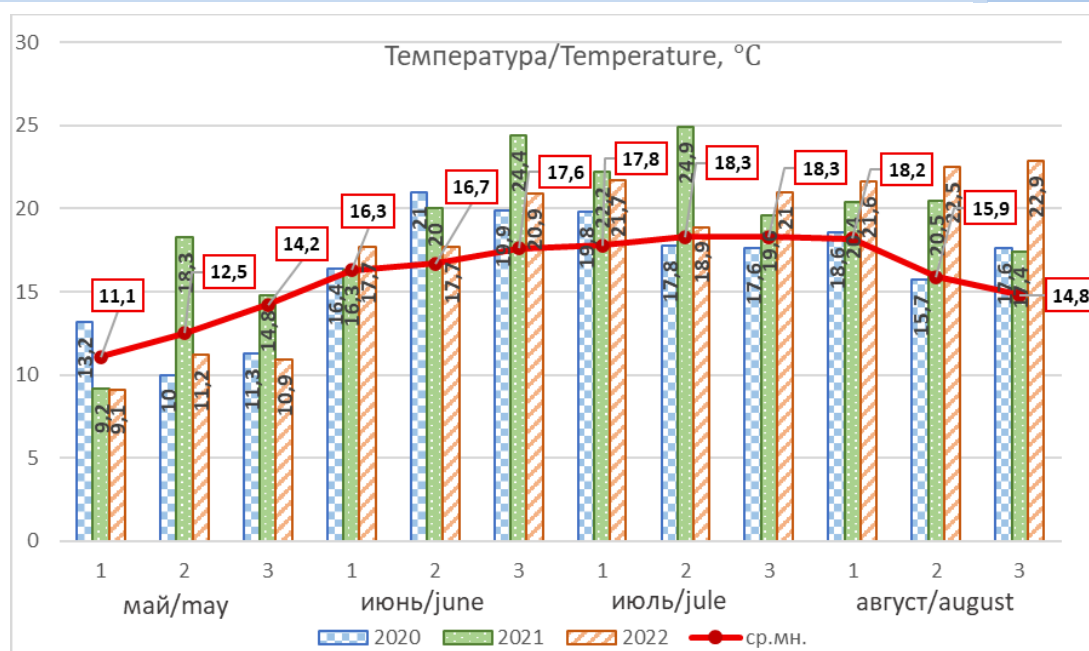


Рисунок 1 – Климатические условия в период исследований (2020-2022 гг.)

Figure 1 – Climate conditions during the study period (2020-2022)

Также достаточное увлажнение и умеренные температуры необходимы для формирования качественного урожая в фазу налив зерна (июль – август). Засуха или переувлажнение в эту фазу снижают массу зерна.

В мае 2020 года температура воздуха близка к норме, но 2-я декада была прохладная, при этом избыток осадков во 2-й и 3-й декадах (82 мм и 105,5 мм), замедлил развитие растений.

В летние месяцы (июнь – июль) температура воздуха выше нормы, особенно в июне (до 21,0°C), осадки распределялись неравномерно – дефицит в 3-й декаде июня (18,2 мм) и избыток в 1-й декаде июля (70,8 мм). В августе температура близка к норме, а вот осадки были в резком дефиците (8,0 мм в 1-й декаде).

Таким образом, вариабельность условий среды 2020 года можно считать умеренно благоприятными, но дефицит осадков в августе мог ограничить налив зерна. Это подтверждается показателем индекса среды – 1,07 (таблица 1).

Таблица 1 – Урожайность сортов гороха посевного, ц/га

Table 1 – Yield of field pea varieties, h/ha

Сорт / Variety	2020 год / year	2021 год / year	2022 год / year	Среднее / Average
Немчиновский 50 (ФИЦ «Немчиновка» / Nemchinovsky 50 (FIC Nemchinovka)	20,6	20,3	31,6	24,17
Немчиновский 100 (ФИЦ «Немчиновка» / Nemchinovsky 100 (FIC Nemchinovka)	35,6	22,6	36,7	31,63
Спартак (Орловский ГАУ) / Spartak (Orel State Agricultural University)	28,9	30,4	43,3	34,20
Джекпот (ООО «Эконива-семена») / Jackpot (Econiva Seeds LLC)	30,3	16,2	35,9	27,47
Красноус (Уральский НИИСХ) / Krasnous (Ural Research Institute of Agriculture)	20	16,9	35	23,97
Факел (Уральский НИИСХ) / Fakel (Ural Research Institute of Agriculture)	31,6	14,4	35	27,00
Красноуфимский 11 (Уральский НИИСХ) / Krasnoufimsky 11 (Ural Research Institute of Agriculture)	23,4	18,1	40,4	27,30
Марафон (Уральский НИИСХ) / Marathon (Ural Research Institute of Agriculture)	36,7	9	33,2	26,30
Астронавт (Германия) / Astronaut (Germany)	46,6	26,8	49,7	41,03
Мадонна (Германия) / Madonna (Germany)	30,1	17,3	42,6	30,00
Сумма / Total	303,8	192	383,4	-
Среднее / Average	30,38	19,20	38,34	29,31
Индекс среды / Environment index	1,07	-10,11	9,03	-

В 2021 году сложились стрессовые погодные условия, в мае отмечена высокая температура во 2-й декаде (18,3°C), однако 1-я декада была холодная (9,2°C). При этом в 1-й декаде отмечался избыток осадков (48,3 мм), затем было резкое снижение (рисунок 1).

В июне – июле зафиксирована высокая температура, до 24,9°C в июле, на фоне резкого дефицита осадков (6,3 мм во 2-й декаде июля). В августе также температура держалась выше нормы, а осадки носили неравномерный характер распределения.

Таким образом, сочетание высоких температур и дефицита осадков в критические фазы (цветение, налив) привело к резкому снижению урожайности (19,20 ц/га). При этом показатель индекса среды имел отрицательное значение (-10,11), что также характеризует этот год как крайне неблагоприятный.

Анализ погодных условий 2022 года показывает, что этот вегетационный период был наиболее благоприятным для роста и развития гороха среди всех трех лет исследований. Это подтверждается максимальной средней урожайностью по коллекции – 38,34 ц/га и индексом среды – 9,03.

Начало вегетации в мае проходило в прохладных условиях. Недостаток тепла мог незначительно замедлить появление всходов и начальный рост. Однако достаточное увлажнение во 2-й и особенно в 3-й декаде (избыток осадков) компенсировало прохладу и создало хороший запас влаги в почве.

В июне сложился оптимальный температурный режим для активного роста и развития. Постепенное повышение температуры до комфортных уровней благоприятствовало цветению. Несмотря на дефицит осадков в 1-й и 3-й декадах, запас влаги с мая и хорошее увлажнение во 2-й декаде позволили растениям избежать серьезного водного стресса.

Погода в июле была почти идеальной для самой ответственной фазы. Температура была повышенной, но не экстремальной (в отличие от 2021 года, когда столбик термометра поднимался до 24,9°C). Высокие температуры не достигли стрессового порога для гороха (~25°C и выше). Осадков выпало меньше нормы, но их было достаточно в сочетании с накопленной ранее влагой, чтобы обеспечить налив зерна. Отсутствие засухи и жары предотвратило опадение цветков и завязей.

Таблица 2 – Показатели стабильности сортов гороха посевного по урожайности

Table 2 – Indicators of stability of pea varieties by yield

Сорт / Variety	Б d ²		Плсс, %		d		Hom		Сумма рангов/ Sum of ranks	Место / Position
	X	ранг / rank	X	ранг / rank	X	ранг / rank	X	ранг / rank		
Немчиновский 50/ Nemchinovsky 50	24,6	1	43,4	5	11,3	1	0,9	4	11	2
Немчиновский 100 / Nemchinovsky 100	39,1	3	79,9	4	14,1	2	1,3	3	12	3
Спартак / Spartak	35,5	2	100,0	2	14,4	3	1,5	1	8	1
Джекпот / Jackpot	67,8	5	40,4	7	19,7	5	0,7	5	22	5
Красноус / Krasnous	58,0	4	28,1	9	18,1	4	0,6	9	26	7
Факел / Fakel	78,8	6	35,3	8	20,6	6	0,7	7	27	8
Красноуфимский 11 / Krasnoufimsky 11	85,5	7	98,0	3	22,3	7	0,6	8	25	6
Марафон / Marathon	137,2	10	23,9	10	27,7	10	0,5	10	40	10
Астронавт / Astronaut	99,2	8	110,1	1	22,9	8	1,4	2	19	4
Мадонна / Madonna	105,7	9	42,2	6	25,3	9	0,7	6	30	9

Примечание: X – значение признака; Б d² – стабильность по С. А. Эберхарту и В. А. Расселу; Плсс – уровень стабильности сорта по Э. Д. Неттевичу; d – уровень стабильности по показателю размаха по Зыкину В. А.; Hom – гомеостатичность по В. В. Хангильдину.

Comment: X – is the value of the trait; Б d² – is stability according to S. A. Eberhart and V. A. Russell; Плсс – is the stability level of the variety according to E. D. Nettevich; d – is the stability level according to the span index according to V. A. Zykin; CV is the coefficient of variation according to B. A. Dospekhov; Hom – is the homeostaticity according to V. V. Hangildin.

В августе установилась жаркая и засушливая погода. Однако к этому времени у большинства сортов фаза активного налива зерна была в основном завершена. Поэтому дефицит осадков и высокие температуры в августе не оказали сильного негативного влияния на итоговую урожайность, а, возможно, даже способствовали ускоренному и равномерному созреванию.

Главной особенностью года стало отсутствие выраженных стрессов. Прохладный старт компенсировался влагой, а недостаток осадков в отдельные периоды компенсировался их равномерным распределением и запасами почвенной влаги. В критический период, в фазу цветения и формирования бобов (июнь-июль) сложились идеальные условия – достаточно тепла и влаги без экстремальных явлений.

Средняя урожайность по коллекции за три года составила 29,31 ц/га. Годы исследований резко различались по продуктивности: 2022 год был наиболее благоприятным (средняя урожайность 38,34 ц/га), а 2021 – стрессовым (19,20 ц/га), что подтверждается минимальным индексом среды (-10,11). Наибольшей средней урожайностью за три года выделился сорт Астронавт (41,03 ц/га), за ним следовали Спартак (34,20 ц/га) и Немчиновский 100 (31,63 ц/га). Наименьший показатель был у сорта Красноус (23,97 ц/га).

Анализ параметров стабильности (таблица 2) показал, что наименьшую сумму рангов (8) и, следовательно, наивысшую общую стабильность имел сорт Спартак. Он показал лучшие значения по гомеостатичности ($Hom = 1,5$, ранг 1). Хорошие результаты также продемонстрировали сорта Немчиновский 50 и Немчиновский 100 (сумма рангов 11 и 12). Наименее стабильным оказался сорт Марафон (сумма рангов 40).

По группе параметров пластичности (таблица 3) лидером оказался сорт Марафон (Σ рангов = 3). Он имел максимальные значения пластичности ($bi = 1,3$) и эковаленты ($Wi = 143,3$), что указывает на его высокую отзывчивость на улучшение условий, но и сильное снижение урожая в неблагоприятные годы.

Таблица 3 – Показатели пластичности сортов гороха посевного по урожайности

Table 3 – Indicators of plasticity of pea varieties by yield

Сорт / Variety	bi		Wi		Kp		Сумма рангов / Sum of ranks	Место / Position
	X	ранг / rank	X	ранг / rank	X	ранг / rank		
Немчиновский 50 / Nemchinovsky 50	0,6	10,0	63,0	3,0	1,6	9,0	22	7
Немчиновский 100 / Nemchinovsky 100	0,8	8,0	25,3	7,0	1,6	8,0	23	8
Спартак / Spartak	0,6	9,0	80,4	2,0	1,5	10,0	21	6
Джекпот / Jackpot	1,0	6,0	4,8	10,0	2,2	5,0	21	6
Красноус / Krasnous	0,9	7,0	38,6	5,0	2,1	6,0	18	5
Факел / Fakel	1,1	5,0	19,7	9,0	2,4	3,0	17	4
Красноуфимский 11 / Krasnoufimsky 11	1,1	4,0	42,1	4,0	2,2	4,0	12	2
Марафон / Marathon	1,3	1,0	143,3	1,0	4,1	1,0	3	1
Астронавт / Astronaut	1,2	3,0	37,4	6,0	1,9	7,0	16	3
Мадонна / Madonna	1,3	2,0	20,4	8,0	2,5	2,0	12	2

Примечание: X – значение признака; bi – экологическая пластичность по методике С. А. Эберхарта и В. А. Рассела; Wi – эковалента пластичности по С. Wricke; Kp – коэффициент отзывчивости по В. А. Зыкину.

Comment: X – is the value of the trait; bi – is ecological plasticity according to the method of S. A. Eberhart and V. A. Russell; Wi – is the environmental coefficient of plasticity according to S. Wricke; Kp – is the coefficient of responsiveness according to V. A. Zykin.

Сорта Красноуфимский 11 и Мадонна также показали высокую пластичность. Наименьшей пластичностью и отзывчивостью характеризовались Немчиновский 50 и Немчиновский 100, что коррелирует с их высокой стабильностью.

Сорта, показывающие высокую стабильность, как правило, имеют низкую пластичность, и наоборот. Это классическая селекционная дилемма. Высокостабильные сорта надежны в стрессовых условиях, но в идеальный год не дадут резкого повышения урожайности. Высокопластичные сорта дают рекордный урожай в хороших условиях, но сильно проседают в плохих.

Наилучшую устойчивость к стрессовым условиям (таблица 4) показал сорт Спартак, который сочетал хороший коэффициент стрессоустойчивости и минимальное отклонение урожая в стрессовых условиях. Сорт Астронавт, имея высокую компенсаторную способность, оказался весьма чувствителен к стрессу. Таким образом, сорта с большим размахом (сильным падением урожая в плохие годы) имеют низкие показатели стабильности, а показатель «Устойчивость к стрессу ($Y_{\min}-Y_{\max}$)» является прямым отражением стабильности сорта. Чем меньше это значение, тем стабильнее сорт.

По комплексным показателям адаптивности (КА, И, КМ) наилучший результат показала Мадонна (Σ рангов = 11), демонстрируя высокий коэффициент интенсивности и мультипликативности. Хорошие результаты также у Немчиновского 100 (Σ рангов = 12) и Факела (Σ рангов = 14) (таблица 5).

Интегральная оценка стабильности, пластичности и адаптивности и ранжирование сортов по группам параметров выявило генотипы с противоположным типом реакции на среду.

Таблица 4 – Параметры стрессоустойчивости сортов гороха по урожайности
Table 4 – Parameters of stress resistance of pea varieties by yield

Сорт / Variety	$K_{\text{ст}}$		$Y_{\min} - Y_{\max}$		$(Y_{\min} + Y_{\max})/2$		Сумма рангов / Sum of ranks	Место / Position
	X	ранг / rank	X	ранг / rank	X	ранг / rank		
Немчиновский 50 / Nemchinovsky 50	0,6	2	-11,3	1	25,9	7	10	3
Немчиновский 100 / Nemchinovsky 100	0,6	3	-14,1	2	29,6	4	9	2
Спартак / Spartak	0,7	1	-14,4	3	36,1	2	6	1
Джекпот / Jackpot	0,5	7	-19,7	5	26,0	6	18	6
Красноус / Krasnous	0,5	5	-18,1	4	25,9	8	17	5
Факел / Fakel	0,4	9	-20,6	6	24,7	9	24	8
Красноуфимский 11 / Krasnoufimsky 11	0,5	6	-22,3	7	29,2	5	18	6
Марафон / Marathon	0,3	10	-27,7	10	22,8	10	30	9
Астронавт / Astronaut	0,6	4	-22,9	8	38,2	1	13	4
Мадонна / Madonna	0,5	8	-25,3	9	29,9	3	20	7

Примечание: X – значение признака; $K_{\text{ст}}$ – коэффициент стрессоустойчивости по А. В. Быкову; $Y_{\min} - Y_{\max}$ – устойчивость к стрессу; $(Y_{\min} + Y_{\max})/2$ – компенсаторная способность сорта (генетическая гибкость) по А. А. Гончаренко.

Comment: X – value of the trait; K_{st} – stress resistance coefficient according to A. V. Bykov; $Y_{\min} - Y_{\max}$ – stress resistance; $(Y_{\min} + Y_{\max})/2$ – compensatory ability of the variety (genetic flexibility) according to A. A. Goncharenko.

Высокостабильные и стрессоустойчивые: сорта Немчиновский 100 и Немчиновский 50 стабильно занимали лидирующие позиции по параметрам стабильности и стрессоустойчивости (места 1-2), демонстрируя наименьшее падение урожая в неблагоприятных условиях.

Высокопластичные и отзывчивые: сорт Марафон имел наилучшие показатели пластичности (место 1), но худшие – по стабильности (место 8), что характерно для генотипов, сильно зависящих от условий среды.

Сорта с комплексными показателями: Спартак и Мадонна сочетали хорошую урожайность с удовлетворительными показателями по нескольким группам параметров.

Корреляционный анализ взаимосвязей между параметрами выявил ряд статистически значимых и биологически обоснованных связей (таблица 6).

Обнаружены практически функциональные прямые связи между урожайностью и интегральным показателем КА ($r = 0,99$). Это свидетельствует о том, что в условиях нестабильной среды высокая средняя урожайность достигается именно за счет общих адаптивных свойств сорта.

Таблица 5 – Параметры адаптивности сортов гороха по урожайности
Table 5 – Parameters of adaptability of pea varieties by yield

Сорт / Variety	КА		И		КМ		Сумма рангов / Sum of ranks	Место / Position
	х	ранг / rank	х	ранг / rank	х	ранг / rank		
Немчиновский 50 / Nemchinovsky 50	85,3	8	94,1	2	1,7	9	19	7
Немчиновский 100 / Nemchinovsky 100	110,2	3	100,8	1	1,7	8	12	2
Спартак / Spartak	122,1	2	90,6	4	1,5	10	16	5
Джекпот / Jackpot	92,6	5	87,3	7	2,1	5	17	6
Красноус / Krasnous	81,7	10	62,2	10	2,1	6	26	8
Факел / Fakel	90,1	7	91,4	3	2,2	4	14	3
Красноуфимский 11 / Krasnoufimsky 11	92,2	6	89,2	6	2,2	3	15	4
Марафон / Marathon	84,8	9	70,4	9	2,5	1	19	7
Астронавт / Astronaut	140,9	1	79,5	8	1,9	7	16	5
Мадонна / Madonna	100,1	4	89,5	5	2,3	2	11	1

Примечание: КА – коэффициент адаптивности по Животкову; И – коэффициент интенсивности по Удачину; адаптивности КМ – коэффициент мультипликативности по Драгавцеву.

Comment: KA – is the coefficient of adaptivity according to Zhivotkov; I – is the coefficient of intensity according to Udachin; adaptivity KM – is the coefficient of multiplicativity according to Dragavtsev.

Наблюдается сильная обратная связь между коэффициентом стрессоустойчивости (Кст) и коэффициентом отзывчивости (Кр) ($r = -0,97$). Это указывает на то, что сорта, сильно реагирующие на улучшение условий, так же сильно страдают в стрессовых ситуациях.

Таблица 6 – Коэффициенты корреляции (r) между параметрами оценки сортов гороха
Table 6 – Correlation coefficients (r) between pea variety evaluation parameters

Признак 1 / Sign 1	Признак 1 / Sign 1	r	Характер связи / Type of connection
Урожайность / Yield	Коэффициент адаптивности / Adaptation Coefficient (KA)	+0,99	Прямая сильная / Direct strong
Урожайность / Yield	Генетическая гибкость / Genetic flexibility ((Ymin + Ymax)/2)	+0,91	Прямая сильная / Direct strong
Стабильность / Stability (σd^2)	Показатель размаха / Range indicator (d)	+0,99	Прямая сильная / Direct strong
Стабильность / Stability (σd^2)	Пластичность / Plasticity (bi)	+0,96	Прямая сильная / Direct strong
Пластичность / Plasticity (bi)	Стрессоустойчивость / Stress resistance (Ymin-Ymax)	-0,98	Обратная сильная / Strong negative
Коэффициент стрессоустойчивости / Stress resistance coefficient (Кст)	Коэффициент отзывчивости / coefficient of responsiveness (Кр)	-0,97	Обратная сильная / Strong negative

Выявлены сильные прямые (таблица 6) связи между параметрами, оценивающими нестабильность (σd^2 , d) и пластичность (bi). Чем более отзывчив сорт на улучшение условий (высокий bi), тем менее он стабилен (высокие σd^2 и d), и наоборот.

Полученные результаты исследований показали, что между параметрами стабильности и пластичности существует сильная отрицательная корреляционная связь. Это создает классическую селекционную дилемму:

- Высокостабильные сорта (низкие σd^2 , bi < 1) надежно обеспечивают урожай в стрессовых условиях, но не реализуют максимальный потенциал в идеальные годы.
- Высокопластичные сорта (высокие bi, Кр) способны давать рекордные урожаи при благоприятных условиях, но сильно снижают продуктивность в стрессовых ситуациях.

Таким образом, задача современной селекции – не просто отбор высокоурожайных генотипов, но и создание сортов, оптимально сочетающих оба этих свойства в зависимости от целевой зоны возделывания

Выводы. 1. Условия вегетационных периодов 2020-2022 гг. существенно различались по уровню продуктивности для гороха, что позволило провести достоверную оценку экологической стабильности и пластичности изучаемых сортов.

2. Выявлены сорта с противоположным типом реакции на среду: высокопластичные, но нестабильные (Марафон) и высокостабильные, но менее отзывчивые (Немчиновский 50, Немчиновский 100). Сорт Спартак занимает промежуточное положение, демонстрируя высокую стабильность и хорошую урожайность.

3. Корреляционный анализ выявил сильные взаимосвязи между ключевыми параметрами. Наиболее значимыми являются: прямая зависимость урожайности от интегральной адаптивности ($r = 0,99$) и обратная зависимость между параметрами пластичности и стабильности ($r > 0,96$).

4. Для практического семеноводства и производства в зонах с нестабильным климатом рекомендуются сорта, сочетающие удовлетворительную урожайность с высокими показателями стабильности и стрессоустойчивости: Немчиновский 100, Спартак и Немчиновский 50. Сорт Астронавт может быть рекомендован для регионов с высоким агрофоном и благоприятными условиями.

Conclusions. 1. The growing season conditions of 2020-2022 varied significantly in terms of pea productivity, which allowed for a reliable assessment of the ecological stability and plasticity of the studied varieties.

2. Varieties with opposite types of environmental response were identified: highly plastic but unstable (Marathon) and highly stable but less responsive (Nemchinovsky 50, Nemchinovsky 100). The Spartak variety occupies an intermediate position, demonstrating high stability and good yield.

3. Correlation analysis revealed strong interrelationships between key parameters. The most significant are: a direct dependence of yield on integral adaptability ($r=0.99$) and an inverse dependence between plasticity and stability parameters ($r > 0.96$).

4. For practical seed production and cultivation in regions with unstable climates, varieties combining satisfactory yield with high indicators of stability and stress resistance are recommended: Nemchinovsky 100, Spartak, and Nemchinovsky 50. The Astronaut variety can be recommended for regions with a high agro-background and favorable conditions.

Библиографический список

1. Гончаров С. В., Титаренко А. В., Коробова Н. А. Некоторые аспекты селекционных программ по гороху посевному. *Зерновое хозяйство России*. 2015. № 3. С. 10-14.
2. Катюк А. И., Зубов А. Е., Мадякин Е. В. Урожайность и экологическая пластичность сортов гороха разных морфотипов по периодам сортосмены. *Известия Самарского научного центра РАН*. 2014. № 5-3.
3. Давлетов Ф. А., Гайнуллина К. П., Каримов И. К. Сравнительное изучение морфобиологических и хозяйственно-ценных признаков гороха стародавних и современных сортов. *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2016. № 4 (40). С. 26-27.
4. Давлетов Ф. А. Ахмадуллина И. И., Сафин Ф. Ф., Гайнуллина К. П. Гомеостатичность и адаптивность сортов гороха разных морфотипов. *Вестник Казанского ГАУ*. 2019. Т. 14. № 4 (55). С. 27-30.
5. Шукис С. К., Шукис Е. Р. Оценка селекционных линий гороха различных морфотипов в условиях Алтайского края. *Достижение науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 7. С. 76-79.
6. Шакирзянова М. С. Продуктивность и экологическая пластичность сортов гороха экологического сортоиспытания. *Достижения науки и техники АПК*. 2016. Т. 30. № 12. С. 28.
7. Калапчиева С., Косев В., Василева В. Взаимодействие генотип – среда и стабильность количественных признаков у садового гороха. *Сельскохозяйственная биология*. 2022. Т. 57. № 5. С. 965-980.
8. Rana C., Sharma A., Sharma K. C., Mittal P., Sinha B. N., Sharma V. K., Chandel A., Thakur H., Kaila V., Sharma P., Rana V. Stability analysis of garden pea (*Pisum sativum* L.) genotypes under North Western Himalayas using joint regression analysis and GGE biplots. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2021. No 68. Pp. 999-1010.
9. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966. V. 6. Pp. 36-40.
10. Хангильдин В. В. Оценка стабильности и адаптивности сельскохозяйственных растений. *Сельскохозяйственная биология*. 1985. Т. 20. № 5. С. 10-15.
11. Неттевич Э. Д., Моргунов А. И., Максименко М. И. Повышение эффективности отбора яровой пшеницы на стабильность, урожайность и качество зерна. *Вестник сельскохозяйственной науки*. 1985. № 1. С. 66-73.
12. Wricke G. On a method for measuring the ecological spread in field experiments. *Journal of Plant Breeding*. 1962. V. 47. Pp. 92-96.
13. Зыкин В. А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ: метод. рекомендации. Новосибирск, 1984. 24 с.
14. Сапега В. А., Турсумбекова Г. Ш. Урожайность и адаптивность сортов гороха в условиях подтайги Северного Зауралья. *Аграрный вестник Урала*. 2023. № 08 (237). С. 24-36.
15. Гончаренко А. А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур. *Вестник РАСХН*. 2005. № 6. С. 49-53.
16. Животков Л. А., Ермилов А. И., Безукладова О. Н. Методика оценки адаптивной способности сортов зерновых культур. *Земледелие*. 2000. № 4. С. 14-15.
17. Удачин Р. А., Головаченко А. П. Методика оценки экологической пластичности сортов пшеницы. *Селекция и семеноводство*. 1991. № 5. С. 2-6.
18. Драгавцев В. А. и др. Методы оценки экологической пластичности и стабильности сельскохозяйственных растений. СПб., 1992.

References

1. Goncharov S. V., Titarenko A. V., Korobova N. A. Some aspects of breeding programs for seed peas. Grain industry of Russia. 2015. No 3. Pp. 10-14.
2. Katyuk A. I., Zubov A. E., Madyakin E. V. Productivity and ecological plasticity of pea varieties of different morphotypes by variety change periods. Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2014. № 5-3.
3. Davletov F. A., Gainullina K. P., Karimov I. K. Comparative study of morphological biological and economically valuable characteristics of peas of ancient and modern varieties. Bulletin of the Bashkir State Agrarian University. 2016. № 4 (40). Pp. 26-27.
4. Davletov F. A., Akhmadullina I. I., Safin F. F., Gainullina K. P. Homeostaticity and adaptability of pea varieties of different morphotypes. Bulletin of the Kazan State Agrarian University. 2019. V. 14. No 4 (55). Pp. 27-30.
5. Shukis S. K., Shukis E. R. Evaluation of pea breeding lines of various morpho-types in the Altai Territory. Achievement of science and technology of the agro-industrial complex. 2020. Vol. 34. No 7. Pp. 76-79.
6. Shakirzyanova M. S. Productivity and ecological plasticity of pea varieties of ecological variety testing. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2016. Vol. 30. No 12. P. 28.
7. Kalapchieva S., Kosev V., Vasileva V. The genotype-environment interaction and the stability of quantitative traits in garden peas. Agricultural Biology. 2022. V. 57. No 5. Pp. 965-980.
8. Rana C., Sharma A., Sharma K. C., Mittal P., Sinha B. N., Sharma V. K., Chandel A., Thakur H., Kaila V., Sharma P., Rana V. Stability analysis of garden pea (*Pisum sativum* L.) genotypes under North Western Himalayas using joint regression analysis and GGE biplots. Genetic Resources and Crop Evolution. 2021. No 68. Pp. 999-1010.
9. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science. 1966. V. 6. Pp. 36-40.
10. Khangildin V. V. Assessment of stability and adaptability of agricultural plants. Agricultural biology. 1985. V. 20. No 5. Pp. 10-15.
11. Nettevich E. D., Morgunov A. I., Maksimenko M. I. Improving the efficiency of spring wheat selection for stability, yield and grain quality. Bulletin of Agricultural Science. 1985. No 1. Pp. 66-73.
12. Wricke G. On a method for measuring the ecological spread in field experiments. Journal of Plant Breeding. 1962. V. 47. Pp. 92-96.
13. Zykin V. A. Parameters of ecological plasticity of agricultural plants, their calculation and analysis: method. recommendations. Novosibirsk, 1984. 24 p.
14. Sapega V. A., Tursumbekova G. Sh. Productivity and adaptability of pea varieties in the conditions of subtaiga of the Northern Trans-Urals. Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No 08 (237). Pp. 24-36.
15. Goncharenko A. A. On adaptability and environmental sustainability of grain varieties // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2005. No 6. Pp. 49-53.
16. Zhivotkov L. A., Ermilov A. I., Bezukladova O. N. Methodology for assessing the adaptive capacity of grain varieties. 2000. No 4. Pp. 14-15.
17. Udachin R. A., Golovochenko A. P. Methodology for assessing the ecological plasticity of wheat varieties. Breeding and seed production. 1991. No 5. Pp. 2-6.
18. Dragavtsev V. A. et al. Methods for assessing the ecological plasticity and stability of agricultural plants. St. Petersburg, 1992.

Информация об авторах

Лаптина Юлия Александровна, ведущий научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, ФИЦ «Немчиновка» (Российская Федерация, 121205, г. Москва, Можайский МО, Сколково, б-р Большой, 30), e-mail: ylaptina82@mail.ru
Гиченкова Ольга Геннадьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: olga.gichenkova@mail.ru
Савинова Кристина Андреевна, старший научный сотрудник, ФИЦ «Немчиновка» (Российская Федерация, 121205, г. Москва, Можайский МО, Сколково, б-р Большой, 30), e-mail: kristinmatveenko@yandex.ru
Вольпе Артем Анатольевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФИЦ «Немчиновка» (Российская Федерация, 121205, г. Москва, Можайский МО, Сколково, б-р Большой, 30), e-mail: volpea@mail.ru

Authors' Information

Laptina Yulia Aleksandrovna, Leading Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, Federal research Center Nemchinovka (Russian Federation, 121205, Moscow, Mozhaish District, Skolkovo, Bolshoy b-r, 30), e-mail: ylaptina82@mail.ru
Gichenkova Olga Gennadiyevna, Candidate of Agricultural Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskij Avenue, 26), e-mail: olga.gichenkova@mail.ru
Savinova Kristina Andreevna, Senior Researcher, Federal research Center Nemchinovka (Russian Federation, 121205, Moscow, Mozhaish District, Skolkovo, Bolshoy b-r, 30), e-mail: kristinmatveenko@yandex.ru
Volpe Artem Anatolyevich, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Federal research Center Nemchinovka, (Russian Federation, 121205, Moscow, Mozhaish District, Skolkovo, Bolshoy b-r, 30), e-mail: volpea@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-06

THE INFLUENCE OF AGRICULTURAL TECHNIQUES ON THE CHERRY YIELD FORMATION IN THE SOUTH OF RUSSIA¹Petrov N. Y., ¹Efremova E. N., ¹Gaushkin D. V., ¹Chekrygina T. A., ²Salaev B. K.¹Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation²Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov
Elista, Russian Federation

Corresponding author E-mail: npetrov60@list.ru

Received 10.10.2025

Submitted 26.01.2026

Abstract

Introduction. For the growth of cherry yields, it is quite promising in Russia and abroad to use new varieties, which, along with mineral nutrition under regular irrigation, provide activity in the development and growth of plants, especially in difficult soil and climatic conditions in which they grow. These varieties have

the ability to actively influence vital processes in plant development. Primary attention is currently being paid to obtaining environmentally safe products. As a result, research on the effect of mineral nutrition and irrigation regimes on cherry productivity is of scientific interest and the possibility of application in the practice of commodity producers. **Object.** In a comparative assessment, cherry varieties were studied: Raspletka (control), Turgenevka, Lyubskaya, Kharitonovskaya, Molodezhnaya, Rossoshanskaya chernaya. Water-soluble fertilizer Master 18:18:18 was applied. Two irrigation regimes were studied: permanent (70-70-70 % HC) and differentiated (70-80-70 % HC). **Materials and methods.** Field studies were conducted in 2023-2025 in the fields of LLC "Sady Pridonia" located in the zone of chestnut soils of the Volgograd region. **Results and conclusions.** The conducted studies have shown that the lowest yield of cherry fruits in an average of two years was formed on the variant with an irrigation regime of 70-70-70 % HB in the Raspletka variety and it was equal to 7.3 t/ha. Creating a 70-80-70 irrigation regime % HB on this variety contributed to an increase in yield to 7.9 t/ha. The increase was 0.6 t/ha. Among the studied varieties, the highest yield of cherries was obtained from the Lyubskaya variety in both irrigation modes.

Keywords: cherry irrigation, cherry irrigation regimes, cherry mineral nutrition, cherry varieties, cherry cultivation technologies, cherry cultivation conditions.

Citation. Petrov N. Yu., Efremova E. N., Gaushkin D. V., Chekrygina T. A., Salaev B. K. The influence of agricultural techniques on the cherry yield formation in the south of Russia. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 62-67 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-06.

The authors' contribution. All the authors of this study were directly involved in the planning, execution, or analysis of this study. All the authors of this article have read and approved the submitted final version.

Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 634.23

ВЛИЯНИЕ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ВИШНИ НА ЮГЕ РОССИИ

¹Петров Н. Ю., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹Ефремова Е. Н., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

¹Гаушкин Д. В., аспирант

¹Чекрыгина Т. А., кандидат экономических наук, доцент

²Салаев Б. К., доктор биологических наук, профессор

¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова»,

г. Элиста, Республика Калмыкия, Российская Федерация

Актуальность. Для повышения урожайности вишни достаточно перспективно в России и за рубежом применять новые сорта, которые наряду с минеральным питанием в условиях регулярного орошения обеспечивают активность в развитии и росте растениям, особенно, в трудных почвенно-климатических условиях, на которых они произрастают. Эти сорта обладают возможностью активно влиять на жизненно важные процессы в развитии растений. Первостепенное внимание в настоящее время уделяется получению экологической безопасной продукции. В результате научный интерес и возможность применения в практике товаропроизводителей представляют исследования по изучению влияния минерального питания и режимов орошения на продуктивность вишни. **Объект.** В сравнительной оценке изучались сорта вишни: Расpletка (контроль), Тургеневка, Любская, Харитоновская, Молодежная, Россoshанская черная. Вносили водорастворимое удобрение Мастер 18:18:18. Изучались два режима орошения: постоянный (70-70-70 % HB) и дифференцированный (70-80-70 % HB). **Материалы и методы.** Полевые исследования были проведены в 2023-2025 годах на полях ООО «Сады Придонья» находящихся в зоне каштановых почв Волгоградской области. **Результаты и выводы.** Проведенные исследования показали, что наименьшая урожайность плодов вишни в среднем за два года сформировалась на варианте с режимом полива 70-70-70 % HB у сорта Расpletка и она равнялась – 7,3 т/га. Создание режима орошения 70-80-70 % HB на этом сорте способствовало увеличению урожайности до 7,9 т/га. Прибавка составила – 0,6 т/га. Среди изучаемых сортов наибольшая урожайность вишни была получена у сорта – Любская на обоих режимах орошения.

Ключевые слова: орошение вишни, режимы орошения вишни, минеральное питание вишни, сорта вишни, технологии возделывания вишни, условия возделывания вишни.

Цитирование. Петров Н. Ю., Ефремова Е. Н., Гаушкин Д. В., Чекрыгина Т. А., Салаев Б. К. Влияние агротехнических приемов на формирование урожайности вишни на юге России. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 62-67. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-06.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Мировой и отечественный опыт показывает, что одним из основных путей решения этого вопроса является создание интенсивных высокопродуктивных садов на основе клоновых подвоев, способствующих снижению силы роста, а соответственно более плотной схеме посадки садовых насаждений и снижению затрат на уходные мероприятия. Урожайность сортов на клоновых подвоях выше в 1,5-2,0 раза по сравнению с традиционными технологиями возделывания на сильнорослых подвоях. Преимущество интенсивных садов на клоновых подвоях заключается в более раннем вступлении в плодоношение, начинающегося раньше на 2-3 года и в более высоком качестве плодов [4, 8].

По данным Г. Е. Осипова (2019) и других «...общая площадь плодовых насаждений, по данным всероссийской переписи 2016 года, в России составляла более 464 тыс. га. Из них, площадь, занимаемая под многолетними производственными насаждениями Волгоградской области, составляла 16,2 тыс. га. Значительная часть площади плодовых насаждений находится в личных подсобных и дачных хозяйствах. Остальное садоводство области сосредоточено в 17 специализированных хозяйствах. Сложившая структура плодовых насаждений Волгоградской области, в процентном соотношении всех культур, приведена на рисунке 1» [3, 9, 11].



Рисунок 1 – Соотношение культур в плодовых насаждениях Волгоградской области

Figure 1 – The ratio of crops in fruit plantations of the Volgograd region

В Волгоградской области вишня – весьма популярная плодовая культура, благодаря прекрасному качеству плодов, зимостойкости, скороспелости и регулярной высокой урожайности. Многие сорта вишни отличаются хорошими вкусовыми качествами, а также пригодны к различным видам технической переработки.

В настоящее время появились современные виды садов, такие как: пальметный, интенсивный и т.д. Однако сады такого типа требуют высококачественного посадочного материала, произведённого с применением новых подвоев, обеспечивающих хорошую приживаемость сорта и устойчивое снижение роста плодовых деревьев [6].

Материалы и методы. Полевые опыты проводились в 2023-2025 годах на полях ООО «Сады Придонья», находящегося в зоне каштановых почв Волгоградской области. Содержание гумуса в пахотном горизонте почвы равнялось 2,14-2,34 %. Содержание подвижного фосфора – 18,2-19,6 мг/кг, подвижного калия – 305-320 мг/кг. В сравнительной оценке изучались сорта вишни: Расплетка (контроль), Тургеневка, Любская, Харитоновская, Молодежная, Россошанская черная.

Закладка опыта осуществлялась методом рандомизированного размещения вариантов. Площадь каждой повторности равнялась 4 м² при схеме посадки саженцев в ряду 0,1 м и расстоянии между рядами 1,5 м. Агротехника, наблюдения и замеры в поле проводились по общепринятым методикам: «Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований» (Москва, 1985). Применяли капельное орошение с изучением 2 режимов: 70-70-70 % НВ (постоянный режим) и 70-80-70 % НВ (дифференцированный режим). При применении постоянного режима орошения было произведено

в среднем по 12 поливов с оросительной нормой – 1400 м³/га, при дифференцированном поливе было произведено 12 поливов с оросительной нормой – 1800 м³/га. Применялось водорастворимое удобрение Мастер 18:18:18.

Результаты и обсуждения. Основным показателем ценности сорта является его урожайность. Высокой урожайности можно достичь только при оптимальном протекании процессов питания, роста, развития, обмена, превращения веществ и энергии в растениях и насаждениях. Известно, что хозяйственно-полезные признаки и свойства определяются биологическими особенностями сорта. Вместе с тем, в условиях изменения климата и участвовавшего воздействия стрессовых факторов, а также интенсификации отрасли садоводства, создание более интенсивных садов, получение стабильных и высоких урожаев возможно при использовании не только новых адаптивных сортов, но и новых подвоев.

Данные многих исследований подтверждают, что в технологии возделывания косточковых культур одно из ведущих мест занимают сорто-подвойные комбинации, поскольку на их долю приходится более 70 % формирования будущего урожая. В настоящее время создано значительное количество подвоев для косточковых культур, которые хорошо изучены. Вместе с тем, отсутствуют данные о подборе и изучение сорто-подвойных комбинаций вишни в границах того или иного региона.

В Волгоградской области до настоящего времени не уделялось должного внимания изучению сортов вишни, изучению режимов орошения и внесению расчетного количества минеральных удобрений под заданные уровни урожайности. Поэтому изучение сортов вишни на различных клоновых подвоях в условиях Волгоградской области является актуальным.

Таблица 1 – Урожайность вишни в зависимости от режима орошения и агрофона

Table 1 – Cherry yield depending on irrigation regime and background

Сорт / Variety	Урожайность, кг/д / Yield, kg/d		Средняя, т/га / Average, t/ha
	2023 год / year	2024 год / year	
Постоянный режим орошения 70-70-70 % НВ / Constant irrigation regime of 70-70-70 % НВ			
Расплетка / Raspletka	6,7	8,0	7,3
Тургеневка / Turgenevka	7,8	8,2	8,0
Любская / Lubskaya	8,4	8,9	8,7
Харитоновская / Kharitonovskaya	8,3	8,8	8,5
Молодежная / Molodeznaya	6,9	8,7	7,8
Россошанская черная / Rossoshanskaya chernaya	7,4	9,2	8,3
Дифференцированный режим орошения 70-80-70 % НВ / Differentiated irrigation regime of 70-80-70 % НВ			
Ролплетка / Rolpletka	7,4	8,5	7,9
Тургеневка / Turgenevka	8,4	9,1	8,7
Любская / Lubskaya	8,8	9,6	9,2
Харитоновская / Kharitonovskaya	8,9	9,4	9,1
Молодежная / Molodeznaya	7,5	9,3	8,8
Россошанская черная / Rossoshanskaya chernaya	7,9	10,1	9,0

НСП₀₅

0,04

0,06

Анализируя представленный материал, можно отметить, что наименьшая урожайность плодов вишни, в среднем за два года, сформировалась на варианте с режимом полива 70-70-70 % НВ у сорта Расплетка и составила – 7,3 т/га. Создание режима полива 70-80-70 % НВ на этом сорте привело к увеличению урожайности до 7,9 т/га. Прибавка составила – 0,6 т/га. Среди изучаемых сортов наибольшая урожайность вишни была отмечена у сорта – Любская на обоих режимах орошения. При создании постоянного режима орошения на этом сорте была достигнута урожайность 8,7 т/га, а при поддержании дифференцированного режима орошения – 9,2 т/га. Остальные сорта имели урожайность ниже, но в любом случае превышали значения контрольного сорта.

Заключение. Следовательно, сельхозтоваропроизводителям можно рекомендовать сорт вишни Любская с использованием дифференцированного режима полива (70-80-70 % НВ) и внесением водорастворимого удобрения Мастер 18:18:18.

Conclusion. Therefore, agricultural producers can recommend the Lyubskaya cherry variety using a differentiated irrigation regime (70-80-70 % НС) and applying a water-soluble fertilizer Master 18:18:18.

Библиографический список

1. Гуляева А. А., Ефремов И. Н., Берлова Т. Н. Перспективные сорта вишни для Центрально-Чернозёмного региона России. Вестник аграрной науки. 2020. № 1 (82). С. 13-19.
2. Доля Ю. А., Заремук Р. Ш. Формирование потенциальной урожайности сортов вишни обыкновенной. Научные труды СКФНЦСВВ. 2019. Т. 23. С. 65-69.
3. Дроник А. А. Оценка устойчивости сортов вишни к возвратным заморозкам в Астраханской области. Аграрный научный журнал. 2021. № 5. С. 21-23.
4. Ефремов И. Н., Гуляева А. А., Берлова Т. Н., Галькова А. А., Безлепкина Е. В. Оценка устойчивости сортов вишни генофонда ВНИИСПК к коккомикозу. Вестник аграрной науки. 2020. № 3 (84). С. 26-30.
5. Морозова Н. Г., Карташова О. Н., Харин А. Е. Проявление зимостойкости сортов вишни и черешни во ВСТИСП после зимы 2005/2006 гг. Плодоводство и ягодоводство России: сб. науч. работ. М., 2006. Т. XVII. С. 159-165.
6. Мотылева С. М., Морозова Н. Г., Мертвищева М. Е. Антиоксидантная активность сорта Любская плодов и листьев вишни и черешни в Подмоскowie. Плодоводство и ягодоводство России Харитонов. 2014. Т. 38. С. 26-32.
7. Ожерельева З. Е., Прудник, П. С., Ефремов И. Н. Изучение морозостойкости сортов вишни селекции ВНИИСПК. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 4. С. 29-33.
8. Осипов Г. Е., Осипова З. А., Петрова Н. В. Морфологические и биологические особенности сортов и гибридов вишни Татарского НИИСХ. Казань, 2016. 72 с.
9. Осипов Г. Е., Тагиров М. Ш., Осипова З. А. Экологические подходы к садоводству Татарстана. Казань, 2019. 128 с.
10. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орел, 1999. 608 с.
11. Brym Z. T., Black B. L. Quantitative Survey of 'Montmorency' Tart Cherry Orchard Design in Utah. HortScience. 2021. № 56 (11). Pp.1402-1407.
12. Keserović Z., Ognjanov V., Magazin N., Dorić M. Current situation and perspectives in sour cherry production. Sour cherry breeding. Cost action FA1104 Sustainable production of high-quality cherries for the European market. Novi Sad, 2014.

References

1. Gulyaeva A. A., Efremov I. N., Berlova T. N. Promising cherry varieties for the Central Chernozem region of Russia. Bulletin of Agrarian Science. 2020. No. 1 (82). Pp. 13-19.
2. Dolya Yu. A., Zaremuk R. Sh. Formation of the potential yield of common cherry varieties. Scientific papers of the North Caucasus Federal University. 2019. Vol. 23. Pp. 65-69.
3. Dronik A. A. Assessment of the resistance of cherry varieties to recurrent frosts in the Astrakhan region. Agrarian Scientific Journal. 2021. No. 5. Pp. 21-23.
4. Efremov I. N., Gulyaeva A. A., Berlova T. N., Galkova A. A., Bezlepina E. V. Assessment of the resistance of cherry varieties of the VNIISPК gene pool to coccomycosis. Bulletin of Agrarian Science. 2020. No. 3 (84). Pp. 26-30.
5. Morozova N. G., Kartashova O. N., Kharin A. E. Manifestation of winter hardiness of cherry and sweet cherry varieties during and after the winter of 2005/2006. Fruit and berry growing in Russia: collection of scientific works. M., 2006. Vol. XVII. Pp. 159-165.
6. Motyleva S. M., Morozova N. G., Deadishcheva M. E. Antioxidant activity of the Lyubskaya variety of fruits and leaves of cherries and cherries in the Moscow region. Fruit and berry growing of Russia Kharitonovi. 2014. Vol. 38. Pp. 26-32.
7. Ober'eva Z. E., Prudnik P. S., Efremov I. N. Study of frost resistance of cherry varieties of VNIISPК breeding. Bulletin of the Russian Agricultural Science. 2020. No. 4. Pp. 29-33.
8. Osipov G. E., Osipova Z. A., Petrova N. V. Morphological and biological features of cherry varieties and hybrids of the Tatar Research Institute of Agriculture. Kazan, 2016. 72 p.
9. Osipov G. E., Tagirov M. Sh., Osipova Z. A. Ecological approaches to gardening in Tatarstan. Kazan, 2019. 128 p.
10. Program and methodology of variety study of fruit, berry and nut crops. Orel, 1999. 608 p.
11. Brym Z. T., Black B. L. Quantitative Survey of 'Montmorency' Tart Cherry Orchard Design in Utah. HortScience. 2021. № 56 (11). Pp.1402-1407.
12. Keserović Z., Ognjanov V., Magazin N., Dorić M. Current situation and perspectives in sour cherry production. Sour cherry breeding. Cost action FA1104 Sustainable production of high-quality cherries for the European market. Novi Sad, 2014.

Информация об авторах

Петров Николай Юрьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26), e-mail: npetrov60@list.ru

Ефремова Елена Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующая кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26), e-mail: Elenalob@rambler.ru

Гаушкин Дмитрий Владимирович, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26).

Чекрыгина Татьяна Алексеевна, кандидат экономических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26), orcid.org/0000-0002-6502-3401, e-mail: schurik4@yandex.ru

Салаев Бадма Катинович, доктор биологических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), e-mail: bk.salaev@mail.ru

Authors' Information

Petrov Nikolay Yuryevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: npetrov60@list.ru

Efremova Elena Nikolaevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: Elenalob@rambler.ru

Dmitry Vladimirovich Gaushkin, graduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26).

Chekrygina Tatiana Alekseevna, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), orcid.org/0000-0002-6502-3401, e-mail: schurik4@yandex.ru

Salaev Badma Katinovich, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, 358000, Republic of Kalmykia, Elista, Pushkin St., 11), e-mail: bk.salaev@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-07

THE APPLICATION OF THE DOMESTIC BIOAGENT *MACROTYPHULA PHACORRHIZA* AGAINST THE MAIN PATHOGENS OF THE SNOW MOLD

¹Tkachenko O. B., ¹Tazina S. V., ¹Demchuk N. N., ²Demidova A. P., ^{1,2}Burolichev I. V.,
^{1,2}Kuratova B. O.

¹Tsin Main Botanical Garden of Russian Academy of Sciences

²Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev
Moscow, Russian Federation

Corresponding author E-mail: ol-bor-tkach@yandex.ru

Received 07.10.2025

Submitted 05.12.2025

The studies were carried out as part of the implementation of project Russian Science Foundation No. 24-26-00078 "Regulation of the number of cryophilic pathogens of snow mold of winter wheat and perennial grasses by a psychrophilic bioagent of the grant financing program for 2024-2025."

Abstract

Introduction. Snow mold is a disease of dormant plants that develops under snow cover at temperatures close to 0°C. This makes chemical control impossible, and biological methods are complicated by the fact that it is caused by low-temperature pathogens that develop under snow cover. The most common snow mold pathogens are *Microdochium nivale* (pink snow mold) and *Typhula ishikariensis* (speckled snow mold). Winter cereals are affected by this disease, especially during deep and prolonged snow cover and unfrozen soil, which can lead to significant mortality of winter crops, necessitating reseeding with spring wheat. The development of a patented biological method for controlling pink snow mold using low-temperature nematodes has not yet found application. The use of *Macrotyphula phacorrhiza*, which began in Canada on winter wheat, has been discontinued due to the discovery of pathogenic isolates of the fungus there. Only saprotrophic *M. phacorrhiza* has been detected in Russia. The exchange of effective isolates is unavailable for both political reasons and the lack of effective domestic isolates of the bioagent. **Object.** The studies were conducted in small-plot field trials at the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (MBG RAS) branch in Snegiri (Istra district, Moscow region) on winter wheat of the 'Rubezhnaya' variety (filler), where *M. phacorrhiza*, several isolates obtained from cereal grasses in the MBG RAS (Moscow) and in the experimental fields of the MBG RAS branch in Snegiri (Istra district, Moscow region) and grasses in golf courses: in the Moscow Country Club (Nakhabino, Istra district, Moscow region, Skolkovo Golf Club (Moscow), Forest Hills Golf Club (Dmitrovsky district, Moscow region), Pirogovo Golf Club (Mytishchi urban district) and Raevo Golf Club (Odintsovo district, Moscow region) were tested. **Results and conclusion.** In the 2023-24 season, the snow cover reached max. 61 cm, as a result, only isolate MBG-1 was effective against the main pathogens of snow molds: pink *Microdochium nivale* and speckled *Typhula ishikariensis*. The remaining isolates: from Snegiri, Nakhabino, Skolkovo, Forest Hill, Pirogovo and Raevo – were ineffective. In 2024-25, there was a snowless winter. The maximum snow cover reached max. 21 cm. As a result, only isolate GBS-1 showed effective yield.

Keywords: snow mold, pathogens of snow mold, plant protection, biological protection of plants, plant diseases.

Citation. Tkachenko O. B., Tazina S. V., Demchuk N. N., Demidova A. P., Burolichev I. V., Kuratova B. O. The application of the domestic bioagent *Macrotyphula phacorrhiza* against the main pathogens of the snow mold. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 67-75 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-07.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 632.9:581.2

ПРИМЕНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО БИОАГЕНТА *MACROTYPHULA PHACORRHIZA* ПРОТИВ ОСНОВНЫХ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ СНЕЖНОЙ ПЛЕСЕНИ¹Ткаченко О. Б., доктор биологических наук, главный научный сотрудник¹Тазина С. В., кандидат биологических наук, старший научный сотрудник¹Демчук Н. Н., младший научный сотрудник²Демидова А. П., ассистент, инженер-исследователь^{1,2}Буроличев И. В., магистрант сельскохозяйственных наук^{1,2}Куратова И. О., магистрант сельскохозяйственных наук¹ФГБУН Главный ботанический сад им. Н. В. Цицина РАН²ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»
г. Москва, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках выполнения проекта РНФ № 24-26-00078 «Регуляция численности криофильных возбудителей снежной плесени озимой пшеницы и многолетних трав психрофильным биоагентом» программы грантового финансирования на 2024-2025 гг.

Актуальность. Снежная плесень – это болезнь растений, находящихся в состоянии покоя, развивающаяся под снежным покровом при температурах, близких к 0°C. Это делает невозможным использование химического метода, а использование биологического метода против снежной плесени осложнено тем, что она вызывается низкотемпературными патогенами, развивающимися под снежным покровом. Самыми распространёнными возбудителями снежной плесени (с. п.) в Нечернозёмной Зоне России являются *Microdochium nivale* (розовая с. п.) [1], менее распространён, но очень вредоносен комплексный вид *Typhula ishikariensis* (крапчатая с. п.) (*Typhula ishikariensis* var. *ishikariensis*). Озимые хлебные злаки поражаются этим заболеванием, особенно при высоком и длительном снеговом покрове, непромёрзшей почве, что может привести к значительной гибели озимых растений и вынуждает проводить пересев на яровую пшеницу. Разработка запатентованного биологического метода борьбы с розовой снежной плесенью при помощи низкотемпературных нематод не нашла ещё применения. Использование *Macrotyphula phacorrhiza* в Канаде на озимой пшенице, остановлено из-за обнаружения там патогенных изолятов гриба. В России отмечены только сапрофитные *M. phacorrhiza*. Обмен биоагентом недоступен как по политическим причинам, так и из-за отсутствия отечественных эффективных изолятов *M. phacorrhiza*. **Объект.** Объектом исследований являются биоагент *Macrotyphula phacorrhiza*, способный контролировать развитие снежной плесени на озимой пшенице. **Материалы и методы.** Исследования проводились в мелкоделяночных полевых опытах на базе филиала Главного ботанического сада РАН (ГБС РАН) в пос. Снегири (Истринский район Московской области) на озимой пшенице сорта «Рубежная» (филлер), где испытывали несколько изолятов *M. phacorrhiza*, полученных со злаковых трав в Главном ботаническом саду РАН (г. Москва) и на опытных полях филиала Главного ботанического сада РАН в пос. Снегири (Истринский район Московской области), а также со злаков на гольф-полях: в загородном клубе «Москоу Кантри Клуб» (п. Нахабино, Истринский район Московской области), гольф-клубе «Сколково» (г. Москва), гольф-клубе «Форест Хиллс» (Дмитровский район Московской области), гольф-клубе «Пирогово» (городской округ Мытищи) и гольф-клубе «Раево» (Одинцовский район Московской области). **Результаты и выводы.** В сезоне 2023-2024 гг. снежный покров достигал максимума 61 см, в результате только изолят ГБС-1 оказался эффективным против основных возбудителей снежной плесени: розовой *Microdochium nivale* и крапчатой *Typhula ishikariensis*. Остальные изоляты: из Снегирей, Нахабино, Сколково, Forest Hill, Пирогово и Раево – оказались неэффективны. В 2024-2025 гг. была бесснежная зима. Максимальный снеговой покров достигал максимума 21 см. В результате только изолят ГБС-1 показал превышение урожайности.

Ключевые слова: снежная плесень, возбудители снежной плесени, защита растений, биологическая защита растений, болезни растений.

Цитирование. Ткаченко О. Б., Тазина С. В., Демчук Н. Н., Демидова А. П., Буроличев И. В., Куратова И. О. Применение отечественного биоагента *Macrotyphula phacorrhiza* против основных возбудителей снежной плесени. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 67-75. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-07.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Озимые зерновые и многолетние злаковые травы поражаются многими болезнями, но в отдельные годы ущерб от снежных плесеней может даже привести к пересеву на яровые и сильно уменьшить красоту газонов из-за поражения снежными плесеньями, которая поражает перед выпадением снега и развивается в течение зимы (Matsumoto, 2009; Hoshino et al., 2009; Matsumoto, Hsiang, 2016). Использование пестицидов против

снежной плесени возможно только непосредственно перед выпадением снега. Развитие болезни существенно только при благоприятных условиях осени, зимы и начале весны, если земля не промёрзла со снежным покровом более 120 дней, и он долго не сходит, т.е. не каждый год. Самыми распространённым возбудителям снежной плесени (с. п.) в Нечернозёмной Зоне России являются *Microdochium nivale* (Fr.) Samuels & I.C. Hallett (розовая с. п.) [1], менее распространён в НЧЗР, но очень вредоносен комплексный вид *Typhula ishikariensis* S. Imai (крапчатая с. п.), (*Typhula ishikariensis* var. *ishikariensis*) [2].

Биологический метод против возбудителей снежной плесени на озимой пшенице и многолетних злаковых травах при помощи психрофила *Typhula phacorrhiza* разрабатывался в Канаде (Burpee et al., 1987; Lawton, Burpee, 1988; 1990; Lawton, 1989; Wu et al., 1998) и Японии (Matsumoto, Tajimi, 1992). Так как за рубежом были отмечены патогенные штаммы гриба (Scheider, Seaman, 1986; 1987), использование *T. phacorrhiza* на хлебных злаковых не отмечалось.

В России отмечались только сапротрофные изоляты *M. phacorrhiza* (Потатосова, 1960) [3]. Биометод с использованием *M. phacorrhiza* против крапчатой снежной плесени (возб. *Typhula ishikariensis*) на озимой пшенице впервые применила в России соавтор этой статьи С. В. Тазина при выполнении кандидатской диссертации (2005). Осеннее внесение гриба *T. phacorrhiza* на посевы озимой пшеницы на инфекционном фоне *T. ishikariensis* приводило к снижению поражения тифулёзом в весенний период, причём биологическая эффективность защиты озимой пшеницы при использовании зерна, заражённого грибом *T. phacorrhiza* при норме внесения 200 г/м² составила 75,2 %, что на 30,3 % больше, чем после обработки препаратом фундазол и на 17,6 % больше, чем после обработки препаратом байлетон. Однако этот изолят *T. phacorrhiza* был неэффективен против розовой снежной плесени (возб. *Microdochium nivale*). Этот приём не был запатентован, а данный изолят *T. phacorrhiza* был утерян. Последние молекулярные исследования систематики *T. phacorrhiza* (сем. Typhulaceae) показали, что гриб является *Macrotyphula phacorrhiza* (сем. Phyllotopsidaceae) [4].

Цель нашего исследования – найти эффективные отечественные изоляты *M. phacorrhiza* для использования биометода против наиболее распространённых в нечернозёмной зоне розовой (возб. *M. nivale*) и крапчатой (возб. *T. ishikariensis*) снежных плесеней, учитывая, что зарубежные изоляты могут в наших условиях потерять свою эффективность, и, кроме того, политическая обстановка не позволяет использовать биоагенты «недружественных» стран.

Материалы и методы. В течение двух месяцев после схода снега брали склероции криофильных грибов *Macrotyphula phacorrhiza* по морфологическим признакам (наличие у склероциев ножки, отсутствующей у других близких низкотемпературных грибов) с погибших злаковых растений на естественных газонах в ГБС РАН (Москва), на опытных полях филиала ГБС РАН в «Снегирях» (Истринский район Московской области) и травах в полях для гольфа: в «Москау Кантри Клуб» (Нахабино, Истринский район Московской области, гольф-клубе «Сколково» (Москва), гольф-клубе «Forest Hills» (Дмитровский район Московской области), гольф-клубе «Пирогово» (городской округ Мытищ) и гольф-клубе «Раево» (Одинцовский район Московской области).

Для получения чистой культуры гриба склероции на 12 сек опускали в спирт, в стерильных условиях наносили повреждение оболочке склероциев, промывали их в стерильной дистиллированной воде и высевали в чашки Петри на картофельно-глюкозном агаре (Potato Dextrose Agar – PDA) или сусло-агаре (Wort agar) – все среды фирмы HiMedia, Bangalore, India. Чашки помещали в холодильник-термостат фирмы Sankyo Medicoool (Япония) при 10°C и выращивали гриб в течение 3–4 недель.

Таким же образом получали чистую культуру гриба *T. ishikariensis* для инфекционного фона. Чистую культуру гриба *M. Nivale* получали, высевая мелкие отрезки, поражённые розовой снежной плесенью, в те же среды, предварительно их дезинфицировав и промыв в воде. Их также помещали в холодильник-термостат Sankyo при 10°C и выращивали гриб в течение 3–4 недель.

В литровые широкогорлые колбы Эрленмейера фирмы Simax, Czech republic помещали 200 мл (об.) ячменного зерна, 200 мл (об.) вермикулита и 250 мл воды. Колбы закрывали ватно-марлевыми пробками и, для предотвращения их намокания, пергаментной бумагой сверху. Колбы с содержимым стерилизовали в автоклаве при 0,5 атм в течение часа или при 1 атм в течение 0,5 ч.

После остывания колб в них стерильно вносили в автоклаве чистые культуры изолятов биоагента *M. phacorrhiza* и грибов для создания инфекционного фона: *M. nivale* и *T. ishikariensis*, перед этим проверив их на соответствие видам. Было посеяно 4 изолята проверяемых на эффективность *M. phacorrhiza*: из Нахабино, Пирогово и 2 изолята из ГБС РАН (один со стерильными плодовыми телами, другой без плодовых тел). Изоляты, выявленные на опытном поле Снегири, (колбы с растущими грибами) держали в термостате-холодильнике Sanuo при 10°C до постановки опытов в октябре-ноябре. Плодовые тела изолята при внесении в деланки искусственно измельчали ножницами для равномерного внесения. Вносили полученную смесь с грибом при норме 30 г/м² для изолятов *M. phacorrhiza*, и 15 г/м² + 15 г/м² на все опытные деланки, соответственно.

Опыт на мягкой озимой пшенице (*Triticum aestivum* L) сорта «Рубежная» (филлер) поставлен на опытной станции «Снегири» филиала ГБС РАН (бывш. НЭХ «Снегири») в четырехкратной повторности. Использовали следующие изоляты: Нахабино, Пирогово, ГБС 1, ГБС 2 и ГБС 3 (плодовые тела). Станция относится к отделу отдалённой гибридизации ГБС РАН. Математическая обработка проводилась методом дисперсионного анализа на 5 %-ном уровне вероятности.

Полевой мелкоделяночный опыт проводили в течение двух зимних сезонов 2023-2024 и 2024-2025 годов на опытном поле филиала ГБС РАН в «Снегирях». Испытывали шесть вариантов штаммов инокулюма биоагента в четырехкратной повторности. Использовали следующие изоляты: Нахабино, Пирогово, ГБС 1, ГБС 2 и ГБС 3 (плодовые тела). Норма внесения инокулюма 30 г/м². Одновременно с внесением биоагента искусственно заражали каждую деланку возбудителями розовой (*M. nivale*) и серой снежной плесенью (*T. ishikariensis*) с нормой 15+15 г/м².

Учет развития снежной плесени проводили весной сразу после таяния снежного покрова использовали следующую бальную шкалу:

- 0 – признаков поражения нет;
- 1 – редкие пятна на нижних и верхних листьях (1-3 пятна) при общей пораженности до 10 % листовой поверхности;
- 2 – нижние листья поражены полностью, на верхних – 2-3 пятна при общей пораженности до 30 % листовой поверхности;
- 3 – поражены нижние и верхние листья при общей пораженности до 70 % листовой поверхности; отмирают боковые побеги;
- 4 – все листья и побеги поражены (100 %), растения погибли.

Развитие снежной плесени (R, %) определяли по формуле:

$$R = \frac{\sum(n \times b)}{N \times K} \times 100 \%$$

где $\sum(n \times b)$ – сумма произведений числа больных растений (n) на соответствующий им балл поражения (b), N – общее количество учетных растений, шт., K – наивысший балл поражения шкалы учета для перевода балльной оценки развития болезни в процентную категорию.

Биологическую эффективность (C, %) изолятов биоагента рассчитывали по показателям развития болезней, с использованием формулы:

$$C = \frac{K - O}{K} \times 100 \%$$

где: C – биологическая эффективность штамма биоагента, %; K – развитие болезни в контроле (без внесения биоагента), %; O – развитие болезни в варианте (с внесением биоагента), %.

В конце сезона срезали растения в снопы, обмолачивали и сортировали зерна. Затем подсчитывали массу полученного с каждой деланки зерна и сравнивали полученную урожайность (ц/га) между вариантами. Математическую обработку проводили методом дисперсионного анализа на 5 %-ном уровне значимости.

Результаты. Погодные условия зимы сильно разнились в учетных периодах. Так в сезон 2023-2024 г. был мощный снежный покров продолжительностью около 130 суток и максимальной высотой 62 см, такие условия благоприятно влияли на развитие снежной плесени и биоагента. В следующий же сезон 2024-2025 г. была аномальная бесснежная зима, высота снежного покрова не превышала 26 см, при этом наблюдалось трехкратное полное таяние снега, максимальная продолжительность снежного периода около 50 суток, общее количество дней

со снежным покровом около 90 суток. Погодные условия, сложившиеся в сезон 2024-2025 г. напротив, негативно влияли на развитие снежных плесеней, однако искусственное заражение позволило развиваться патогенам в таких неоптимальных условиях.



Рисунок 1 – График высоты снежного покрова зимой 2023-2024 и 2024-2025 гг. МО Истринский район
Figure 1 – Graph of snow cover height in winter on 2023-2024 and 2024-2025. Istra district

Климатические условия, безусловно, первостепенно влияют на развитие снежной плесени, так в более снежную зиму распространённость была сильно выше, чем в бесснежную – 71,3 % в контроле в 2023-2024, против 25,6 % в 2024-2025. Что касается исследуемых изолятов биоагента, то достоверное различие в распространённости (R, %) наблюдалось только в варианте ГБС 1 на 5 % уровне значимости в обоих учетных сезонах, с биологической эффективностью (С, %) – 27,2 % в 2023-2024 и 31,7 % в 2024-2025 годах, соответственно.

Таблица 1 – Развитие снежной плесени и биологическая эффективность изолятов биоагента
Table 1 – Snow mold development and biological efficacy of bioagent isolates

Варианты / Variants	Учетный период / Accounting period			
	2023-2024		2024-2025	
	R, %	C, %	R, %	C, %
Контроль / Control	71,3	–	25,6	–
Нахабино / Nakhabino	67,5	5,3	26,9	-4,9
Пирогово / Pirogovo	69,4	2,6	23,8	7,3
ГБС 1 / GBS 1	51,9*	27,2	17,5*	31,7
ГБС 2 / GBS 2	70,0	1,8	26,9	-4,9
ГБС 3 / GBS 3	70,6	0,9	28,1	-9,8

НСР₀₅ 23/24 R, % = 4,97*; НСР₀₅ 24/25 R, % = 4,94*

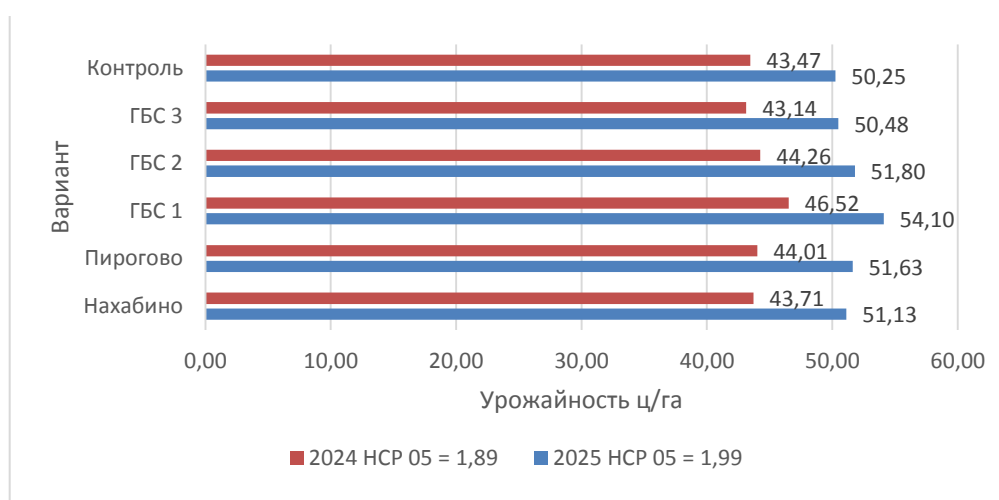


Рисунок 2 – Учет сравнения урожайности озимой пшеницы ц/га за два сезона по вариантам
Figure 2 – Accounting for the comparison of the yield of winter wheat per hectare for two seasons by variants

Снижение развития снежной плесени при внесении изолята ГБС 1, положительно повлияло на динамику урожайности озимой пшеницы, так в 2024 году прибавка к урожайности составила – 3,85 ц/га, а в 2025 – 3,05 ц/га. Остальные изоляты не показали достоверных различий урожайности.

Обсуждение. Развитие болезни существенно только при благоприятных условиях осени, зимы и начале весны, если земля не промёрзла со снежным покровом более 120 дней, и он долго не сходит. Наиболее распространена в России розовая снежная плесень (возб. *Microdochium nivale*), и серьёзно вредит злакам крапчатая снежная плесень (возб. *Typhula ishikariensis*). При сильном развитии возбудителей снежные плесени поражают узел кущения злаков, что приводит к гибели растений. Одним из наиболее безопасных для окружающей среды способов борьбы с заболеваниями является биологический метод. Против снежной плесени в России разработаны 2 патента: по использованию лабораторного экспресс-метода, позволяющего дифференцировать сорта озимых зерновых культур по устойчивости к возбудителю розовой снежной плесени RU 2 757 227 С1 [5] и по способу получения биологического препарата микофильной нематоды для защиты озимых зерновых культур от розовой снежной плесени RU 2 528 199 С1 (Щуковская и др. 2014). Первый патент должен использоваться в селекции озимых зерновых, второй, по использованию психротолерантных микотрофных нематод (препарат микогельм) пока не востребован. Другой способ биометода против снежной плесени при помощи базидиомицета, ранее называвшегося *Typhula phacorrhiza* Reichard: Fr. Теперь гриб именуется *Macrotyphula phacorrhiza* (Reichard: Fr.) Olariaga, Huhtinen, Læssøe, J. H. Petersen & K. Hansen [4]. Использование *M. phacorrhiza* как биоагента против серой снежной плесени (возб. *Typhula* spp.) проводилось в Японии на еже сборной (*Dactylis glomerata* L.) и итальянском райгресе (*Lolium multiflorum* Lam.). Урожайность участков, обработанных химическим методом, была в три раза выше, чем у биометода (Matsumoto, Tajimi, 1985). Различные изоляты *T. phacorrhiza* были эффективны, как биоагенты на *Lolium perenne* против различных изолятов *T. ishikariensis* (биотипы А и В), при длительности снежного покрова более чем 140 дней (Matsumoto et al., 1992). В Канаде успешно использовали изолят *T. phacorrhiza* для подавления развития *T. ishikariensis* var. *ishikariensis* на полевице ползучей (*Agrostis palustris* Huds.) (Burpee et al., 1987; Lawton, Burpee, 1988; 1990; Wu et al., 1998). Эффективность изолятов *T. phacorrhiza* по способности подавлять серую снежную плесень на газонах и озимой пшенице в полевых опытах значительно различалась (Lawton, 1989). Эффект варьировался от 70 % подавления (никакой значительной разницы между контрольными образцами, заражёнными *T. ishikariensis* и *T. incarnata* не отмечалось). Большинство изолятов подавляли в равной степени как *T. ishikariensis*, так и *T. incarnata* (Hsiang, 2000).

Норма и частота нанесения биоконтролирующего агента на газон для гольфа были разработаны в последующих исследованиях с другим изолятом *T. phacorrhiza* (Lawton, Burpee, 1990). В. Ц. с соавторами (Wu et al., 1998) оценивали эффективность изолятов гриба *Typhula phacorrhiza* Fries в полевых опытах в течение 3-летнего периода на предмет подавления серой снежной плесени, вызванной *Typhula ishikariensis* Imai и *Typhula incarnata* Lasch ex Fr. Изоляты *T. phacorrhiza* были собраны по всему южному Онтарио весной 1994 года. В декабре 1994 года 46 из этих изолятов, которые были выращены на смешанных зернах, были применены к полевице полевой (*Agrostis stolonifera* L.) при норме внесения 200 г/м² с инфекционным фоном из *T. ishikariensis* или *T. incarnata* при норме внесения 10 г/м². В декабре 1995 года 30 отобранных изолятов биоагента были инокулированы на новый набор участков вместе с грибами, вызывающими серую снежную плесень. 22-мя изолятами из 30-ти повторно заражали растения в ноябре 1996 года. Все участки были оценены на предмет поражения после таяния снега в 1995-1997 годах. Изоляты *T. phacorrhiza* значительно различались по своей способности подавлять болезнь. Не было обнаружено сильных корреляций между характеристиками роста *in vitro* и полевыми показателями; однако были обнаружены значительные положительные корреляции между испытаниями по подавлению болезни в течение 3 лет, при этом несколько изолятов показали статистически значимый контроль серой снежной плесени, равный обработке фунгицидом. По мнению В. Ц. Ву и Т. Сяна, эффективность *T. phacorrhiza* по сравнению с серой снежной плесенью (*T. incarnata* и *T. ishikariensis*) заключается в способности биоагента быстрее утилизировать структурные и запасаемые углеводы в сочетании с ростом мицелия и продуцированием склероциев в более широком диапазоне температур (Wu, Hsiang, 1999). Однако, в

Канаде были отмечены патогенные изоляты *T. phacorrhiza*, которые наравне с *T. ishikariensis* var. *ishikariensis* являлись позднезимними патогенами на озимой пшенице (Snider, Seaman, 1986; Wu, Hsiang, 1998)), что, очевидно, послужило одной из причин неиспользования этого биоагента. В 1999 году в Канаде были отмечены изоляты *T. phacorrhiza* эффективно подавляющие розовую снежную плесень (возб. *Microdochium nivale*) на гольфовых полях с полевицей ползучей (Hsiang, 2000). Однако в большинстве частей Канады с незначительным снежным покровом существенной разницы в использовании биометода против розовой снежной плесени не регистрировали. Была отмечена отрицательная корреляция получения эффективности изолятов на питательных средах и полевых условиях (Hsiang et al., 1995). По мнению Б. Д. Госсена с соавторами (Gossen et al., 2001), несмотря на то, что нет коммерческих биологических агентов контроля, биометод показывает многообещающие перспективы на будущее, особенно для использования на дорогостоящем дерне, таком как поля для гольфа. Агенты биоконтроля, изначально разработанные для гольфовых полей, в конечном итоге могут быть доступны и для более дешёвого сельского хозяйства. По мнению этих авторов, хотя агенты биоконтроля показывают многообещающие результаты в снижении заболеваемости снежной плесенью, необходимы дополнительные исследования, прежде чем коммерческие продукты станут доступными.

Несмотря на бесснежную зиму этого зимнего сезона 2024-2025 гг. только один изолят *M. phacorrhiza* (ГБС-1) показал хозяйственную эффективность. Можно предположить, что при благоприятных для снежных плесеней условиях (высокий и длительный снежный покров, обеспечивающий для оппортунистических, или условно-патогенных паразитов, какими являются снежные плесени, темноту, влажность и низкие, близкие к 0°C температуры) количество эффективных изолятов биоагента увеличится. Кроме упомянутых факторов вредоносности, наиболее критичной проблемой для снежной плесени является продолжительность снежного покрова (Matsumoto, Hoshino, 2009). Несмотря на то, что глобальное потепление приводит к снижению вредоносности озимой пшеницы к снежной плесени¹⁴ (Левитин, 2012), это заболевание относят в России к прогрессирующим болезням (Назарова и др., 2006). Учитывая то, что в связи с глобальным потеплением [7-10] и селекцией устойчивых к холоду сортов озимой пшеницы [10-12] её посевы расширяются на север и восток России, причём при перезимовке озимой пшеницы снежные плесени могут там оказать серьёзное влияние, учитывая, что возбудители розовой [7] и крапчатой [8] снежных плесеней в Западной Сибири отмечены.

Появление стерильных плодовых тел в колбе с *M. phacorrhiza* изолята ГБС 2 уже отмечалось канадскими учёными, если наряду с высокой влажностью температура падала ниже 0°C (Yang et al., 2006).

Закключение. Несмотря на то, что при бесснежной зиме найден отечественный биоагент *Microdochium phacorrhiza* ГБС 1 против снежной плесени, требуется проведение дополнительных опытов с целью уточнения как хозяйственной, так и технической эффективности отечественных биоагентов при обычной снежной зиме.

Conclusions. Despite the fact that the domestic bioagent *Microdochium phacorrhiza* GBS 1 was found to be effective in a snowless winter, additional experiments are required to clarify both the economic and technical effectiveness of domestic bioagents in a normal snowy winter.

Библиографический список

1. Савоськина О. А., Чебаненко С. И., Тараканов Р. И., Джалилов Ф. С.-У. Развитие снежной плесени озимой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья с учетом технологий обработки почвы и погодных условий разных лет. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2023. № 4. С. 47-57.
2. Ткаченко О. Б., Хошино Т., Мацумото Н. Систематика комплексного вида *Typhula ishikariensis* в России. Микология и фитопатология. 2024. Т. 58. № 1. С. 74-81.
3. Овсянкина А. В., Глинушкин А. П., Ратушняк Г. Я., Гарнов С. В., Харитонов С. С. Лабораторный экспресс-метод, позволяющего дифференцировать сорта озимых зерновых культур по устойчивости к возбудителю розовой снежной плесени (возбудитель гриба *Microdochium nivale* (Fr.) Samuels & Hallet). Патент RU 2 757 227 C1. 2021.
4. Большаков С. Ю., Волобуев С. В., Ежов О. Н., Паломожных Е. А., Потапов К. О. Афиллофороидные грибы европейской части России: аннотированный список видов. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2022. С. 231-232.
5. Olariaga I., Huhtinen S., Læssøe T., Petersen J. H., Hansen K. Phylogenetic origins and family classification of *typhuloid* fungi, with emphasis on *Ceratellopsis*, *Macrotyphula* and *Typhula* (Basidiomycota). Studies in Mycology. 2020. No 96 (11). Pp. 155-164.

¹⁴ В России часто по-прежнему под снежной плесенью понимают только заболевание, вызываемое грибом *Microdochium nivale*, игнорируя других возбудителей болезни: *Typhula ishikariensis*, *T. incarnata*, *Sclerotinia borealis* и др.

6. Игнатов А. Н., Кошкин Е. И., Андреева И. В., Гусейнов Г. Г., Гусейнов К. Г., Джалилов Ф. С.-У. Влияние глобальных изменений климата на фитопатогены и развитие болезней растений. *Агрохимия*. 2020. № 12. С. 81-96.
7. Петухова М. С., Кондратьев М. В. Изменение климата, сельские территории и сельское хозяйство в Сибири: форсайт-прогноз. *Всероссийский экономический журнал ЭКО*. 2023. № 8. С. 155-171.
8. Борадулина В. А., Мусалитин Г. М. Возможности успешного возделывания озимой пшеницы в Алтае. Сборник материалов Межд. научно-практич. конф. 2020. С. 24-30.
9. Чибис В. В. Особенности формирования полевых севооборотов для органического земледелия в условиях Западной Сибири. *Вестник КрасГАУ*. 2022. № 5. С. 51-57.
10. Туктарова Р. Г. Влияние современных тенденций изменения климата на урожайность озимых зерновых культур. *Пермский аграрный вестник*. 2019. № 1 (25). С. 80-86.
11. Сафонова И. В., Анисков Н. И. Значимость комплексной оценки селекционных индексов и параметров стрессоустойчивости сортов озимой ржи. *Аграрный вестник Урала*. 2022. № 06 (221).
12. Сапега В. А., Турсумбекова Г. Ш. Оценка сортов озимой ржи по урожайности и параметрам экологической пластичности в условиях Северного Зауралья. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2018. Т. 64. № 3. С. 22-27.
13. Кашуба Ю. Н., Ковтуненко А. Н., Трипутин В. М., Шварцкопф Т. В., Мазепа Н. Г. Результаты селекции озимой мягкой пшеницы в условиях южной лесостепи Западной Сибири. *Зерновое хозяйство России*. 2019. № 1 (61). С. 32-34.
14. Ткаченко О. Б. Прогнозирование поражений снежной плесенью озимых зерновых в Сибири в связи с Глобальным потеплением. *Микология и фитопатология*. 2018. Т. 52. Вып. 6. С. 382-385.
15. Гагкаева Т. Ю., Орина А. С., Гаврилова О. П. Разнообразие грибов рода *Microdochium*, выявленных на зерновых культурах в России. *Микология и фитопатология*. 2020. Т. 54. № 3. С. 347-364.

References

1. Savoskina A. V., Cebonenko S. I., Tarakanov R. I., Dzhililov F. S.-U. Development of winter wheat snow mold in the Central Non-Black Earth Region, taking into account tillage technologies and weather conditions in different years. *Bulletin of the Timiryazev Agricultural Academy*. 2023. No. 4. Pp. 47-57.
2. Tkachenko O. B., Hoshino T., Matsumoto N. Taxonomy of the complex species *Typhula ishihariensis* in Russia. *Mycology and phytopathology*. 2024. V. 58. No. 1. Pp. 74-81.
3. Ovsyankina A. V., Glinushkin A. P., Ratushnyak G. Ya., Garnov S. V., Kharitonov S. S. Laboratory express method for differentiating winter grain crop varieties by resistance to the causative agent of pink snow mold (pathogen fungus *Microdochium nivale* (Fr.) Samuels & Hallett). Patent RU 2 757 227 C1. 2021.
4. Bolshakov S. Yu., Volobuev S. V., Ezhov O. N., Palomozhnykh E. A., Potapov K. O. Aphylophoroid fungi of the European part of Russia: annotated list of species. St. Petersburg: ETU "LETI" Publishing House, 2022. Pp. 231-232.
5. Olariaga I., Huhtinen S., Læssøe T., Petersen J. H., Hansen K. Phylogenetic origins and family classification of typhuloid fungi, with emphasis on *Ceratellopsis*, *Macrotyphula* and *Typhula* (Basidiomycota). *Studies in Mycology*. 2020. No 96 (11). Pp. 155-164.
6. Ignatov A. N., Koshkin E. I., Andreeva I. V., Guseinov G. G., Guseinov K. G., Dzhililov F. S.-U. The impact of global climate change on phytopathogens and the development of plant diseases. *Agrochemistry*. 2020. No. 12. Pp. 81-96.
7. Petukhova M. S., Kondratiev M. V. Climate change, rural areas and agriculture in Siberia: foresight forecast. *All-Russian Economic Journal ECO*. 2023. No. 8. Pp. 155-171.
8. Boradulina V. A., Musalitin G. M. Possibilities of successful cultivation of winter wheat in Altai. Coll. Materials of the Int. scientific and practical. conf. Altai Breeding Center, 2020. Pp. 24-30.
9. Chibis V. V. Features of the formation of field crop rotations for organic farming in the conditions of Western Siberia. *Bulletin of KrasSAU*. 2022. No. 5. Pp. 51-57.
10. Tuktarova R. G. The impact of modern climate change trends on the yield of winter grain crops. *Perm Agrarian Bulletin*. 2019. No. 1 (25). Pp. 80-86.
11. Safonova I. V., Aniskov N. I. The importance of a comprehensive assessment of selection indices and stress resistance parameters of winter rye varieties. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022. No. 06 (221).
12. Sapega V. A., Tursumbekova G. Sh. Evaluation of winter rye varieties by yield and parameters of ecological plasticity in the conditions of the Northern Trans-Urals. *Agrarian Science of the Euro-North-East*. 2018. Vol. 64. No. 3. Pp. 22-27.
13. Kashuba Yu. N., Kovtunen A. N., Triputin V. M., Schwarzkopf T. V., Mazepa N. G. Results of winter soft wheat breeding in the southern forest-steppe of Western Siberia. *Grain Economy of Russia*. 2019. No. 1 (61). Pp. 32-34.
14. Tkachenko O. B. Forecasting snow mold damage to winter grains in Siberia due to global warming. *Mycology and phytopathology*. 2018. Vol. 52. Issue 6. Pp. 382-385.
15. Gagkaeva T. Yu., Orina A. S., Gavrilova O. P. Diversity of *Microdochium* fungi identified on grain crops in Russia. *Mycology and Phytopathology*. 2020. Vol. 54. No. 3. Pp. 347-364.

Информация об авторах

Ткаченко Олег Борисович, главный научный сотрудник, доктор биологических наук, ФГБУН Главный ботанический сад им. Н. В. Цицина Российской академии наук (ГБС РАН) – НИО Экспериментальной биологии и патологии растений (Российская Федерация, 127276, г. Москва, Ботаническая ул., 4), e-mail: ol-bor-tkach@yandex.ru

Тазина Светлана Витальевна, старший научный сотрудник, кандидат биологических наук, ФГБНУ Главный ботанический сад им. Н. В. Цицина Российской академии наук (ГБС РАН) – НИО экспериментальной биологии и патологии растений (Российская Федерация, 127276, г. Москва, ул. Ботаническая, 4), e-mail: tazina@rambler.ru

Демчук Наталья Николаевна, младший научный сотрудник, ФГБУН Главный ботанический сад им. Н. В. Цицина Российской академии наук (ГБС РАН) – НИО Экспериментальной биологии и патологии растений (Российская Федерация, 127276, г. Москва, Ботаническая ул., 4), e-mail: natalangaeva@gmail.com

Демидова Алена Павловна, ассистент кафедры, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева (Российская Федерация, 127434, г. Москва, Лиственничная аллея, 3), e-mail: a.demidova@rgau-msha.ru

Буроличев Игорь Владимирович, инженер-исследователь, ФГБУН Главный ботанический сад им. Н. В. Цицина РАН (ГБС РАН) – НИО Экспериментальной биологии и патологии растений (Российская Федерация, 127276, г. Москва, Ботаническая ул., 4); студент магистратуры, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева (Российская Федерация, 127434, г. Москва, Лиственничная аллея, 3), e-mail: bburolichev@mail.ru

Куратова Ирина Олеговна, инженер-исследователь, НИО Экспериментальной биологии и патологии растений; ФГБУН Главный ботанический сад им. Н. В. Цицина РАН – НИО Экспериментальной биологии и патологии растений (Российская Федерация, 127276, г. Москва, Ботаническая ул., д. 4); студент магистратуры, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева (Российская Федерация, 127434, г. Москва, Лиственничная аллея, 3), e-mail: irina-kuratova@mail.ru

Authors' Information

Tkachenko Oleg Borisovich, Main Researcher, Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher, N. V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (MBG RAS) – Research Department of Experimental Biology and Plant Pathology (Russian Federation, 127276, Moscow, Botanicheskaya str., 4), e-mail: ol-bor-tkach@yandex.ru

Tazina Svetlana Vitalievna, Senior Researcher, Candidate of Biological Sciences, N. V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (MBG RAS) – Research Department of Experimental Biology and Plant Pathology (Russian Federation, 127276, Moscow, Botanicheskaya str., 4), e-mail: tazina@rambler.ru

Demchuk Natalya Nikolaevna, Junior Researcher, N. V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (MBG RAS) – Research Department of Experimental Biology and Plant Pathology (Russian Federation, 127276, Moscow, Botanicheskaya str., 4), e-mail: natalangaeva@gmail.com

Demidova Alena Pavlovna, Assistant Professor, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev (Russian Federation, 127434, Moscow, Listvennichnaya Alley, 3), e-mail: a.demidova@rgau-msha.ru

Burolichev Igor Vladimirovich, Research Engineer, N. V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (MBG RAS) – Research Department of Experimental Biology and Plant Pathology (Russian Federation, 127276, Moscow, Botanicheskaya str., 4), Master's Student, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev (Russian Federation, 127434, Moscow, Listvennichnaya Alley, 3), e-mail: bburolichev@mail.ru

Kuratova Irina Olegovna, Research Engineer, N. V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (MBG RAS) – Research Department of Experimental Biology and Plant Pathology (Russian Federation, 127276, Moscow, Botanicheskaya str., 4), Master's Student, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev (Russian Federation, 127434, Moscow, Listvennichnaya Alley, 3), e-mail: irina-kuratova@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-08

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF THE GROWTH OF *ROBINIA PSEUDOACACIA* (*ROBINIA PSEUDOACACIA*) IN THE FOREST BELTS OF THE DON-DONETSK FOREST RECLAMATION DISTRICT OF THE ROSTOV REGION

Khamitov R. S., Khamitova S. M., Puzankov A. A.

*Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev
Moscow, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: r.hamitov@rgau-msha.ru

Received 04.09.2025

Submitted 03.12.2025

Summary

The article is devoted to the study of the growth and productivity of the false acacia (*Robinia pseudo acacia*) in artificial field-protecting forest belts in the Rostov region. A comparative analysis of the test areas in the Kasharsky and Bokovsky districts is provided. The results of the study indicate that the natural conditions of the Kasharsky district promote better growth due to more favorable soil and climatic conditions compared to the Bokovsky district. Recommendations are provided for improving the condition of field-protecting forest belts in adverse conditions.

Abstract

Intoduction. *Robinia pseudoacacia* (*Robinia pseudoacacia*) is one of the predominant tree species used as part of the protective forest belts of the Don-Donetsk forest reclamation district of the Rostov region. This breed is valued for its rapid growth, resistance to adverse conditions, and high density of wood. At the same time, the growth rate and productivity of plantings significantly depend on local soil and climatic conditions and the structure of stands. The study of the growth patterns of *Robinia pseudoacacia* in various natural conditions of the region is necessary to increase the efficiency of forest reclamation measures, predict productivity, and optimize the care of plantations. **Object.** The objects of the study were forest belts of steppe agro-landscapes formed by *Robinia pseudo acacia*, which are pure in terms of species composition and located within the administrative boundaries of the Kasharsky and Bokovsky districts of the Rostov Region. **Materials and Methods.** The studies were conducted on test areas (TA) represented by pure forest belts. Measurement and calculation of taxation indicators characterizing the growth of the stand were carried out according to OST 56-69-83 "Trial forestry areas. The method of laying" and the MS Office Excel software package. **Results and conclusions.** In Kasharsky district (test area No. 1), 40-year-old *Robinia pseudo acacia* plantations had an average height of 13.0 m, an average diameter at a height of 1.3 m of 13.8 cm, and a trunk volume of 0.0984 m³. The growth dynamics were characterized by a steady increase in taxation indicators and high growth rates for most of the ontogenesis. In the Bokovsky district (test area No. 2), 33-year-old plantations had an average height of 9.0 m, an average diameter at a height of 1.3 m of 11.0 cm, and a trunk volume of 0.0414 m³. The constructed regression models had a high degree of reliability (R² > 0.95), which confirms the reliability of the identified patterns. It has been established that the best

growth rates are associated with more fertile and moisture-retentive chernozem soils, higher rainfall, and lower wind loads, which are characteristic of the Kasharsky District. To increase productivity in less favorable conditions of the Bokovsky district, it is recommended to carry out measures to optimize forest belts, such as thinning and reconstruction of plantations. The obtained data can be used in the design and management of protective afforestation in the conditions of the Don-Donets forest-reclamation district.

Keywords: *Robinia pseudoacacia*, protective forest belts, growth dynamics of *Robinia*, inventory indicators, forest reclamation.

Citation. Khamitov R. S., Khamitova S. M., Puzankov A. A. The comparative analysis of the growth of *Robinia pseudoacacia* (*Robinia pseudoacacia*) in the forest belts of the Don-Donetsk forest reclamation district of the Rostov region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 75-85 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-08.

Authors' contribution. All authors took part in the preparation and conduct of the study and analysis of its results. The presented version of the article was agreed with all authors.

Conflict of interest. All authors declared no conflicts of interest.

УДК 630*561+630*26

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХОДА РОСТА РОБИНИИ ЛЖЕАКАЦИИ
(*ROBINIA PSEUDOACACIA*) В ЛЕСНЫХ ПОЛОСАХ ДОНО-ДОНЕЦКОГО
ЛЕСОМЕЛИОРАТИВНОГО РАЙОНА РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

Хамитов Р. С., доктор сельскохозяйственных наук, доцент
Хамитова С. М., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Пузанков А. А., аспирант

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»
г. Москва, Российская Федерация

Актуальность. Робиния лжеакация (*Robinia pseudo acacia*) является одной из преобладающих древесных пород, используемых в составе защитных лесных полос Доно-Донецкого лесомелиоративного района Ростовской области. Данная порода ценится за быстрый рост, устойчивость к неблагоприятным условиям и высокую плотность древесины. При этом темпы роста и продуктивность насаждений существенно зависят от местных почвенно-климатических условий и структуры древостоев. Изучение закономерностей роста робинии лжеакации в различных природных условиях региона необходимо для повышения эффективности лесомелиоративных мероприятий, прогнозирования продуктивности и оптимизации ухода за насаждениями. **Объект.** Объектами исследования служили лесные полосы степных агроландшафтов, образованные робинией лжеакацией, чистые по породному составу, расположенные в административных границах Кашарского и Боковского районов Ростовской области. **Материалы и методы.** Исследования проводились на пробных площадях (ПП), представленных чистыми по видовому составу лесными полосами. Измерение и вычисление таксационных показателей, характеризующие ход роста древостоя, выполнялись согласно ГОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки» и программного пакета MS Office Excel. **Результаты и выводы.** В Кашарском районе (пробная площадь № 1) сорокалетние насаждения робинии лжеакации имели среднюю высоту 13,0 м, средний диаметр на высоте 1,3 метра – 13,8 см и объём ствола 0,0984 м³. Динамика роста характеризовалась устойчивым увеличением таксационных показателей и высокими темпами прироста на протяжении большей части онтогенеза. В Боковском районе (пробная площадь № 2) 33-летние насаждения имели среднюю высоту 9,0 м, средний диаметр на высоте 1,3 метра – 11,0 см и объём ствола 0,0414 м³. Построенные регрессионные модели имели высокую степень достоверности ($R^2 > 0,95$), что подтверждает надежность выявленных закономерностей. Установлено, что лучшие показатели роста связаны с более плодородными и влагоёмкими чернозёмными почвами, большим количеством осадков и меньшей ветровой нагрузкой, характерными для Кашарского района. Для повышения продуктивности в менее благоприятных условиях Боковского района рекомендуется проводить мероприятия по оптимизации лесных полос, такие как рубки ухода, реконструкцию насаждений. Полученные данные могут быть использованы при проектировании и ведении защитного лесоразведения в условиях Доно-Донецкого лесомелиоративного района.

Ключевые слова: робиния лжеакация, защитные лесные полосы, динамика роста робинии, таксационные показатели, лесная мелиорация.

Цитирование. Хамитов Р. С., Хамитова С. М., Пузанков А. А. Сравнительный анализ хода роста робинии лжеакации (*Robinia pseudoacacia*) в лесных полосах Доно-Донецкого лесомелиоративного района Ростовской области. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 75-85. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-08.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Формирование и развитие лесных насаждений сопровождается постоянными изменениями их таксационных характеристик, начиная с момента появления и заканчивая полным окончанием биоценоза. Эти изменения охватывают как насаждение в целом, так и важнейшую составляющую – древостой. Для эффективного управления лесным хозяйством важно понимать динамику указанных процессов, прогнозируя возможные изменения основных таксационных показателей.

Одним из наиболее распространённых древесных видов, произрастающих в лесных полосах в условиях Доно-Донецкого лесомелиоративного района (ЛМР) является робиния лжеакация (*Robinia pseudoacacia*). В данном лесомелиоративном районе в большей степени также распространены робиниево-ясеневые, робиниево-вязовые лесные полосы. Кроме этого, встречаются насаждения робинии в смешении с дубом черешчатым, кленом остролистным и другими породами. Общая площадь робиниевых лесных полос составляет 7673,41 га [1, 2].

Робиния лжеакация обладает раскидистой ассиметричной кроной, характеризуется быстрым ростом и высокой устойчивостью к неблагоприятным условиям местопроизрастания. Благодаря неприхотливости к типу почв, устойчивости к засолению и другим стрессовым факторам робиния относится к числу ксеромезофитов. Древесина робинии плотная, её удельный вес достигает примерно 800 кг/м³, превышая аналогичные показатели дуба черешчатого и ясеня ланцетного. Однако светолюбивость, чувствительность к заморозкам и неглубокая корневая система делают этот вид уязвимым перед сильными порывами ветра [3, 4]. Целью настоящего исследования является проведение сопоставительного анализа основных таксационных показателей динамики роста робинии лжеакации (*Robinia pseudoacacia*) в лесных полосах Доно-Донецкого лесомелиоративного района Ростовской области. Новизна представленного исследования состоит в проведении детального сравнительного анализа таксационных показателей робинии лжеакации (*Robinia pseudoacacia*) в условиях защитных лесных полос Доно-Донецкого лесомелиоративного района, а также разработке актуализированных таблиц хода роста, учитывающих современные климатические изменения.

Материалы и методы: Настоящее исследование было посвящено анализу особенностей роста робинии лжеакации (*Robinia pseudoacacia*) в составе защитных лесных полос. Объектами исследования служили лесные полосы степных агроландшафтов, образованные робинией лжеакацией, чистые по породному составу, расположенные в административных границах Кашарского и Боковского районов Ростовской области. В пределах изучаемых лесных полос были заложены 2 пробные площади (ПП) площадью по 0,5 га каждая: пробная площадь № 1 расположена в Кашарском районе, пробная площадь № 2 – в Боковском районе Ростовской области. По схеме геоморфологического районирования Ростовской области Кашарский и Боковский районы относят к Доно-Донецкой эрозионной равнине [1]. Почвенный покров представлен чернозёмом южным, тяжелосуглинистым на жёлто-бурых структурных глинах [1]. По лесорастительным условиям местопроизрастания [1] для этого подтипа почв характерны сухие и свежие сугрудки (С), иногда дубравы (Д). По агроклиматическому районированию территория исследования относится к подрайону Ів и характеризуется жарким летом и умеренно холодной зимой. Для климата районов характерны частые ветры, особенно суховеи в летний период. Исследуемые лесные полосы шестирядные, имеют одинаковую плотную конструкцию. Возраст насаждений на момент исследования составляет 33-40 лет.

Для проведения точного анализа особенностей роста робинии лжеакации (*Robinia pseudoacacia*) в условиях защитных лесных полос применялись общепринятые методические рекомендации, изложенные в межотраслевом стандарте ОСТ 56-69-83, регламентирующем порядок проведения таксационных работ в лесных насаждениях. При организации полевых исследований учитывались почвенные характеристики исследуемых пробных площадей, а также специфика проведения таксации в защитных лесных насаждениях [5]. По результатам перечислительной таксации были рассчитаны среднестатистические таксационные показатели (средняя высота и средний диаметр) модельных деревьев. Общее количество деревьев на двух пробных площадях составило 500 штук (по 250 штук на каждой ПП). По расчётным показателям во внешних рядах лесных полос подобрали и

спилили по три фактических модели робинии лжеакация в Кашарском и Боковском районах соответственно [6]. Именно во внешних рядах ярко проявляются изменения, вызванные условиями внешней среды, оценка их влияния становится важной для понимания адаптации деревьев. Необходимо отметить, что, согласно ОСТ 56-69-83, различия между измеренными значениями диаметра стволов и рассчитанными теоретическими показателями находятся в допустимых пределах погрешности ± 1 см для тех случаев, когда диаметр ствола не превышает 20 см.

После рубки дерева измерены длина ствола (L), протяжённость кроны и бессучковой зоны ствола, размечены места взятия спилов на серединах двухметровых секций. В середине каждой секции, на нулевом срезе, на высоте 1,3 метра и у основания вершинки выпиливаем спилов для подсчёта и измерения годичных колец [7]. Камеральная обработка полевых данных по анализу ствола сводится к установлению площадей сечений, соответствующих измеренным диаметрам, вычислению объёмов отдельных секций и всего ствола по пятилетним возрастным периодам, определению прироста по высоте, диаметру, объёму. Комплексная обработка собранных в ходе полевых работ данных и последующий статистический анализ регрессионных зависимостей выполнены средствами программного пакета MS Office Excel [8].

Результаты и обсуждения. По результатам выполненных полевых исследований было установлено, что на пробной площади № 1 в Кашарском районе показатель средней высоты (h) модельных деревьев достигает отметки в 13,0 м, а средний диаметр стволов на таксационной высоте ($d_{1,3}$) составляет 13,8 см. На пробной площади № 2 в Боковском районе зафиксированы меньшие величины исследуемых показателей: средняя высота дерева составляет 9,0 м, а соответствующий диаметр ствола – 11,0 см. На основании результатов камеральной обработки данных были сформулированы и составлены усреднённые таблицы хода роста деревьев, произрастающих в лесных полосах на пробной площади № 1 в Кашарском районе и пробной площади № 2 в Боковском районе по диаметру и высоте ствола (таблица 1, 4) и его объёму (таблица 2, 4) соответственно.

Таблица 1 – Динамика роста робинии лжеакация по диаметру и высоте на пробной площади № 1 (Кашарский район)

Table 1 – Dynamics of Robinia pseudoacacia growth by diameter and height in test area No. 1 (Kasharsky District)

Диаметр сечения, см / Cross-section diameter, cm								
Возраст, лет / Age, years								
5	10	15	20	25	30	35	40	
							Без коры / Bark-free	В коре / With bark
3	4	5	6	7	8	9	10	11
4,6	7,0	9,1	11,3	13,3	14,6	15,9	16,8	18,5
2,9	5,1	8,3	10,0	11,4	14,0	14,5	15,9	17,8
2,5	4,5	6,5	8,0	9,3	11,3	12,6	13,8	15,1
–	0,3	5,0	6,0	7,6	9,0	9,9	11,4	12,4
–	–	2,3	3,0	5,0	7,4	8,7	9,8	11,0
–	–	–	2,2	4,6	6,7	7,6	8,6	9,8
–	–	–	–	2,0	4,9	6,2	7,0	7,6
–	–	–	–	–	2,7	4,0	4,7	5,4
Высота дерева по периодам возраста, м / Height of the tree by age periods, m								
2,3	4,5	6,5	8,5	10,4	11,5	12,3	13,0	

Результаты исследований, приведенные в таблице 1, позволили рассчитать математическую модель и выразить в графическом виде динамику изменения высоты и диаметра модельных деревьев относительно возрастных интервалов (рисунок 1). Высокий уровень точности построенных моделей подтвержден высокими значениями коэффициентов аппроксимации ($R^2 = 0,94-0,95$) [9].

$$h = -0,0007n^2 + 0,4226n - 0,5811; R^2 = 0,9557;$$

$$d = -0,0039n^2 + 0,4837n - 0,5102; R^2 = 0,9405.$$

где, h – высота дерева, м; d – диаметр ствола, см; V – объём дерева, м³; n – возраст дерева, лет; R² – коэффициент аппроксимации.

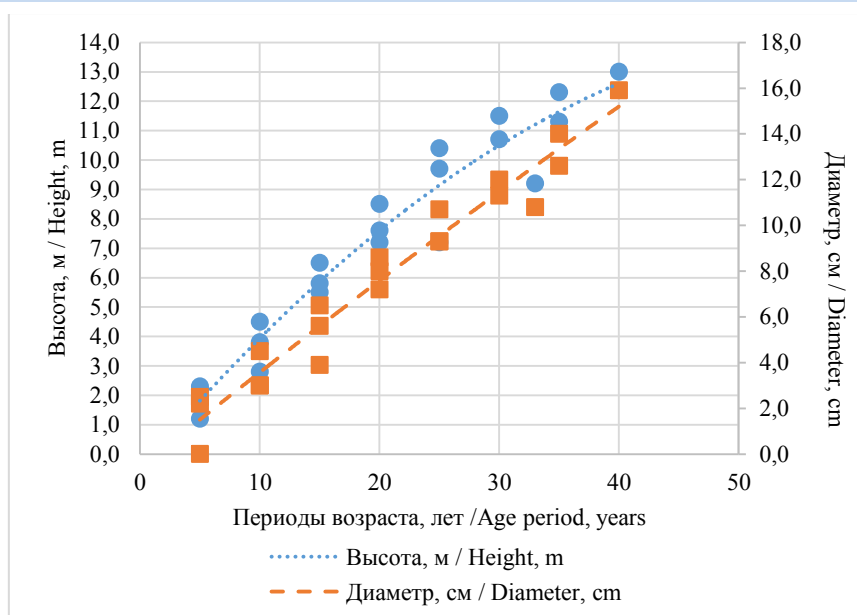


Рисунок 1 – Изменение диаметра и высоты робинии лжеакаки с возрастом (пробная площадь № 1, Кашарский район)

Figure 1 – Changes in the diameter and height of *Robinia pseudoacacia* with age (test area No. 1, Kasharsky District)

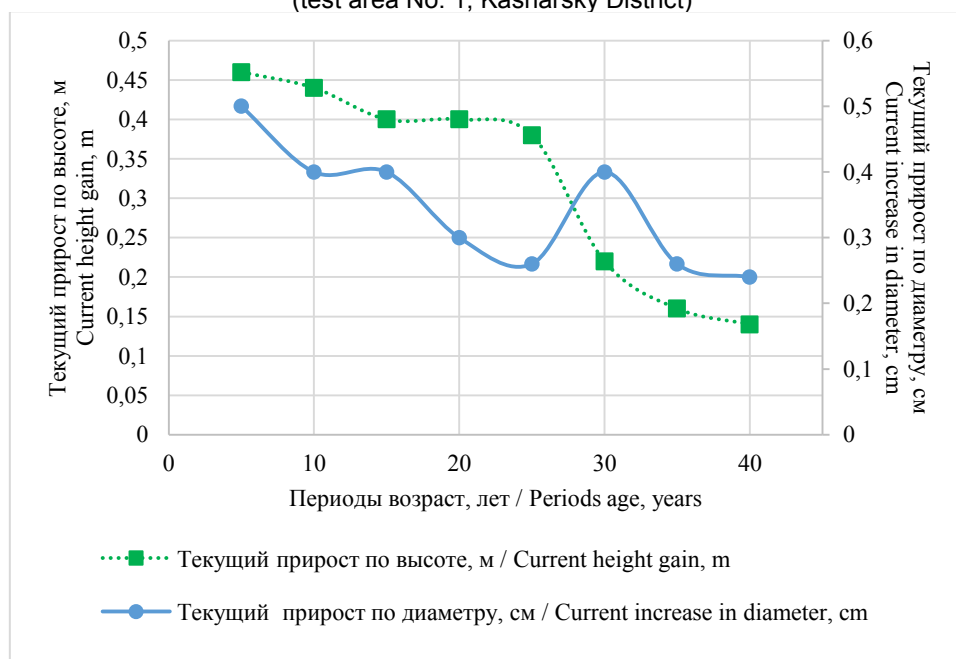


Рисунок 2 – Изменение текущего прироста по диаметру и высоте ствола робинии лжеакаки с возрастом (пробная площадь № 1, Кашарский район)

Figure 2 – Change in current growth in diameter and height of the trunk of *Robinia pseudoacacia* with age (trial area No. 1, Kasharsky District)

Анализ данных, представленных в таблице 1 и рисунках 1-2, показывает, что насаждения робинии лжеакаки (*Robinia pseudoacacia*) на пробной площади № 1 отличаются интенсивным ростом в молодом возрасте, с максимальными темпами прироста по высоте и диаметру в возрасте 5-25 лет. После тридцати лет прирост по высоте и диаметру замедляется. К сорокалетнему возрасту средняя высота древостоя составит 13,0 м, что по таблицам М. М. Орлова соответствует II классу бонитета.

Таблица 2 – Динамика роста робинии лжеакация по площади сечения и объёму на пробной площади № 1 (Кашарский район)

Table 2 – Dynamics of the growth of Robinia pseudoacacia by cross-sectional area and volume in trial area No. 1 (Kashar district)

№: 1 (Kashan district)								
Площадь сечения, м ² ×10 ⁻³ / Cross-sectional area, m ² ×10 ⁻³								
Возраст, лет / Age, years								
5	10	15	20	25	30	35	40	
							Без коры / Bark-free	В коре / With bark
3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,7	2,0	5,4	7,8	10,2	15,4	16,5	19,9	24,9
–	0,4	1,9	2,8	4,5	6,3	7,7	10,2	12,1
–	–	0,4	0,7	1,9	4,3	5,9	7,5	9,5
–	–	–	0,3	1,7	3,5	4,5	5,8	7,5
–	–	–	–	0,3	1,9	3,0	3,8	4,5
–	–	–	–	–	0,6	1,3	1,9	2,3
Сумма площадей сечений, м ² ×10 ⁻³ / The sum of the cross-sectional areas, m ² ×10 ⁻³								
0,7	2,4	7,7	11,6	18,6	32,0	38,9	49,1	60,8
Объём ствола, м ³ ×10 ⁻³ / Barrel volume, m ³ ×10 ⁻³								
1,4	5,4	15,4	23,2	37,2	64,0	77,8	98,2	121,6
Объём вершинки, м ³ ×10 ⁻³ / Vertex volume, m ³ ×10 ⁻³								
0,2	0,2	0,004	0,7	0,007	0,009	0,008	0,01	0,005
Общий объём дерева, м ³ ×10 ⁻³ / Total volume of the tree, m ³ ×10 ⁻³								
1,4	5,4	15,4	23,2	37,2	64,7	77,8	98,4	121,8
Площадь сечения вершинки, м ² ×10 ⁻³ / Vertex cross-sectional area, m ² ×10 ⁻³								
0,05	0,06	0,05	0,04	0,04	1,3	0,04	0,5	0,6
Длина вершинки, м / Vertex length, m								
0,3	0,5	0,5	0,7	0,5	1,5	0,3	1,0	
Диаметр основания вершинки, см / Diameter of the vertex base, cm								
1,7	1,8	0,8	0,7	0,7	4,1	0,9	2,5	2,9

Из данных таблицы следует, что площадь сечения и объём ствола робинии лжеакация также увеличивается с возрастом. Максимальный прирост площади сечения наблюдается в возрасте 15-25 лет. После достижения тридцатилетнего возраста темпы прироста замедляются. Снижение прироста обусловлено конкуренцией древесных пород в условиях внешней полосы, где деревья могут испытывать недостаток света из-за затенения другими породами. Кроме того, изменяющийся микроклимат лесной полосы, связанный с увеличением плотности насаждений, приводит к изменению влажности почвы и температуры, что также оказывает влияние на рост деревьев [11].

Изменение высоты, диаметра на высоте груди, объёма, прироста дерева в абсолютных и относительных величинах, в различные периоды жизни и развития робинии лжеакация показаны в таблице 3.

Таблица 3 – Ход роста древесного ствола робинии лжеакация по высоте, диаметру и объёму на пробной площади № 1 (Кашарский район)
Table 3 – Growth of the Robinia pseudoacacia tree trunk in terms of height, diameter, and volume at test site No. 1 (Kasharsky District)

Возраст, лет / Age, years	h, м	Z _h , м	P _h , %	d _{1,3} , см	Z _d , см	P _d , %	V, м ³	Z _{cg} , м ³	Z _v , м ³	P _v , %
5	2,3	0,46	40,0	2,5	0,5	40,0	0,0014	0,00028	0,0003	40,0
10	4,5	0,44	12,9	4,5	0,4	11,4	0,0054	0,00050	0,0008	21,7
15	6,5	0,4	7,2	6,5	0,4	7,2	0,0154	0,00100	0,0020	5,8
20	8,5	0,4	12,3	8,0	0,3	4,1	0,0232	0,00120	0,0016	8,0
25	10,4	0,38	4,0	9,3	0,26	7,1	0,0372	0,00150	0,0028	9,2
30	11,5	0,22	2,0	11,3	0,4	3,8	0,0647	0,00220	0,0055	10,8
35	12,3	0,16	1,3	12,6	0,26	2,2	0,0778	0,00220	0,0026	3,7
40	13,0	0,14	1,1	13,8	0,24	1,8	0,0984	0,00250	0,0041	4,6

Примечание: h – высота дерева; V – объём ствола; d_{1,3} – диаметр на высоте 1,3 м; Z_h, Z_d, Z_v – текущий среднепериодический прирост высоты, диаметра и объёма; Z_{cg} – средний прирост объёма ствола; P_h, P_d, P_v – процент текущего прироста высоты, диаметра и объёма.

Note: h is the height of the tree; V is the volume of the trunk; d_{1.3} is the diameter at a height of 1.3 m; Z_h, Z_d, Z_v is the current average periodic increase in height, diameter and volume; Z_{cg} is the average increase in trunk volume; P_h, P_d, P_v is the percentage of the current increase in height, diameter and volume.

Анализ данных таблицы № 3 демонстрирует, что с увеличением возраста происходит увеличение всех таксационных показателей, что является естественным процессом роста дерева. Средний прирост по диаметру за весь период роста составляет 0,3 см в год, что свидетельствует о стабильном росте дерева. Текущий среднепериодический прирост диаметра в возрасте сорока лет составляет 0,24 см, что указывает на постепенное замедление роста с возрастом. Высота дерева также увеличивается с возрастом, с текущим среднепериодическим приростом высоты в 0,14 м в возрасте сорока лет, что также указывает на замедление роста по мере старения дерева. Объем ствола увеличивается с экспоненциальной зависимостью от возраста, что означает, что в первые годы жизни дерева прирост объема происходит быстрее, чем в последующие годы. Однако, несмотря на экспоненциальный характер роста, объем ствола не может постоянно увеличиваться, так как он ограничен биологическими и экологическими факторами. Таким образом, данные таблицы № 3 подтверждают, что рост робинии лжеакалии происходит в соответствии с естественными биологическими процессами и с возрастом темпы роста замедляются.

Закономерности роста робинии лжеакалии (*Robinia pseudoacacia*) в условиях Бокковского района (ПП № 2) представлены в таблицах 4-6.

Таблица 4 – Динамика роста робинии лжеакалии по диаметру и высоте на пробной площади № 2 (Бокковский район)

Table 4 – Dynamics of *Robinia pseudoacacia* growth by diameter and height at test site No. 2 (Bokovsky District)

Диаметр сечения, см / Cross-section diameter, cm						
Возраст, лет / Age, years						
5	10	15	20	25	33	
					В коре / With bark	Без коры / Bark-free
3	4	5	6	7	8	9
1,9	3,0	6,4	9,5	11,0	13,5	15,5
1,3	3,0	4,2	8,2	9,5	12,0	15,0
0,7	1,9	2,5	5,2	7,0	11,0	13,0
–	0,6	1,8	3,0	5,1	8,5	10,5
–	–	0,6	1,5	3,8	6,4	9,5
–	–	–	–	2,6	5,3	7,5
Высота дерева по периодам возраста, м / Height of the tree by age period, m						
1,7	3,8	5,9	7,1	7,9	9,0	

Результаты, представленные в таблице 4, послужили основой для построения математической модели, на основании которой была выполнена графическая интерпретация динамики изменения высоты и диаметра ствола модельных деревьев в зависимости от периода возраста.

$$h = -0,0087n^2 + 0,5851n - 1,0914; R^2 = 0,9499;$$

$$d = -0,0026n^2 + 0,5057n - 1,7929; R^2 = 0,8397$$

где, h – высота дерева, м; d – диаметр ствола, см; V – объем дерева, m^3 ; n – возраст дерева, лет; R^2 – коэффициент аппроксимации.

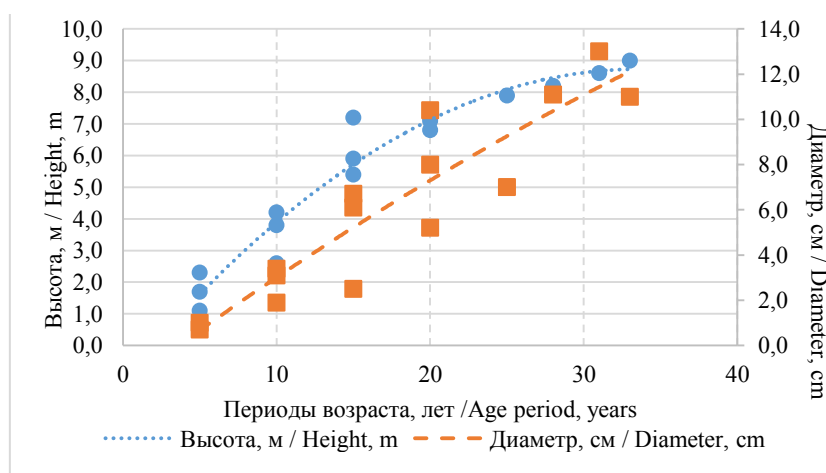


Рисунок 3 – Изменение диаметра и высоты робинии лжеакалии с возрастом на пробной площади № 2 (Бокковский район)

Figure 3 – Change in diameter and height of *Robinia pseudoacacia* with age in test area No. 2 (Bokovsky District)

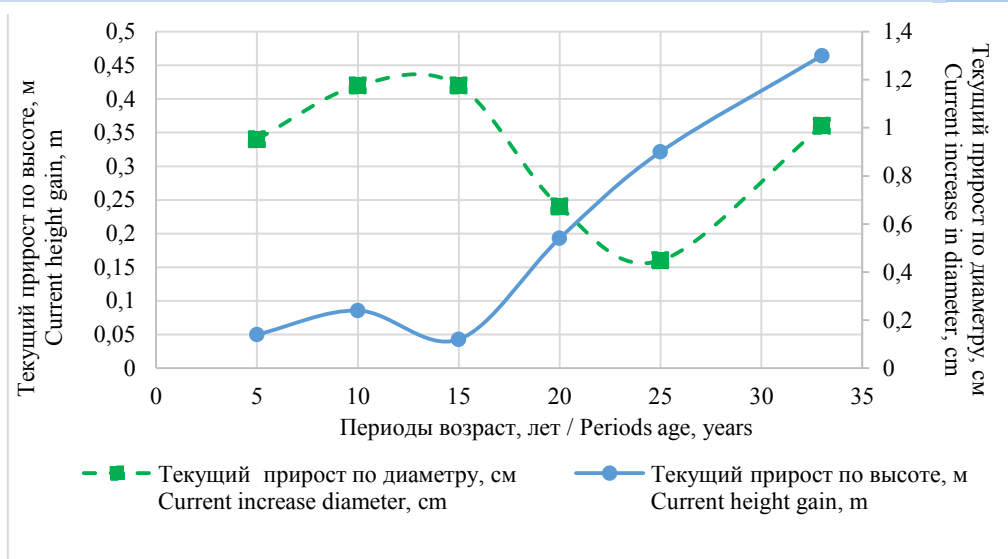


Рисунок 4 – Изменение текущего прироста по диаметру и высоте ствола робинии лжеакация с возрастом на пробной площади № 2 (Боковский район)

Figure 4 – Change in current growth in diameter and height of the Robinia pseudoacacia trunk with age at test site No. 2 (Bokovsky District)

Анализ таблицы 4, рисунков 3-4, отражающих изменение таксационных показателей ствола робинии лжеакация (*Robinia pseudoacacia*) с возрастом на пробной площади № 2, показывает, что прирост по высоте начинает снижаться после пятнадцати лет, что связано с переходом дерева в фазу формирования ствола, когда рост в высоту ослабевает. В тоже время, прирост по диаметру увеличивается и достигает пика к тридцати пяти годам, что связано с активным увеличением диаметра ствола. Эти изменения в приросте по высоте и диаметру обусловлены биологическими процессами и соответствующим закономерностям роста дерева, что подтверждается данными других исследований, приведенные в работе Н. А. Бабич, Н. П. Гаевского, В. Е. Гаевского [11]. Согласно проведенным полевым исследованиям, в соответствии с таблицами М. М. Орлова данная лесная полоса имеет III класс бонитета.

Таблица 5 – Динамика роста робинии лжеакация по площади сечения и объёму на пробной площади № 2 (Боковский район)

Table 5 – Growth dynamics of Robinia pseudoacacia by cross-sectional area and volume (P No. 2 Bokovsky District)

Площадь сечения, м ² ×10 ⁻³ / Cross-sectional area, m ² ×10 ⁻³						
Возраст, лет / Age, years						
5	10	15	20	25	33	
					Без коры / Bark-free	В коре / With bark
3	4	5	6	7	9	10
0,1	0,7	1,4	5,2	7,1	11,3	17,6
–	0,03	0,3	0,7	2,0	5,4	8,7
–	–	0,03	0,2	1,1	3,2	7,0
–	–	–	–	0,5	2,2	4,4
Сумма площадей сечений, м ² ×10 ⁻³ / The sum of the cross-sectional areas, m ² ×10 ⁻³						
0,1	0,7	1,7	6,1	10,7	22,1	37,8
Объём ствола, м ³ ×10 ⁻³ / Barrel volume, m ³ ×10 ⁻³						
0,2	1,4	3,4	12,2	21,4	44,2	75,6
Объём вершинки, м ³ ×10 ⁻³ / Vertex volume, m ³ ×10 ⁻³						
0,17	0,06	0,06	0,02	0,51	0,02	0,03
Общий объём дерева, м ³ ×10 ⁻³ / Total volume of the tree, m ³ ×10 ⁻³						
0,4	1,5	3,5	12,2	21,9	44,4	75,9
Площадь сечения вершинки, м ² ×10 ⁻³ / Vertex cross-sectional area, m ² ×10 ⁻³						
0,3	0,1	0,1	0,06	0,8	0,6	1,0
Длина вершинки, м / Vertex length, m						
1,7	1,8	1,9	1,1	1,9	1,0	1,7
Диаметр основания вершинки, см / Diameter of the vertex base, cm						
1,8	1,4	1,3	0,9	3,2	2,7	3,7

Таблица 6 – Ход роста древесного ствола робинии лжеакалии по высоте, диаметру и объёму на пробной площади № 2 (Боковский район)

Table 6 – Growth of the Robinia pseudoacacia tree trunk in terms of height, diameter, and volume at test site No. 2 (Bokovsky District)

Возраст, лет / Age, years	h, м	Z _h , м	P _h , %	d _{1,3} , см	Z _d , см	P _d , %	V, м ³	Z _{ср} , м ³	Z _v , м ³	P _v , %
5	1,7	0,34	40	0,7	0,14	40	0,0004	0,00008	0,00008	40
10	3,8	0,42	15,2	1,9	0,24	18,5	0,0015	0,00015	0,00022	8,8
15	5,9	0,42	8,7	2,5	0,12	5,4	0,0035	0,00023	0,0004	16,0
20	7,1	0,24	3,7	5,2	0,54	14,0	0,0122	0,00061	0,00174	22,2
25	7,9	0,16	2,1	7,0	0,9	5,9	0,0219	0,00088	0,00194	11,4
33	9,0	0,36	2,6	11,0	1,3	8,8	0,0414	0,0013	0,065	12,3

Примечание: h – высота дерева; d_{1,3} – диаметр на высоте 1,3 м; V – объём ствола; Z_h, Z_d, Z_v – текущий среднепериодический прирост высоты, диаметра и объёма; Z_{ср} – средний прирост объёма ствола; P_h, P_d, P_v – процент текущего прироста высоты, диаметра и объёма.

Note: h is the height of the tree; d_{1.3} is the diameter at a height of 1.3 m; V is the volume of the trunk; Z_h, Z_d, Z_v is the current average periodic increase in height, diameter and volume; Z_{cр} is the average increase in trunk volume; P_h, P_d, P_v is the percentage of the current increase in height, diameter and volume.

Закключение. Проведённый сравнительный анализ хода роста показал, что робиния лжеакалии (*Robinia pseudoacacia*) в условиях Кашарского района (пробная площадь № 1) характеризуется более интенсивным ростом и лучшими таксационными показателями по сравнению с Боковским районом (пробная площадь № 2). На момент исследований средняя высота модельных деревьев на пробной площади № 1 составила 13,0 м при среднем диаметре на высоте 1,3 м – 13,8 см и общем объёме ствола в сорокалетнем возрасте – 0,0984 м³. Для пробной площади № 2 эти показатели ниже: средняя высота – 9,0 м, диаметр – 11,0 см, объём в тридцати трехлетнем возрасте – 0,0414 м³.

Графический анализ зависимости таксационных показателей от возраста показал, что лучший рост робинии лжеакалии (*Robinia pseudoacacia*) наблюдается в условиях Кашарского района. Здесь высота и диаметр увеличиваются быстрее, особенно заметен интенсивный рост в первые годы жизни древостоя, что подтверждается высокими значениями коэффициентов аппроксимации ($R^2 > 0,95$ для всех моделей). Текущие средние приросты по высоте и диаметру ствола также значительно выше по сравнению с Боковским районом. По классу бонитета, также наблюдаются различия: в Кашарском районе преобладают лесные полосы II класса бонитета, тогда как в Боковском районе – III-го.

Выявленные различия в интенсивности роста робинии лжеакалии (*Robinia pseudoacacia*) обусловлены комплексом факторов, среди которых ведущую роль играют почвенно-гидрологические и климатические особенности районов исследования. Так, в Кашарском районе преобладание плодородных и влагоёмких чернозёмов создаёт оптимальные условия для развития корневой системы и активного вегетативного роста древостоев. Напротив, в Боковском районе распространены менее продуктивные черноземные тяжелосуглинистые на желтобурых структурах глины почвы, ограничивающие доступность питательных веществ. Дополнительно на интенсивность роста влияет повышенная ветровая нагрузка в Боковском районе, способствующая усилению транспирационных процессов и снижению эффективности фотосинтеза. Именно сочетание указанных факторов определяет значительное превосходство темпов роста робинии лжеакалии (*Robinia pseudoacacia*) в Кашарском районе над показателями, зафиксированными в Боковском районе. Выявленная закономерность подчёркивает необходимость разработки комплекса мер по укреплению защитных лесных насаждений к неблагоприятному воздействию ветровых нагрузок, а также оптимизации методов ухода за лесными полосами с целью их биологической продуктивности и экологической значимости.

Conclusion. A comparative analysis of the growth rate showed that the false acacia (*Robinia pseudoacacia*) in the Kasharsky district (trial area No. 1) has a more intensive growth rate and better taxation indicators compared to the Bokovsky district (trial area No. 2). At the time of the study, the average height of the model trees in test area No. 1 was 13.0 m, with an average diameter of 13.8 cm at a height of 1.3 m and a total trunk volume of 0.0984 m³ at the age of 40. For test area No. 2, these values are lower: average height is 9.0 m, diameter is 11.0 cm, and volume at the age of 33 is 0.0414 m³.

A graphical analysis of the dependence of taxation indicators on age showed that the best growth of the false acacia (*Robinia pseudoacacia*) is observed in the conditions of the Kasharsky district. Here, the height and diameter increase faster, especially noticeable is the intensive growth in the

first years of the life of the stand, which is confirmed by high values of the approximation coefficients ($R^2 > 0.95$ for all models). The current average growth in height and trunk diameter is also significantly higher compared to the Bokovsky district. There are also differences in the class of bonitet: in the Kasharsky district, there are II-class forest belts, while in the Bokovsky district, there are III-class forest belts.

The identified differences in the growth intensity of the false acacia (*Robinia pseudoacacia*) are caused by a complex of factors, among which the soil-hydrological and climatic characteristics of the study areas play a leading role. For example, in the Kasharsky district, the prevalence of fertile and moisture-retentive chernozems creates optimal conditions for the development of the root system and active vegetative growth of the tree stands. On the contrary, the Bokovsky district is characterized by less productive heavy loamy chernozem soils with yellow-brown clay structures, which limit the availability of nutrients. In addition, the increased wind load in the Bokovsky district affects the growth rate, leading to increased transpiration and reduced photosynthesis efficiency. This combination of factors contributes to the significant growth rate of the false acacia (*Robinia pseudoacacia*) in the Kasharsky district compared to the growth rate in the Bokovsky district. The identified pattern highlights the need to develop a set of measures to strengthen protective forest plantations against the adverse effects of wind loads, as well as to optimize the methods of caring for forest belts in order to increase their biological productivity and ecological significance.

Библиографический список

1. Бабошко О. И., Танюкевич В. В. Продуктивность и мелиоративная роль лесных полос с участием *Robinia pseudoacacia* L. в степной зоне. Новочеркасск: Новочеркасская государственная мелиоративная академия, 2015. 108 с.
2. Танюкевич В. В., Ивонин В. М. Особенности хода роста основных пород лесных полос в Ростовской области. Лесной вестник. 2012. № 2. С. 27-31.
3. Бабошко О. И., Танюкевич В. В. Многофункциональная роль робиниевых защитных насаждений в степных ландшафтах. Научный журнал КубГАУ. 2011. № 74. С. 1-10.
4. Ивонин В. М., Танюкевич В. В., Лобов Н. Е. Адаптивная лесомелиорация степных агроландшафтов. Новочеркасск, 2009. 284 с.
5. Примаков Н. В., Танюкевич В. В. Лесохозяйственные мероприятия в пограничных лесных полосах Краснодарского края. Известия ВУЗов. Лесной журнал. 2024. № 4. С. 185-192.
6. Танюкевич В. В. Продуктивность и мелиоративная роль лесных полос степных агролесоландшафтов. Новочеркасск: Лик, 2012. 174 с.
7. Бабошко О. И., Пузанков А. А. Анализ хода роста и особенности состояния ясеня ланцетного в условиях сухой дубравы Ростовской области. Научно-агрономический журнал. 2024. № 1 (124). С. 26-30.
8. Черных Д. В. Модели и таблицы хода роста дубрав искусственного происхождения Нижнего Поволжья. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 93. С. 344-363.
9. Иванова Е. Е., Бабич Н. А. Сигмоидные функции в моделировании хода роста по высоте культуры сосны обыкновенной. Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2023. № 5. С. 109-116.
10. Кулик К. Н., Рулев А. С., Ткаченко Н. А. Изменения климата и агролесомелиорация. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 2 (46). С. 58-67.
11. Бабич Н. А. и др. Искусственное лесовосстановление и интродукция на Европейском Севере. Архангельск, 1998. 184 с.

References

1. Baboshko O. I., Tanyukevich V. V. Productivity and the reclamation role of forest strips with the participation of *Robinia pseudoacacia* L. in the steppe zone. Novo-Cherkassy: Novo-Cherkassy State Land Reclamation Academy, 2015. 108 p.
2. Tanyukevich V. V., Ivonin V. M. Features of the growth of the main species of forest strips in the Rostov region. Forest bulletin. 2012. No. 2. Pp. 27-31.
3. Baboshko O. I., Tanyukevich V. V. The multifunctional role of Robinia protective plantings in steppe landscapes. KubSAU Scientific Journal. 2011. No. 74. Pp. 1-10.
4. Ivonin V. M., Tanyukevich V. V., Lobov N. E. Adaptive forest reclamation of steppe agrarian landscapes. Novo-Cherkassk, 2009. 284 p.
5. Primakov N. V., Tanyukevich V. V. Forestry measures in the protective forest belts of the Krasnodar Territory. Forest magazine. 2024. No. 4. Pp. 185-192.
6. Tanyukevich V. V. Productivity and the reclamation role of forest strips of steppe agroforestry landscapes. Novo-Cherkassk: Lik, 2012. 174 p.
7. Baboshko O. I., Puzankov A. A. Analysis of the course of growth and features of lanceolate ash in the conditions of dry oak forests of the Rostov region. Scientific and Agronomic Journal. 2024. No. 1 (124). Pp. 26-30.
8. Chernykh D. V. Models and tables of the growth of oak forests of artificial origin in the Lower Volga region. Polythematic online electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2013. No. 93. Pp. 344-363.
9. Ivanova E. E., Babich N. A. Sigmoid functions in modeling the growth rate of Scots pine crops. MGUL Bulletin – Forest bulletin. 2023. № 5. Pp. 109-116.
10. Kulik K. N., Rulev A. S., Tkachenko N. A. Climate change and agroforestry. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2017. No. 2 (46). Pp. 58-67.
11. Babich N. A. et al. Artificial reforestation and introduction in the European North. Arkhangelsk, 1998. 184 p.

Информация об авторах

Хамитов Ренат Салимович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49), e-mail: r.hamitov@rgau-msha.ru

Хамитова Светлана Михайловна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49), e-mail: xamitowa.sveta@yandex.ru

Пузанков Алексей Анатольевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49), e-mail: puzankov-01@mail.ru

Authors' Information

Khamitov Renat Salimovich, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev (Russian Federation, 127550, Moscow, Timiryazevskaya Street, 49), e-mail: r.hamitov@rgau-msha.ru

Khamitova Svetlana Mikhailovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev (Russian Federation, 127550, Moscow, Timiryazevskaya Street, 49), e-mail: xamitowa.sveta@yandex.ru

Puzankov Aleksey Anatolyevich, Postgraduate Student, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev (Russian Federation, 127550, Moscow, Timiryazevskaya Street, 49), e-mail: puzankov-01@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-09

THE SOYBEAN IRRIGATION REGIME WITH THE DIFFERENT IRRIGATION METHODS IN THE SOIL AND CLIMATIC CONDITIONS OF THE VOLGOGRAD REGION**Khodyakov E. A., Chamurliov O. G., Milovanov S. G., Bondarenko K. V.***Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: e419829@yandex.ru

Received 14.10.2025

Submitted 19.12.2025

Summary

This article presents an analysis of the dynamics of the main elements of the soybean irrigation regime using sprinkler irrigation, its yield, and irrigation water consumption. After three years of research, the optimal irrigation regime and fertilizer application rates for achieving a yield of 4 t/ha of soybean grain were established. It also provides an assessment of the efficiency of soybean cultivation using mole irrigation compared to sprinkler irrigation.

Abstract

Introduction. Soybean, as the highest-protein crop and a good precursor, is in high demand in the Volgograd Region. According to the Russian State Statistics Service, over the past 14 years, soybean acreage in the region has increased from 9,900 to 36,100 hectares, while yields have only reached 2 tons per hectare. Therefore, increasing of the soybean yield in the Volgograd Region remains a pressing issue. **Object.** The "Volgogradka 2" soybean variety is the object of this research. **Materials and methods.** The research was conducted from 2021 to 2023 at the experimental site of the agrobiotechnology of the Educational, Scientific, and Production Center «Gornaya Polyana» of the Volgograd State Agrarian University. Three irrigation regimes and mineral fertilizer application rates were tested to achieve a soybean yield up to 5 t/ha using sprinkler and mole irrigation. **Results and conclusion.** Research conducted in 2021-2023 showed that in soybean crops with sprinkling irrigation, with an increase in pre-irrigation soil moisture from 70-70-65 to 75-75-70 and further to 80-80-75 % of Full Moisture Capacity (FMC), irrigation rates decreased from 400-450 to 300-350 m³/ha, while the total number of irrigations increased from 7...9 to 12...14, and the irrigation rate – from 3333 to 3967 m³/ha. The soybean yields increased from 1.24-1.76 to 3.29-4.19 t/ha with increasing irrigation intensity to 80-80-75 % of FMC and soil fertilization levels to N₁₂₆P₁₀₀K₅₀. However, further analysis revealed that optimal soil moisture conditions, in terms of irrigation water consumption per ton of grain, were achieved with the average of the three options, with pre-irrigation soil moisture levels of 75-75-70 % of FMC. The field experiments conducted in 2025 on mole irrigation established that it was significantly more effective than sprinkling irrigation, since it allowed for a reduction of irrigation rates by 116.7...133.5 % and irrigation water total consumption by 16.9...19.6 %. Moreover, the use of a new irrigation method increased the soybean yield from 2.41...3.92 to 2.64...4.22 t/ha, while simultaneously reducing the consumption of irrigation water from 1369 to 776 m³/t, that is, by 20.8...24.1 % for each ton of soybean grain.

Keywords: soybean irrigation regimes, soybean sprinkling, irrigation technologies, mole irrigation, soybean mineral nutrition.

Citation. Khodyakov E. A., Chamurliov O. G., Milovanov S. G., Bondarenko K. V. The soybean irrigation regime with the different irrigation methods in the soil and climatic conditions of the Volgograd region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 85-93 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-09.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 633.853.52:[631.674.5+631.674.4]

РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ СОИ ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ ПОЛИВА В ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Ходяков Е. А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Чамурлиев О. Г., доктор сельскохозяйственных наук, директор НИИ
Милованов С. Г., кандидат сельскохозяйственных наук
Бондаренко К. В., кандидат сельскохозяйственных наук

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Соя, как самая высокобелковая культура и хороший предшественник широко востребована в Волгоградской области. Согласно службам Госстата РФ за прошедшие 14 лет посевные площади под эту культуру в регионе возросли с 9,9 до 36,1 тыс. га, а урожайность – всего лишь до 2 т/га. Следовательно, задача повышения урожайности сои в Волгоградской области по-прежнему остаётся очень актуальной. **Объект.** Объектом исследований является сорт сои «Волгоградка 2». **Материалы и методы.** Исследования проводили в 2021-2023 гг. на опытном участке полигона агrobiотехнологий Учебного научно-производственного центра «Горная Поляна» Волгоградского ГАУ. Исследовали три варианта режимов орошения и доз внесения минеральных удобрений для получения урожайности до 5 т/га зерна сои при дождевании и кротовом орошении. **Результаты и выводы.** Исследования, проведенные в 2021-2023 гг. показали, что в посевах сои с орошением дождеванием при повышении предполивной влажности почвы от 70-70-65 % НВ до 75-75-70 % НВ и далее до 80-80-75 % НВ поливные нормы снижались от 400-450 до 300-350 м³/га, в то время как общее количество поливов возрастало от 7-9 до 12-14, а оросительная норма – от 3333 до 3967 м³/га. Урожайность сои с возрастанием интенсивности поливного режима до 80-80-75 % НВ и уровня удобрённости почвы до N₁₂₆P₁₀₀K₅₀ повышалась от 1,24-1,76 до 3,29-4,19 т/га. Однако дальнейший анализ показал, что оптимальные условия увлажнения почвы по затратам оросительной воды для получения 1 тонны зерна создавались на среднем из трёх вариантов, с предполивной влажностью почвы 75-75-70 % НВ. Полевые опыты, проведённые в 2025 г., по кротовому орошению установили, что оно было значительно более эффективным, чем дождевание, поскольку позволило снизить величину поливных норм на 116,7-133,5 % и оросительной нормы на 16,9-19,6 %. При этом, применение нового способа полива вызвало повышение урожайности сои от 2,41-3,92 до 2,64-4,22 т/га, одновременно со снижением расхода оросительной воды от 1369 до 776 м³/т, то есть на 20,8-24,1 % на каждую тонну полученного зерна сои.

Ключевые слова: режимы орошения сои, дождевание сои, технологии орошения, кротовое орошение, минеральное питание сои.

Цитирование. Ходяков Е. А., Чамурлиев О. Г., Милованов С. Г., Бондаренко К. В. Режим орошения сои при разных способах полива в почвенно-климатических условиях Волгоградской области. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 85-93. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-09.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение Соя – одна из важнейших сельскохозяйственных культур, отличающаяся самым высоким содержанием растительного белка, высокой питательной ценностью и широким использованием в пищевой промышленности и кормопроизводстве. Однако ее продуктивность во многом зависит от своевременного обеспечения влагой, особенно на значительной территории Волгоградской области, занятой светло-каштановыми малогумусными почвами, где испарение почти в 3 раза превышает количество выпадающих осадков. Такое возможно только при орошении.

Широкие научные исследования проводятся в Республике Беларусь [1, 2, 3], а также в Российской Федерации: на Алтае [4], на Кубани [5, 6], на Дальнем Востоке [7], на Ставрополье [8], в Ростовской области [9], ну и, конечно, в Поволжье [10-15]. Однако, согласно сведению Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Волгоградской области за 14 лет (в период с 2011 по 2024 гг.) площадь орошаемых земель под сою возросла от 9,9 до 36,1 тыс. га, а урожайность – только от 0,9 до 1,94 т/га. По-

этому оптимизация режима орошения сои в сочетании с внесением различных доз минеральных удобрений для повышения урожайности зерна сои при разных способах полива по-прежнему остаётся очень актуальной в Волгоградской области.

Материалы и методы. Исследования выполнялись в Учебном научно-производственном центре «Горная Поляна» Волгоградского ГАУ. Полевые опыты по выращиванию сои при поливе дождеванием, как одном из самых распространённых способов орошения регионе, проводили в 2021-2023 годах, а при кротовом орошении, в сравнении с дождеванием, в 2025 г. По соотношению выпавших осадков к сумме среднесуточных температур были классифицированы, как острозасушливые с ГТК Селянинова Г. Т. менее 0,4. Светло-каштановые почвы участка по гранулометрическому составу средне- и тяжёлосуглинистые с невысоким содержанием гумуса (1-2 %). Поскольку грунтовые воды залегали на глубине более трех метров, их влияние на почвенные процессы не учитывалось. Основным изучаемым фактором был водный режим почвы. В 2021-2023 гг. его исследовали на трёх дифференцированных вариантах орошения дождеванием с поддержанием предполивной влажности в активном слое почвы (0,5 м): 70-70-65, 75-75-70, 80-80-75, а в 2025 г.: 70-75-65, 75-80-70, 80-80-75 % НВ. Интенсивность поливного режима изменялась в течение трёх межфазных периодов: «всходы-цветение», «цветение-образование бобов» и «окончание образования бобов-созревание». Полив проводили дождевальной машиной шланго-барабанного типа Beinlich (Германия). Все технологии полива изучались на фоне трёх уровней минерального питания: $N_{76}P_{60}K_{30}$, $N_{101}P_{80}K_{40}$ и $N_{126}P_{100}K_{50}$ кг д.в./га. Здесь контролем был вариант без удобрений. Все исследования проводились с сортом сои «Волгоградка 2», выведенным селекционерами Волгоградского ГАУ совместно с Всероссийским НИИ орошаемого земледелия. Для оценки эффективности исследуемых режимов орошения при поливе дождеванием в 2021-2023 гг. и способов полива в 2025 г. использовали показатель затрат оросительной воды (ЗОВ), который определяет количество поливной воды, необходимое для получения 1 тонны урожая.

Результаты и обсуждение. Результаты исследования режимов орошения сои при поливе дождеванием в 2021-2023 гг. показаны в таблице 1.

Анализ полученных данных в 2021 г. показал, что при дифференцированном режиме орошения с поддержанием предполивной влажности почвы на уровне 70-70-65 % НВ в межфазные периоды «всходы-цветение» и «цветение-образование бобов» потребовалось шесть поливов нормой по 400 м³/га. В заключительный период «окончание образования бобов-созревание» было проведено ещё три полива увеличенной нормой – 450 м³/га. Таким образом, общее количество поливов за вегетацию составило 9 ед., а оросительная норма – 3750 м³/га.

Повышение предполивного порога влажности до 75-75-70 % НВ привело к увеличению количества поливов за период вегетации до 11 ед. за счёт проведения дополнительно по одному поливу нормой 350 м³/га в первые два межфазных периода. В результате, оросительная норма возросла до 4000 м³/га.

Дальнейшее увеличение предполивной влажности почвы до 80-80-75 % НВ обусловило ещё дополнительное увеличение поливов. В начальный и основной периоды развития сои было выполнено 10 поливов нормой 300 м³/га, а в заключительный период – 4 полива по 350 м³/га. В итоге общее количество поливов достигло 14 ед., а оросительная норма – 4400 м³/га.

Таким образом, было установлено, что с повышением предполивных порогов влажности почвы от 70-70-65 до 80-80-75 % НВ поливные нормы снижались от 400-450 до 300-350 м³/га в то время, как количество поливов возрастало с 9 до 14 ед., а оросительная норма – от 3750 до 4400 м³/га.

В 2022 г., по сравнению с 2021 г. на вариантах с предполивным порогом влажности 70-70-65 и 75-75-70 % НВ в первый межфазный период было проведено на 1 полив меньше, что привело к снижению оросительной нормы соответственно до 3350 и 3650 м³/га.

При поддержании влажности почвы перед поливом 80-80-75 % НВ в 2022 г. в межфазный период «всходы-цветение» и «окончание образования бобов-созревание» было выполнено на 1 полив нормами 300 и 350 м³/га меньше, а в период «цветение-образование бобов» наоборот – на 1 полив нормой 300 м³/га больше, в результате чего общее количество поливов уменьшилось до 13, а оросительная норма – до 4050 м³/га.

Таблица 1 – Режим орошения сои при поливе дождеванием в 2021-2023 гг.
Table 1 – Irrigation regime for soybean with sprinkling irrigation in 2021-2023

Режимы орошения % НВ / Irrigation regime, % of FMC	Межфазные периоды / Interphase periods			Общее количество поливов, ед. / Total number of irrigations, units.	Оросительная норма, м³/га / Irrigation water total consumption, m³/ha
	всходы-цветение / shoots-flowering	цветение-образование бобов / flowering-formation of soybeans	окончание образования бобов-созревание / end of soybean formation – ripening		
	количество поливов, ед / поливная норма, м³ /га / number of irrigations, units / irrigation norm, m³/ha				
2021 г.					
70-70-65	3*400	3*400	3*450	9	3750
75-75-70	4*350	4*350	3*400	11	4000
80-80-75	5*300	5*300	4*350	14	4400
2022 г.					
70-70-65	2*400	3*400	3*450	8	3350
75-75-70	3*350	4*350	3*400	10	3650
80-80-75	4*300	6*300	3*350	13	4050
2023 г.					
70-70-65	2*400	3*400	2*450	7	2900
75-75-70	3*350	4*350	2*400	9	3250
80-80-75	4*300	4*300	3*350	11	3450

В 2023 г. по сравнению с 2022 г., происходило дальнейшее снижение интенсивности поливного режима. При поддержании предполивного порога влажности 70-70-65 % НВ в третий межфазный период сои провели на 1 полив меньше, что привело к снижению оросительной нормы до 2900 м³/га и общего количества поливов до 7 ед.

На варианте с уровнем водообеспеченности не ниже 75-75-70 % НВ наблюдалась идентичная закономерность. Уменьшение на 1 полив нормой 400 м³/га тоже было в заключительный период развития сои после чего общее число поливов снизилось до 9 ед., а оросительная норма – до 3250 м³/га.

Анализ дифференцированного режима орошения 80-80-75 % НВ показал, что в 2023 г. в период «цветение-образование бобов», по сравнению с 2022 г., было выполнено на 2 полива нормой по 300 м³/га меньше, чем в 2022 г. Это снизило общее количество поливов до 11, а оросительную норму – до 3450 м³/га.

Таким образом, проведенные исследования в 2021-2023 гг. показали (таблица 2), что в посевах сои с орошением дождеванием при повышении предполивной влажности почвы от 70-70-65 до 80-80-75 % НВ поливные нормы снижались от 400-450 до 300-350 м³/га в то время, как общее количество возрастало от 7-9 до 12-14, а оросительная норма – от 3333 до 3967 м³/га.

Таблица 2 – Режим орошения сои при поливе дождеванием в среднем за 2021-2023 гг.
Table 2 – Soybean irrigation regime with sprinkler irrigation in average for 2021-2023

Table 2 – Soybean irrigation regime with sprinkler irrigation in average for 2021-2025					
Режимы орошения % НВ / Irrigation regime, % of FMC	Межфазные периоды / Interphase periods			Общее количество поливов, ед. / Total number of irrigations, units.	Оросительная норма, м³/га / Irrigation water total consumption, m³/ha
	всходы-цветение / shoots-flowering	цветение-образование бобов / flowering-formation of soybeans	окончание образования бобов-созревание / end of soybean formation – ripening		
	количество поливов, ед / поливная норма, м³ /га / number of irrigations, units / irrigation norm, m³/ha				
70-70-65	2-3*400	3*400	2-3*450	7-9	3333
75-75-70	3-4*350	4*350	2-3*400	9-11	3633
80-80-75	4-5*300	5*300	3-4*350	12-14	3967

Оптимизация предполивной влажности почвы и повышение ее удобренности являются основными урожаеобразующими факторами для повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

Полученные значения урожайности сои на фоне различных доз минерального питания при дождевании представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Урожайность зерна сои при поливе дождеванием в среднем за 2021-2023 гг.

Table 3 – Soybean grain yield with sprinkler irrigation in average for 2021-2023

Дозы удобрений, кг.д.в./га / Fertilizer doses, kg active ingredient/ha	Предполивная влажность почвы, % НВ / Pre-irrigation soil moisture, % of FMC	Урожайность (Y) сои, т/га / Yield (Y) of soybeans, t/ha	$\frac{\Delta Y}{Y}$	
			т/га / t/ha	%
Без удобрений / Without fertilizers	70-70-65	1,24	–	–
	75-75-70	1,71	0,47	38,0
	80-80-75	1,76	0,53	42,6
N ₇₆ P ₆₀ K ₃₀	70-70-65	2,02	–	–
	75-75-70	2,56	0,54	26,6
	80-80-75	2,67	0,65	32,3
N ₁₀₁ P ₈₀ K ₄₀	70-70-65	2,68	–	–
	75-75-70	3,48	0,79	29,6
	80-80-75	3,59	0,90	33,7
N ₁₂₆ P ₁₀₀ K ₅₀	70-70-65	3,29	–	–
	75-75-70	4,07	0,78	23,6
	80-80-75	4,19	0,90	27,3

Исследования показали, что поддержание трёх режимов орошения при поливе дождеванием и четырех вариантов минерального питания почв в 2021-2023 гг. приводило к изменению урожайности сои в среднем от 1,24 до 4,19 т/га.

Анализ полученных результатов позволил установить, что на контрольном варианте (без удобрений) только улучшение водного режима почвы за счёт повышения предполивного порога влажности почвы от 70-70-65 до 75-75-70 и далее до 80-80-75 % НВ вызывало увеличение урожайности сои от 1,24 до 1,76 т/га и получение прибавки урожая до 0,53 т/га (42,6 %).

Внесение удобрений дозами N₇₆P₆₀K₃₀, N₁₀₁P₈₀K₄₀ и N₁₂₆P₁₀₀K₅₀ при поддержании трёх расчётных режимов орошения стимулировало увеличение урожайности сои соответственно от 2,02 до 2,67; от 2,68 до 3,59 и от 3,29 до 4,19 т/га. На этих вариантах водного режима почвы прибавка урожая зерна сои возрастала до 0,54-0,90 т/га (23,6-33,7 %).

При оценке эффективности разработанных режимов орошения очень важным показателем являются затраты оросительной воды (ЗОВ) для получения 1 тонны продукции. Расчётные величины этих показателей, полученные в среднем за 3 года исследований, показаны таблице 4.

Они позволили установить, что самое непродуктивное использование оросительной воды происходило на вариантах с поддержанием предполивной влажности почвы 70-70-65 % НВ, где ЗОВ достигали значений 1011-2700 м³/т. При повышении уровня водообеспеченности до 75-75-70 % НВ затраты снижались до 893-2130 м³/т, а при дальнейшем возрастании влажности почвы перед поливом до 80-80-75 % НВ они вновь возрастали до 946-2250 м³/т. Таким образом, исследования показали, что поддержание предполивного порога влажности 75-75-70 % НВ является оптимальным режимом орошения сои при поливе дождеванием, которое способствовало экономии оросительной воды до 21,1 % и снижению её расхода на 53-570 м³ на каждую тонну полученного зерна сои.

Таблица 4 – Затраты оросительной воды (ЗОВ) для сои при поливе дождеванием в среднем за 2021-2023 гг.
Table 4 – Irrigation water consumption (IWC) for soybeans with sprinkling irrigation in average for 2021-2023

Дозы удобрений, кг д.в./га / Fertilizer doses, kg active ingredient/ha	Предполивная влажность почвы, % НВ / Pre-irrigation soil moisture, % of FMC	ЗОВ, м³/т IWC, m³/t	ΔЗОВ Δ IWC	
			м³/т m³/t	%
Без удобрений / Without fertilizers	70-75-65	2700	570	21,1
	75-80-70	2130	–	–
	80-85-75	2250	229	13,9
N ₇₆ P ₆₀ K ₃₀	70-75-65	1652	229	13,9
	75-80-70	1423	–	–
	80-85-75	1485	62	4,2
N ₁₀₁ P ₈₀ K ₄₀	70-75-65	1241	196	15,8
	75-80-70	1045	–	–
	80-85-75	1106	61	5,5
N ₁₂₆ P ₁₀₀ K ₅₀	70-75-65	1011	118	11,7
	75-80-70	893	–	–
	80-85-75	946	53	5,6

В 2025 г. были проведены исследования по выращиванию сои при кротовом орошении и поливе дождеванием. Результаты по режимам орошения представлены в таблице 5.

Они показали, что с увеличением предполивной влажности почвы от 70-70-65 до 75-80-75 и далее до 80-85-75 % НВ поливные нормы при поливе дождеванием снижались от 450-650 до 300-450 м³/га, а при кротовом орошении – от 269-376 до 161-269 м³/га. Снижение величины поливных норм при поливе дождеванием составило 150-200 м³/га или 30,8-33,3 %, а при кротовом орошении – 107-108 м³/га или на 28,5-40,1 %. При этом общее количество поливов за сезон вегетации сои возрастало при дождевании от 6 до 12, а при кротовом орошении – от 9 до 17 ед. В результате оросительная норма возрастала при обычном способе полива от 3300 до 4100, а при новом – от 2743 до 3439 м³/га. Следовательно, исследования показали, что повышение интенсивности поливного режима с увеличением предполивного порога влажности почвы от 70-75-65 до 80-85-75 % НВ вызывало возрастание количества поливов при дождевании на 6, а при кротовом поливе – на 8 ед., что способствовало росту общего расхода оросительной воды за сезон при дождевании на 800 м³/га (или на 24,2 %), а при новом способе полива – 25,4 %.

Таблица 5 – Режим орошения сои при кротовом орошении и дождевании в 2025 г.

Table 5 – Irrigation regime for soybeans with mole and sprinkling irrigation in 2025

Предполив ной порог влажности почвы, % НВ / Pre-irrigation soil moisture, % of FMC	Межфазные периоды / Interphase periods			Общее количество поливов, ед. / Total number of irrigations, units.	Ороситель- ная норма, м³/га / Irrigation water total consumption, m³/ha
	всходы- цветение / shoots- flowering	цветение- образование бобов / flowering- formation of soybeans	окончание образования бобов- созревание / end of soybean formation – ripening		
Кротовое орошение / Mole irrigation					
70-75-65	2*323	5*269	2*376	9	2743
75-80-70	3*269	6*215	3*323	12	3066
80-85-75	5*215	8*161	4*269	17	3439
Дождевание / Sprinkling irrigation					
70-75-65	2*550	2*450	2*650	6	3300
75-80-70	3*450	3*350	2*550	8	3500
80-85-75	4*350	6*300	2*450	12	4100

Сравнение двух технологий полива позволило установить, что при кротовом орошении величина поливных норм, по сравнению с дождеванием, снижалась от 300-650 до 161-376 м³/га, то есть на 215-350 м³/га или на 116,7-133,5 %. И, хотя одновременно с этим, общее количество возрастало от 6-12 до 9-17 ед. (на 3-5 ед. или на 41,7-50,0 %), оросительная норма снижалась от 3300-4100 до 2743-3439 (557-800 м³/га или на 16,9-19,6 %).

Полученная урожайность сои в 2025 г. показана в таблице 6.

Таблица 6 – Урожайность сои при кротовом орошении и дождевании в 2025 г.

Table 6 – Soybean yield with mole and sprinkling irrigation in 2025

Предполивная влажность почвы % HB / Pre-irrigation soil moisture,% of FMC	Урожайность (Y) сои, т/га / Soybean yield (Y), t/ha	ΔY ΔY		Урожайность (Y) сои, т/га / Soybean yield (Y), t/ha	ΔY ΔY	
		т/га t/ha	%		т/га t/ha	%
Кротовое орошение / Mole irrigation				Дождевание / Sprinkling irrigation		
70-75-65	2,64	–	–	2,41	–	–
75-80-70	3,95	1,31	49,6	3,57	1,16	48,1
80-85-75	4,22	1,58	59,8	3,92	1,51	62,7

Представленные результаты позволили установить, что при поливе дождеванием с увеличением предполивной влажности почвы от 70-75-65 до 75-80-75 % HB урожайность сои возрастала от 2,41 до 3,57 т/га. Это позволило получить прибавку урожая 1,16 т/га или 48,1 %. Возрастание уровня водообеспеченности до 80-85-75 % HB стимулировало рост урожайности сои до 3,92 т/га и получение дополнительного зерна на 1,51 т/га или 62,7 %.

При кротовом орошении аналогичное повышение предполивного порога влажности почвы от 70-75-65 до 75-80-75 и далее до 80-85-75 % HB вызывало увеличение урожайности от 2,64 до 3,95 и далее до 4,22 т/га. Прибавка урожая на двух последних вариантах, по сравнению с первым, последовательно составила 1,31 (49,6 %) и 1,58 т/га (59,8 %).

Сравнение двух способов полива показало, что при изучаемом новом способе полива, по сравнению с поливом дождеванием, урожайность сои возрастала от 2,41-3,92 до 2,64-4,22 т/га или на 0,23-0,30 т/га (7,7-9,5 %).

Расчётные значения затрат оросительной воды показаны в таблице 7.

Таблица 7 – Затраты оросительной воды (ЗОВ) при кротовом орошении и дождевании в 2025 г.

Table 7 – Irrigation water consumption (IWC) for mole irrigation and sprinkling in 2025

Предполивная влажность почвы %HB / Pre-irrigation soil moisture, % of FMC	ЗОВ, м³/т / IWC, m³/t	ΔЗОВ Δ IWC		ЗОВ, м³/т IWC m³/т	ΔЗОВ Δ IWC	
		м³/т m³/t	%		м³/т m³/t	%
Кротовое орошение / Mole irrigation				Дождевание / Sprinkling irrigation		
70-75-65	1039	263	25,3-	1369	389	28,4-
75-80-70	776	–	–	980	–	–
80-85-75	815	39	4,8	1046	66	6,3

Полученные результаты позволили установить, что при поливе дождеванием наибольшие затраты оросительной воды равные 1369 и 1046 м³/т были получены при поддержании влажности почвы перед поливом соответственно 70-75-65 и 80-85-75 % HB. Минимальные показатели были установлены на варианте с уровнем водообеспеченности не ниже 75-80-75 % HB. Это позволило снизить затраты оросительной воды на 66-389 м³ (6,3-28,4 %) на каждую тонну полученного зерна сои.

При кротовом орошении наблюдалась аналогичная закономерность. Наиболее высокие рассматриваемые показатели продуктивности использования оросительной влаги 1039 и 815 м³/т были получены на первом и третьем вариантах режима орошения сои и минимальный, равный 776 м³/т со сравнительной экономией оросительной воды 39-263 м³/т (4,8-25,3 %) – на втором варианте.

Эти расчёты доказывают, что в 2025 г., также как в 2021-2023 гг., среди трёх исследуемых режимов орошения при дождевании и при кротовом орошении поддержание влажности не ниже 75-80-70 % HB было оптимальным условием увлажнения активного слоя почвы для получения каждой тонны зерна сои.

Сравнение двух способов полива показало, что кротовое орошение было значительно более эффективным, чем дождевание, поскольку позволило снизить расход оросительной воды от 980-1369 до 776-1039 м³/т, то есть на 204-330 м³ (20,8-24,1 %) на каждую тонну полученного зерна сои.

Заключение. Исследования, проведенные в 2021-2023 гг. показали, что в посевах сои с орошением дождеванием при повышении предполивной влажности почвы от 70-70-65 до 75-75-70 и далее до 80-80-75 % НВ поливные нормы снижались от 400-450 до 300-350 м³/га в то время, как общее количество поливов возрастало от 7-9 до 12-14, а оросительная норма – от 3333 до 3967 м³/га. Урожайность сои с возрастанием интенсивности поливного режима и уровня удобренности почвы до N₁₂₆P₁₀₀K₅₀ возрастала от 1,24-1,76 до 3,29-4,19 т/га. Однако дальнейший анализ показал, что оптимальные условия увлажнения почвы, позволяющие наиболее эффективно использовать затраты оросительной воды для получения 1 тонны зерна создавались на среднем из трёх вариантов, где поддерживался предполивной порог влажности почвы 75-75-70 % НВ.

Полевые опыты, проведённые в 2025 г., показали, что кротовое орошение было значительно более эффективным, чем дождевание, поскольку позволило снизить величину поливных норм на 215-350 м³/га (или на 116,7-133,5 %) и оросительной нормы на 557-800 м³/га (или на 16,9-19,6 %). При этом применение нового способа полива вызывало повышение урожайности сои от 2,41-3,92 до 2,64-4,22 т/га или на 0,23-0,30 т/га (7,7-9,5 %), одновременно со снижением расхода оросительной воды от 980-1369 до 776-1039 м³/т, то есть на 204-330 м³ (20,8-24,1 %) на каждую тонну полученного зерна сои.

Conclusion. Studies conducted in 2021-2023 showed that in soybean crops with irrigation by sprinkling, with an increase in pre-irrigation soil moisture from 70-70-65 to 75-75-70 and further to 80-80-75 %, irrigation standards decreased from 400-450 to 300-350 м³/ha, while the total number of irrigations increased from 7...9 to 12...14, and irrigation The norm is from 3333 to 3967 м³/ha. Soybean yield increased from 1.24...1.76 to 3.29...4.19 t/ha with increasing intensity of irrigation regime and the level of soil fertilization to N₁₂₆P₁₀₀K₅₀. However, further analysis showed that optimal soil moisture conditions, allowing the most efficient use of irrigation water costs to produce 1 ton of grain, were created on the average of the three options, where the pre-irrigation soil moisture threshold of 75-75-70 %HB was maintained.

Field experiments conducted in 2025 showed that mole irrigation was significantly more effective than sprinkling, as it reduced irrigation standards by 215...350 м³/ha (or by 116.7...133.5 %) and irrigation standards by 557...800 м³/ha (or by 16.9...19.6 %). At the same time, the use of the new irrigation method caused an increase in soybean yields from 2.41...3.92 to 2.64...4.22 t/ha or by 0.23...0.30 t/ha (7.7...9.5 %), simultaneously with a decrease in irrigation water consumption from 980...1369 to 776...1039 м³/t, that is, by 204...330 м³ (20.8...24.1 %) per ton of soybean grain produced.

Библиографический список

1. Желязко В. И., Вчерашний Е. А. Водопотребление сои при орошении на дерново-подзолистых почвах Беларуси. Мелиорация и водное хозяйство. 2024. № 2. С. 36-42.
2. Желязко В. И., Вчерашний Е. А. Оценка точности расчета водопотребления сои биоклиматическим методом. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 3. С. 207-211.
3. Коковихин С. В. и др. Оптимизация агротехнологического процесса возделывания сельскохозяйственных культур на орошаемых землях с использованием информационных технологий. Почвоведение и агрохимия. 2020. № 2 (65). С. 63-71.
4. Макарычев С. В., Давыдов А. С., Бойко А. В. Динамика влагосодержания в староорошаемой лугово-черноземной почве под соей. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 4 (198). С. 23-29.
5. Макаренко А. А., Коковихин С. В., Бойко Е. С. Моделирование и оптимизация режима орошения полевых культур на уровне севооборотов и полей с учётом метеорологических факторов. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2023. № 191. С. 238-253.
6. Khadzhi A. et al. Development of the water management complex by increasing water availability of small watercourses of the Krasnodar region. Lecture Notes in Networks and Systems. 2023. V. 575. Pp. 282-289.
7. Головин В. Л., Носовский В. С., Вишневская В. Д. Особенности технических и технологических решений развития мелиорации земель Дальнего востока. Природообустройство. 2019. № 5. С. 6-20.
8. Шабалдас О. Г. и др. Урожайность сортов сои различных групп спелости при естественном плодородии почвы в условиях орошения. Земледелие. 2020. № 3. С. 41-44.
9. Балакай Г. Т., Селицкий С. А. Урожайность сортов сои при поливе дождеванием и системами капельного орошения в условиях Ростовской области. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2019. № 3 (35). С. 80-97.
10. Бородычев В. В., Лытов М. Н. Проблемы оптимального водообеспечения сои в условиях орошения. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 2 (54). С. 39-49.
11. Лытов М. Н. Особенности формирования водного режима почвы при разных уровнях водообеспечения сои в условиях орошения. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2019. № 3 (35). С. 31-49.
12. Пешкова В. О., Лукашунас Ю. А., Суркова И. В. Выбор режима орошения для обеспечения устойчивых урожаев сои в сухостепном Поволжье. Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 5. С. 4-7.

13. Толоконников В. В. и др. Особенности высокорентабельного возделывания среднеспелых сортов сои в условиях орошения. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 3 (51). С. 185-191.

14. Толоконников В. В., Вронская Л. В., Агапова С. А. Сортовая отзывчивость сои на орошение и удобрение в условиях Нижнего Поволжья. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 3. С. 320-333.

15. Чамурлиев О. Г. и др. Водный режим почвы и водопотребление сои в зависимости от основной обработки почвы при орошении в условиях Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 4 (72). С. 72-81.

References

1. Zhelyazko V. I., Yesterday E. A. Soybean water consumption during irrigation on sod-podzolic soils of Belarus. Land reclamation and water management. 2024. No 2. Pp. 36-42.

2. Zhelyazko V. I., Yesterday E. A. Estimation of the accuracy of calculating soybean water consumption by the bioclimatic method. Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2023. No 3. Pp. 207-211.

3. Kokovikhin S. V. et al. Optimization of the agro-technological process of cultivating crops on irrigated lands using information technology. Soil science and agro-chemistry. 2020. No 2 (65). Pp. 63-71.

4. Makarychev S. V., Davydov A. S., Boyko A.V. Dynamics of moisture content in old-watered meadow-chnozem soil under soybeans. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2021. No 4 (198). Pp. 23-29.

5. Makarenko A. A., Kokovikhin S. V., Boyko E. S. Modeling and optimization of the irrigation regime of field crops at the level of crop rotations and fields, taking into account meteorological factors. Polythematic online electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2023. No 191. Pp. 238-253.

6. Khadzidi A. et al. Development of the water management complex by increasing water availability of small watercourses of the Krasnodar region. Lecture Notes in Networks and Systems. 2023. V. 575. Pp. 282-289.

7. Golovin V. L., Nosovsky V. S., Vishnevskaya V. D. Features of technical and technological solutions for the development of land reclamation in the Far East. Environmental management. 2019. No 5. Pp. 6-20.

8. Shabalda O. G. et al. The yield of soybean varieties of various ripeness groups under natural soil fertility under irrigation conditions. Agriculture. 2020. No 3. Pp. 41-44.

9. Balakai G. T., Selitsky S. A. Yield of soybean varieties during irrigation by sprinkling and drip irrigation systems in the Rostov region. Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2019. No 3 (35). Pp. 80-97.

10. Borodychev V. V., Lytov M. N. Problems of optimal soybean water supply under irrigation conditions. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and higher professional education. 2019. No 2 (54). Pp. 39-49.

11. Lytov M. N. Features of the formation of the soil water regime at different levels of soybean water supply under irrigation conditions. Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2019. No 3 (35). Pp. 31-49.

12. Peshkova V. O., Lukashunas Yu. A., Surkova I. V. The choice of irrigation regime to ensure sustainable soybean yields in the dry-steppe Volga region. Land reclamation and water management. 2021. No 5. Pp. 4-7.

13. Tolokonnikov V. V. and others. Features of highly profitable cultivation of medium-ripened soybean varieties under irrigation conditions. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and higher professional education. 2018. No 3 (51). Pp. 185-191.

14. Tolokonnikov V. V., Vronskaya L. V., Agapova S. A. Varietal responsiveness of soybeans to irrigation and fertilizer in the conditions of the Lower Volga region. Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Agronomy and animal husbandry. 2023. Vol. 18. No 3. Pp. 320-333.

15. Chamurliov O. G. and others. The water regime of the soil and the water consumption of soybeans, depending on the main tillage during irrigation in the Volgograd region. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and higher professional education. 2023. No 4 (72). Pp. 72-81.

Информация об авторах

Ходяков Евгений Алексеевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2213-7860>, e-mail: E419829@yandex.ru

Чамурлиев Омарий Георгиевич, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, директор НИИ, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: attika.ge@yandex.ru

Милованов Сергей Геннадьевич, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, старший преподаватель кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3916-2619>, e-mail: redas008@mail.ru

Бондаренко Кирилл Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник, старший преподаватель, ФГБОУ ВО Волгоградский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: kirill-bondarenko-1995@mail.ru

Authors' Information

Khodyakov Evgeny Alekseevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2213-7860>, e-mail: E419829@yandex.ru

Chamurliov Omary Georgievich, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Director of the Research Institute, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Av., 26), e-mail: attika.ge@yandex.ru

Milovanov Sergey Gennadievich, Candidate of Agricultural Sciences, Research Fellow, Senior Lecturer, at Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Av., 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3916-2619>, e-mail: redas008@mail.ru

Bondarenko Kirill Vladimirovich, Candidate of Agricultural Sciences, Junior Researcher, Senior Lecturer, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26). e-mail: kirill-bondarenko-1995@mail.ru

**THE FORMATION OF THE BARE-GRAIN AZIL OATS YIELD DEPENDING
ON THE FERTILIZER AND SEEDING RATE****Vlasov V. G.***Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,
Ulyanovsk Scientific Research Institute of Agriculture named after N. S. Nemtsev
Timiryazevsky settlement, Ulyanovsk Region, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: vlasval11@rambler.ru

Received 08.09.2025

Submitted 16.12.2025

Summary

A field experiment was conducted in 2022-2024 to determine the optimal level of mineral nutrition and seedling rates for spring oats in the forest-steppe of the Ulyanovsk region on highly fertile leached chernozem with a humus content (according to Tyurin) of 5.8-6.5 %, mobile forms of phosphorus and potassium (according to Chirikov) – 238-264 mg/kg and 49-83 mg/kg, pH KCl – 6,9-7,2.

Abstract

Introduction. Taking into account the positive agronomic characteristics of the new Azil oat variety, the research and optimization of technological parameters of its cultivation for the maximum realization of productive potential in local production conditions is an urgent scientific and practical task. **Object.** The object of study was a new variety of naked oats Azil, included in the State Register of Breeding Achievements of Russia in 5 regions (2, 3, 4, 7, 9). **Materials and methods.** The experimental scheme included three fertilizer options (control, $N_{40}P_{20}K_{40}$, $N_{70}P_{35}K_{80}$), foliar top dressing with a growth regulator during the growing season and three seeding rates (4.0, 5.0 and 6.0 million units/ha). The crop was sown with a CH-16 seeder in a pre-plowed field previously occupied by spring wheat. **Results and conclusions.** Favorable humidification conditions for plants were observed exclusively in 2022, when the hydrothermal coefficient (GTC) was 1.6. In 2023, this indicator decreased to 0.5, and in 2024 it was 0.7, indicating insufficient moisture supply during these periods. The largest number of seedlings, ranging from 453 to 479 per square meter, was recorded at a seeding rate of 6.0 million seeds per hectare on fertilized varieties. This seeding rate has demonstrated maximum efficiency in ensuring optimal plant standing density, which is a key factor for achieving high productivity of agrarian cenosis in conditions of a variable water regime. The moisture content in the meter layer after germination was 144.3 mm, in the panicle sweeping phase – 65.5 mm, after the end of the growing season – 46.3 mm. The maximum amount of nitrate nitrogen was detected in fertilizer variants (after sowing – 14.7-21.3 mg/100 g of soil, during broom sweeping – 3.3-3.7 mg/100 g of soil and after harvesting – 3.4-4.0 mg/100 g of soil). On average, Azil produced yields of 2.65 t/ha on the 1st fertilizer background and 2.91 t/ha on the 2nd, which is 50 % and 64 % higher than the control, respectively. The fertilized plots provided a 33-39 % reduction in water consumption for the formation of 1 ton of grain. In the first variant, fertilizers paid off with a grain yield of 2.6 kg/kg D.V. better than in the second. The growth stimulator increased this indicator by 5-8 %.

Keywords: bare oats, varieties of oats, Azil, mineral fertilizers, oat sowing rates, oat yields.

Citation. Vlasov V. G. The formation of the bare-grain Azil oats yield depending on the fertilizer and seeding rate. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 94-103 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-10.

Authors' contribution. All authors took part in the preparation and conduct of the study and analysis of its results. The presented version of the article was agreed with all authors.

Conflict of interest. All authors declared no conflicts of interest.

УДК 633.13:631.559

**ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ГОЛОЗЕРНОГО ОВСА АЗИЛЬ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УДОБРЕНИЯ И НОРМЫ ВЫСЕВА****Власов В. Г., кандидат сельскохозяйственных наук***Самарский федеральный исследовательский центр РАН,
Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н. С. Немцева
п. Тимирязевский, Ульяновская область, Российская Федерация*

Актуальность. Учитывая положительные агрономические характеристики нового сорта овса Азиль, исследование и оптимизация технологических параметров его выращивания для максимальной реализации продукционного потенциала в местных производственных условиях являются актуальной научной и практической задачей. **Объект.** Объектом изучения служил новый сорт голозерного овса Азиль, включенный в Госреестр селекционных достижений России по 5 регионам (2, 3, 4, 7, 9).

Материалы и методы. Полевой опыт провели в 2022-2024 гг. с целью определения оптимальных уровня минерального питания и нормы высева овса ярового в условиях лесостепи Ульяновской области на высокоплодородном выщелоченном черноземе с содержанием гумуса (по Тюрину) 5,8-6,5 %, подвижных форм фосфора и калия (по Чирикову) – 238-264 мг/кг и 49-83 мг/кг, pH KCl – 6,9-7,2. В схему опыта входили три варианта удобрения (контроль, $N_{40}P_{20}K_{40}$, $N_{70}P_{35}K_{80}$), внекорневая подкормка регулятором роста в период вегетации и три нормы высева (4,0; 5,0 и 6,0 млн шт./га). Посев культуры был выполнен сеялкой СН-16 на предварительно вспаханном поле, ранее занятом яровой пшеницей. **Результаты и выводы.** Благоприятные условия увлажнения для растений наблюдались исключительно в 2022 году, когда гидротермический коэффициент (ГТК) составил 1,6. В 2023 году этот показатель снизился до 0,5, а в 2024 году равнялся 0,7, что свидетельствует о недостаточной влагообеспеченности в указанные периоды. Наибольшее количество всходов, варьирующееся в диапазоне от 453 до 479 штук на квадратный метр, было зафиксировано при норме высева 6,0 миллионов семян на гектар на удобренных вариантах. Данная норма высева продемонстрировала максимальную эффективность в обеспечении оптимальной плотности стояния растений, что является ключевым фактором для достижения высокой продуктивности агроценоза в условиях изменчивого водного режима. Содержание влаги в метровом слое после всходов составило 144,3 мм, в фазе выметывания метелки – 65,5 мм, после завершения вегетации – 46,3 мм. Максимальное количество нитратного азота выявлено на вариантах с удобрением (после посева – 14,7-21,3 мг/100 г почвы, во время выметывания метелки – 3,3-3,7 мг/100 г почвы и после уборки – 3,4-4,0 мг/100 г почвы). В среднем на 1 фоне удобрения Азиль сформировал урожайность 2,65 т/га и на 2-2,91 т/га, что выше контроля соответственно на 50 % и 64 %. Участки с удобрением обеспечили снижение расхода воды на формирование 1 т зерна на 33-39 %. На первом варианте удобрения окупались урожаем зерна на 2,6 кг/кг д.в. лучше, чем на втором. Стимулятор роста повысил этот показатель на 5-8 %.

Ключевые слова: овес голозерный, сорта овса, Азиль, минеральные удобрения, нормы высева овса, урожайность овса.

Цитирование. Власов В. Г. Формирование урожайности голозерного овса Азиль в зависимости от удобрения и нормы высева. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 94-103. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-10.

Авторский вклад. Все авторы принимали участие в подготовке, проведении исследования и анализе его результатов. Представленный вариант статьи согласован со всеми авторами.

Конфликт интересов. Все авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Овес в России и за рубежом имеет значительное распространение как зернофуражная и продовольственная культура, преимущественно возделываются пленчатые сорта данной культуры [1, 2, 3].

Вместе с тем, благодаря отсутствию пленок и большей концентрации энергии голозерные сорта перспективно использовать в перерабатывающей и комбикормовой промышленности, а также в качестве концентрированного корма. Зерно этого вида овса обладает высокими диетическими свойствами, имеет высокую питательную ценность и более сбалансированный по аминокислотному составу состав белков [4, 5, 6].

Подбор наиболее адаптивного сорта играет важную роль при выращивании сельскохозяйственных культур, обеспечивая наиболее полную реализацию почвенно-климатических условий региона распространения, повышая отдачу вложенных средств и затрат труда [7, 8, 9].

В Ульяновском научно-исследовательском институте сельского хозяйства – филиале Самарского научного центра Российской академии наук создан высокопродуктивный сорт голозерного овса под названием Азиль. Данный сорт был официально зарегистрирован в Государственном реестре селекционных достижений Российской Федерации и рекомендован для выращивания в пяти различных регионах страны: Северо-Западном, Центральном, Волго-Вятском, Средневолжском и Уральском. Максимальная урожайность сорта Азиль, составляющая 5,63 тонны на гектар, была зафиксирована в условиях Калининградской области, что свидетельствует о его высокой адаптивности к различным климатическим и почвенным условиям. Результаты, полученные в ходе многолетних исследований и испытаний, подтверждают потенциал данного сорта для широкого применения в сельскохозяйственном производстве [10].

Потенциальную урожайность сорт способен сформировать только на высоком агрофоне при хорошей влагообеспеченности.

Многочисленные исследования, проведенные в различных регионах, свидетельствуют о ключевой роли минеральных удобрений в повышении урожайности современных сортов сельскохозяйственных культур. Кроме того, отмечается положительное влияние удобрений на качественные показатели зерна, что подтверждается рядом экспериментальных данных и аналитических исследований [11, 12, 13].

Листовые подкормки регуляторами роста также способствуют возрастанию урожайности [14].

Норма высева для каждого сорта должна быть дифференцирована в зависимости от применяемой технологии и условий произрастания [15, 16, 17].

В связи с перспективностью голозерного овса Азиль, усовершенствование элементов технологии выращивания для максимальной реализации продукционного потенциала сорта в производственных условиях региона актуально.

Цель исследований — изучение влияния удобрения и нормы высева на формирование урожайности нового голозерного сорта овса в условиях лесостепи Поволжья.

Условия, материалы и методы. Исследование было проведено в период с 2022 по 2024 год в рамках долгосрочной научно-исследовательской программы на базе Ульяновского научно-исследовательского института сельского хозяйства, являющегося филиалом Самарского научно-исследовательского центра Российской академии наук.

Изучался новый сорт голозерного овса Азиль, созданный в учреждении. Разновидность — инермис. Азиль относится к категории среднеспелых сортов. Vegetационный период варьируется в пределах от 83 до 102 дней. Ключевыми агробиологическими особенностями сорта являются высокая адаптивность и устойчивость к засушливым условиям, что делает его перспективным для культивирования в регионах с ограниченными водными ресурсами. Детальный химический анализ зерна сорта Азиль продемонстрировал его высокую питательную ценность. Содержание белка в зерне составляет до 21 %, а жира — до 8,9 %. Масса 1000 зерен варьируется в диапазоне от 21 до 32 граммов, а натурный вес — от 543 до 650 граммов на литр. Сорт обладает высокой устойчивостью к заболеваниям пыльной головней и фузариозом, что значительно снижает риск накопления токсичных веществ, таких как Т-2 и дезоксиниваленол, в зерне. Кроме того, сорт Азиль демонстрирует устойчивость к кислотности почвы и алюминотоксичности, что расширяет возможности его выращивания на территориях с неблагоприятными агрохимическими характеристиками. Основные преимущества Азиля включают высокую урожайность, адаптивность к различным климатическим и почвенным условиям, устойчивость к болезням и низкую склонность к накоплению вредных веществ. Эти характеристики делают его перспективным для использования в пищевой промышленности, обеспечивая стабильное производство продукции высокого качества [10].

В полевом эксперименте, проведенном в четырёхкратном повторении, определяли особенности формирования урожайности и показатели качества зерна под влиянием трёх уровней минерального питания (контроль без удобрений; $N_{40}P_{20}K_{40}$ кг/га на 4,0 т/га; $N_{70}P_{35}K_{80}$ кг/га на 5,0 т/га), листовой подкормки гуминовым стимулятором роста (Нормат Л) в период вегетации и трёх вариантов нормы высева (4,0; 5,0 и 6,0 млн шт./га). Общая площадь делянок составляет 36,3 м² (1,65х22 м), учетная — 33 м².

На рост и развитие изучаемого сорта овса в годы исследований значимо повлияли абиотические факторы.

Почвенный покров, на котором произрастает сельскохозяйственная культура, представляет собой выщелоченный чернозём средней мощности с высоким содержанием гумуса. Данный тип почвы характеризуется как тяжёлый суглинок, обладающий высокой концентрацией питательных веществ. Содержание гумуса в нём варьируется в пределах от 5,8 % до 6,5 %, нитратного азота — от 25 мг/кг до 35 мг/кг, подвижного фосфора — от 238 мг/кг до 264 мг/кг, а подвижного калия — от 49 мг/кг до 83 мг/кг. Реакция почвенной среды (рН KCl) варьирует в диапазоне 6,9-7,2, что является оптимальным для большинства сельскохозяйственных культур.

Агроклиматические условия анализировали с помощью данных Тимирязевского агрометеорологического поста. Пост расположен на опытном поле института. Погода демонстрировала значительные вариации, оказывающие существенное влияние на гидротермический режим региона.

В 2022 году метеорологические условия в мае характеризовались умеренной температурой и повышенным количеством осадков. В июне также наблюдались благоприятные погодные условия. Однако июль отличался аномально высокими температурами и обильными осадками. В августе температура оставалась повышенной, но дефицит осадков был значительным. В результате в период с мая по июль температура была близка к климатической норме, в то время как количество осадков превысило норму на 11 %. Созревание овса в августе проходило в сухую жаркую погоду.

2023 год также отметился климатической неоднородностью. Май характеризовался теплыми и влажными метеорологическими условиями, что создавало благоприятные предпосылки для вегетации растений. Июнь, напротив, отличался холодными и сухими погодными условиями, что могло негативно сказаться на росте сельскохозяйственных культур. Июль ознаменовался засушливым периодом с невысокими ночными температурами. Август, в свою очередь, был жарким и сухим, что усугубляло дефицит влаги. В результате, среднегодовая температура превысила климатическую норму на 526 С, однако количество осадков составило лишь 55 % от среднегодового показателя, что свидетельствует о значительном дефиците влаги в вегетационный период.

В 2024 году климатические условия также демонстрировали значительную изменчивость. Май характеризовался холодными и сухими метеорологическими проявлениями. Июнь, напротив, был теплым с частыми дождями, что способствовало увлажнению почвы. Июль отличался аномально высокими температурами и засушливыми условиями, что могло привести к стрессу у растений. Первая половина августа была влажной. В результате, осадки за вегетацию оказались на 12 % ниже климатической нормы.

Анализ агрометеорологических данных за указанный период позволяет сделать вывод о том, что в двух из трех лет климатические условия были неблагоприятными для растений из-за дефицита влаги. Это, в свою очередь, оказало негативное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур.

В севообороте опытного участка овес следовал за яровой пшеницей. Агротехнические мероприятия включали: вспашку зяби, ранневесеннее боронование, обработку почвы на глубину заделки семян перед посевом. В соответствии с планом исследований, минеральные удобрения были внесены в почву путём ручного разбрасывания перед посевной культивацией. Семена сеялись сеялкой СН-16, затем проведено прикатывание и обработка посевов гербицидом в фазу кущения. Урожай учитывался комбайном «Сампо-500».

В процессе разработки научно-исследовательской работы (НИР) были задействованы следующие методические материалы: «Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» (1985 г.). «Методика полевого опыта» Б. А. Доспехова (1979 г.). «Практикум по земледелию» С. А. Воробьева (1987 г.). «Методические указания по различным способам определения норм удобрений для сельскохозяйственных культур и их критическая оценка» М. И. Ходько (1996 г.).

Для комплексного анализа данных об урожайности использовали специализированные инструменты. Среди них – программа "AGROS" для задач селекции и Microsoft Office Excel 2007 с обширными аналитическими возможностями.

Результаты и обсуждение. Влажность и температура почвы способствовали появлению дружных всходов овса в полевом опыте через 9-11 дней. Количество всходов напрямую зависело от нормы высева.

В среднем по всем вариантам удобрения норма высева 4,0 млн/га обеспечила появление 333-380 шт./м² растений, норма высева 5,0 млн/га – 399-415 шт./м² и норма высева 6,0 млн/га – 451-479 шт./м². Следует обратить внимание, что полевая всхожесть Азиля при увеличении нормы высева с 4,0 млн/га до 6,0 млн/га снижалась с 89 % до 77 %. В среднем по всем нормам высева на первом варианте удобрения она составила 80,1 %, на втором – 82,4 % и на третьем – 84,5 %.

Для оптимального роста и высокой урожайности овса важно поддерживать достаточный уровень почвенной влаги. Это критически влияет на метаболизм, водный баланс и фотосинтез растений. Дефицит влаги угнетает их функции, снижая адаптацию и продуктивность.

В результате анализа водного режима почвы после появления всходов овса сорта Азиль было установлено, что в метровом слое содержалось 144,3 мм продуктивной влаги, тогда как в слое 0-30 см этот показатель составил 34,6 мм. Согласно методике Б. А. Доспехова (1987), данные значения могут быть классифицированы как удовлетворительные в метровом слое и как хорошие в слое 0-30 см, что свидетельствует о благоприятных начальных условиях для роста и развития растений. К периоду выметывания метелки наблюдалось значительное снижение запасов влаги: в метровом слое ее количество сократилось до 65,5 мм, а в слое 0-30 см – до 15,3 мм. К моменту завершения вегетационного периода и уборки урожая, содержание продуктивной влаги в пахотном слое снизилось до 10,2 мм, тогда как в метровом слое этот показатель составил 46,3 мм. Таким образом,

весенний период характеризовался благоприятными условиями для роста овса, однако в середине вегетации наблюдалось ухудшение водного режима. В пахотном горизонте условия стали неудовлетворительными. В метровом слое почвы ситуация была также крайне неблагоприятной. К осеннему периоду ситуация не улучшилась, что свидетельствует о сохраняющемся дефиците влаги в корнеобитаемом слое. Недостаток влаги во второй половине вегетации овса оказал значительное лимитирующее воздействие на уровень достигнутой урожайности Азиля (таблица 1).

Таблица 1 – Динамика продуктивной влаги на посевах Азиля, мм (2022-2024 гг.)

Table 1 – Dynamics of productive moisture in Azil crops, mm (2022-2024)

После всходов / After germination		Колошение (выметывание метелки) / Earing (sweeping out the broom)		После уборки / After harvesting	
0-30	0-100	0-30	0-100	0-30	0-100
34,6	144,3	15,3	65,5	10,2	46,3
НСР ₀₅		2022-6,3; 2023-4,7; 2024-5,8			

На основании анализа динамики подвижных форм макроэлементов (азота, фосфора и калия) было обнаружено, что в начале роста Азиля присутствие нитратного азота в пахотном слое, по сравнению с необогащенным фоном, было выше на 1 и 2 фонах в 3,4 и 5,0 раза соответственно. К фазе выметывания метелки содержание этого элемента у изучаемого сорта существенно снизилось (в 2,5-5,8 раз), но на удобренных вариантах превышало контрольный вариант в 1,9 и 2,2 раза и после уборки – в 1,8 и 2,1 раза. Содержание подвижного фосфора в течение всей вегетации на всех фонах оставалось очень высоким. Содержание подвижного калия у Азиля на всех вариантах во все фазы характеризовалось повышенными значениями (таблица 2).

Таблица 2 – Динамика изменения подвижных форм NPK в слое 0-30 см, мг/100 г почвы (2022-2024 гг.)

Table 2 – Dynamics of changes in mobile NPK forms in the 0-30 cm layer, mg/100 g of soil (2022-2024)

Срок / Term	Фон 0 / Background 0			Фон 1 / Background 1			Фон 2 / Background 2		
	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
После посева / After sowing	4,3	31,5	9,3	14,7	32,1	9,3	21,3	32,2	9,4
Выметывание / Sweeping out	1,7	28,1	10,8	3,3	28,7	11,4	3,7	30,7	12,1
После уборки / After harvesting	1,9	23,4	10,3	3,4	27,0	11,0	4,0	27,5	11,6

НСР₀₅

2022-2,1; 2023-1,3; 2024-1,7

*Фоны: 0 – без удобрений; 1 – N₄₀P₂₀K₄₀ кг/га д.в.; 2 – N₇₀P₃₅K₈₀ кг/га д.в.*Backgrounds: 0 – without fertilizers; 1 – N₄₀P₂₀K₄₀ kg/ha d.v.; 2 – N₇₀P₃₅K₈₀ kg/ha d.v.

Период вегетации Азиля находился в пределах 78-81 дней. В год исследований развитие болезней не имело эпифитотийного характера. Технологические факторы не оказали существенного воздействия на уровень заболеваемости у исследуемого сорта. Полегания овса не отмечено.

Перед уборкой сохранность растений изучаемого сорта составила 84-89 %.

В результате исследования было выявлено, что овёс Азиль, выращенный без применения минеральных удобрений, при различных нормах высева от 4,0 до 6,0 миллионов всхожих семян на гектар давал урожай в среднем 1,77 тонны с гектара. Внесение минеральных удобрений в дозах N₄₀P₂₀K₃₉ кг/га и N₇₂P₃₆K₈₄ кг/га привело к статистически значимому увеличению урожайности на 0,88 и 1,14 тонны с гектара соответственно. Анализ стандартной ошибки разницы средних значений для фактора А показал, что диапазон колебаний составляет от 0,06 до 0,14 тонны с гектара. Это подтверждает достоверность полученных результатов и указывает на стабильность наблюдаемых тенденций.

Увеличение плотности посева с 4,0 до 5,0 миллионов семян на гектар привело к статистически значимому повышению урожайности исследуемого сорта сельскохозяйственной культуры. На фоне без применения удобрений прирост урожайности составил 0,15 тонн на гектар, в условиях внесения удобрений первого уровня – 0,11 тонн на гектар, а

при использовании удобрений второго уровня – 0,27 тонн на гектар. Дальнейшее увеличение плотности посева до 6,0 миллионов семян на гектар продемонстрировало менее выраженные результаты: в условиях внесения удобрений первого уровня прирост урожайности составил лишь 0,15 тонн на гектар, тогда как при использовании удобрений второго уровня наблюдался незначительный прирост в размере 0,08 тонн на гектар.

Использование стимулятора роста оказало слабое влияние на увеличение урожайности. На фоне с естественным плодородием использование препарата повышало её на 0,05 т/га, на 1 фоне – на 0,12 т/га и на 2 – на 0,11 т/га (таблица 3).

Таблица 3 – Урожайность сорта Азиль в зависимости от изучаемых факторов, т/га (2022-2024 гг.)
Table 3 – Yield of the Azil variety depending on the factors studied, t/ha (2022-2024)

Фон минеральных удобрений / Background of mineral fertilizers	Микроудобрение / Micro fertilizers	Норма высева, млн/га / Seeding rate, million/ha			Среднее / Average
		4,0	5,0	6,0	
0	-	1,62	1,83	1,79	1,75
	+	1,73	1,82	1,84	1,80
Среднее / Average		1,68	1,83	1,82	1,77
1	-	2,43	2,59	2,76	2,59
	+	2,63	2,69	2,82	2,71
Среднее / Average		2,53	2,64	2,79	2,65
2	-	2,64	2,93	2,99	2,85
	+	2,78	3,01	3,10	2,96
Среднее / Average		2,71	2,97	3,05	2,91
Общее среднее / General average		2,31	2,48	2,55	2,44
НСП ₀₅ : фактор А / A factor		2022-0,14; 2023-0,06; 2024-0,07			
фактор С / C factor		2022-0,14; 2023-0,06; 2024-0,07			
варианты / variants		2022-0,35; 2023-0,15; 2024-0,18			

*Фоны: 0 – без удобрений; 1 – N₄₀P₂₀K₄₀ кг/га д.в.; 2 – N₇₀P₃₅K₈₀ кг/га д.в.

*Backgrounds: 0 – without fertilizers; 1 – N₄₀P₂₀K₄₀ kg/ha d.v.; 2 – N₇₀P₃₅K₈₀ kg/ha d.v.

Эксперименты показали, что урожайность растений зависела от концентрации подвижных элементов питания в почве. Математические модели этой зависимости выглядят так:

Для нитратного азота (NO₃) – $y = 0,0661x + 1,5081$, коэффициент корреляции R = 0,986.

Для подвижного фосфора (P₂O₅) – $y = 1,5116x - 45,875$, коэффициент корреляции R = 0,995.

Для подвижного калия (K₂O) – $y = 6,8x - 61,07$, коэффициент корреляции R = 0,683.

Анализ выявил сильную прямую связь содержания нитратного азота и подвижного фосфора в почве с урожайностью культуры (R = 0,986 и R = 0,995 соответственно). В то же время зависимость урожайности от содержания подвижного калия оказалась средней (R = 0,683).

Изучаемые варианты не оказали существенного влияния на содержание белка в зерне сорта овса Азиль. В среднем по всем вариантам этот показатель у него, по сравнению с неудобренным фоном, на 1 фоне вырос на 0,1 % и на 2 – на 0,2 %.

Содержание жира у Азиля было высоким и варьировало от 8,7 до 9,4 %. Вместе с тем, величина этого показателя в зависимости от дозы минеральных удобрений, регулятор роста и нормы высева существенных изменений не имела (таблица 4).

Масса 1000 зерен варьировала у Азиля от 24,5 до 26,1 граммов. Наибольший показатель у сорта отмечен при посеве с нормой высева 4,0 млн/га, а наименьший – 6,0 млн/га.

Натура зерна сорта Азиль составляла 611-637 г/л. Она по всем вариантам существенно превышала базисную норму товарного зерна 1 класса (550 г/л).

В ходе исследования агрономических характеристик изучаемого сорта овса ярового выяснилось, что зерно этого сорта отличается высокой однородностью по размеру. Сравнительный анализ выровненности зерна показал, что она остается стабильной при различных уровнях минерального питания и нормах высева. Выровненность зерна сорта Азиль, определяемая по выходу фракции схода с сит 1,5-1,8 мм, колебалась от 76,2 % до 82,9 %.

Таблица 4 – Влияние изучаемых факторов на качество зерна Азиля, % (2022-2024 гг.)
Table 4 – Influence of the studied factors on the quality of Azil grain, % (2022-2024)

Фон минеральных удобрений / Background of mineral fertilizers	Микроудобрение / Micro fertilizers	Белок / Protein				Жир / Fat			
		Норма высева, млн./га / Seeding rate, million/ha			Среднее / Average	Норма высева, млн./га / Seeding rate, million/ha			Среднее / Average
		4,0	5,0	6,0		4,0	5,0	6,0	
0	-	10,5	10,7	11,1	10,8	9,0	8,7	9,1	8,9
	+	10,6	10,8	10,6	10,7	9,4	9,1	8,8	9,1
Среднее / Average		10,6	10,8	10,8	10,7	9,2	8,9	9,0	9,0
1	-	10,3	10,6	10,8	10,6	9,2	9,0	9,4	9,2
	+	11,1	11,1	10,7	11,0	9,2	9,1	8,7	9,0
Среднее / Average		10,7	10,9	10,8	10,8	9,2	9,1	9,1	9,1
2	-	10,8	10,9	10,7	10,8	9,1	8,8	8,7	8,9
	+	11,1	11,0	11,0	11,0	9,2	8,7	8,7	8,9
Среднее / Average		10,9	11,0	10,9	10,9	9,2	8,8	8,7	8,9
HCP ₀₅ : варианты / HCP ₀₅ : options		0,83-0,88				0,70-0,76			

В условиях региона влага является одним из решающих факторов, лимитирующим урожайность. Эффективность использования растениями этого ресурса хорошо отражает коэффициент водопотребления. Изучаемые в опыте факторы оказали на его величину значительное воздействие, особенно минеральные удобрения. Применение минеральных удобрений в дозировках $N_{40}P_{20}K_{40}$ кг/га и $N_{70}P_{35}K_{85}$ кг/га действующего вещества (д.в.) в сравнении с контрольным вариантом без удобрений продемонстрировало значительное снижение водопотребления на производство одной тонны сельскохозяйственной продукции. В частности, при внесении $N_{40}P_{20}K_{40}$ кг/га д.в. водопотребление уменьшилось в среднем на 378 м³, что составляет 33 % от контрольного уровня. Аналогично, при использовании $N_{70}P_{35}K_{85}$ кг/га д.в. данный показатель снизился на 448 м³, или на 39 %. Эти результаты свидетельствуют о высокой эффективности минеральных удобрений в оптимизации водного баланса сельскохозяйственных культур, что является важным фактором в контексте устойчивого земледелия и рационального использования водных ресурсов.

Посев с наибольшей нормой высева и использование стимулятора роста тоже повышали отдачу от использованной посевами влаги. Минимальный коэффициент водопотребления (649) отмечен на 2 фоне удобрения на варианте, где использовали норму высева 6,0 млн/га и применяли Нормат Л (таблица 5).

Таблица 5 – Влияние уровней минерального питания и нормы высева на потребление воды сортом Азиль, м³/т (2022-2024 гг.)Table 5 – Influence of mineral nutrition levels and seeding rates on water consumption by Azil variety, m³/t (2022-2024)

Фон минеральных удобрений / Background of mineral fertilizers	Микроудобрение / Micro fertilizers	Норма высева, млн./га / Seeding rate, million/ha			Среднее / Average
		4,0	5,0	6,0	
0	-	1243	1100	1125	1156
	+	1164	1106	1094	1121
Среднее / Average		1204	1103	1110	1139
1	-	828	777	729	778
	+	765	748	714	742
Среднее / Average		797	763	722	761
2	-	763	687	673	708
	+	724	669	649	681
Среднее / Average		744	678	661	694
Общее среднее / General average		915	848	831	865
HCP ₀₅		2022-39; 2023-58; 2024-47			

*Фоны: 0 – без удобрений; 1 – $N_{40}P_{20}K_{40}$ кг/га д.в.; 2 – $N_{70}P_{35}K_{85}$ кг/га д.в.

*Backgrounds: 0 – without fertilizers; 1 – $N_{40}P_{20}K_{40}$ kg/ha D.V.; 2 – $N_{70}P_{35}K_{85}$ kg/ha D.V.

В современной экономике, где конкуренция высока, а ресурсы ограничены, оптимизация производства становится ключевой задачей. Одним из главных аспектов этой оптимизации является определение рентабельности использования минеральных удобрений. Это позволяет значительно повысить экономическую эффективность сельского хозяйства. Экспериментальные данные показали, что сорт Азиль наиболее рентабелен при норме высева 6,0 млн и внесении минеральных удобрений в дозе $N_{40}P_{20}K_{40}$ д.в. на гектар. Применение стимулятора роста вместе с этими удобрениями увеличивает рентабельность до 9,8 единиц, что делает эту агротехнологическую схему экономически выгодной. В среднем этот показатель на первом фоне был на 43 % выше, чем на втором. Исследование подчеркивает важность комплексного подхода к управлению производством. Это включает агрохимические и биологические методы, которые не только повышают урожайность, но и улучшают экономические показатели. Такой подход особенно важен в условиях растущей конкуренции на аграрном рынке (таблица 6).

Таблица 6 – Окупаемость минеральных удобрений в зависимости от фона удобрения Азиля, 2022-2024 гг.

Table 6 – Payback of mineral fertilizers depending on the background of Azil fertilizer, 2022-2024

Фон минеральных удобрений / Background of mineral fertilizers	Микроудобрение / Micro fertilizers	Норма высева, млн./га / Seeding rate, million/ha	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Прибавка урожая, т/га / Increase in yield, t/ha	Окупаемость минеральных удобрений дополнительным урожаем зерна, кг/кг д. в. / The payback of mineral fertilizers by additional grain yield, kg/kg d. v.
1	-	4,0	2,43	0,81	8,1
		5,0	2,59	0,76	7,6
		6,0	2,76	0,97	9,7
Среднее / Average			2,59	0,85	8,5
	+	4,0	2,63	0,90	9,0
		5,0	2,69	0,87	8,7
		6,0	2,82	0,98	9,8
Среднее / Average			2,71	0,92	9,2
Среднее по фону / Background average			2,65	0,89	8,9
2	-	4,0	2,64	1,02	5,5
		5,0	2,93	1,10	5,9
		6,0	2,99	1,20	6,5
Среднее / Average			2,85	1,11	6,0
	+	4,0	2,78	1,05	5,7
		5,0	3,01	1,19	6,4
		6,0	3,10	1,26	6,8
Среднее / Average			2,96	1,17	6,3
Среднее по фону / Background average				1,14	6,2

Многими учеными доказано, что на формирование уровня урожайности и использования потенциала современных сортов сельскохозяйственных культур удобрение оказывает одно из наиболее сильных влияний (8,12). Немаловажное значение при этом имеют плотность стояния растений и листовые подкормки (14,16).

Нами изучалась отзывчивость нового сорта голозерного овса Азиль на минеральное удобрение, норму высева и подкормку в период вегетации стимулятором роста.

В нашем эксперименте Азиль проявил себя, как очень отзывчивый сорт на дополнительное минеральное питание в условиях недостаточной влагообеспеченности посевов в регионе. Установлено, что прибавка урожайности от внесения минеральных удобрений достигала 1,26 т/га. При этом коэффициент водопотребления был минимальным (649). Наилучший результат получен при использовании нормы высева 6,0 млн/га и листовой подкормке препаратом Нормат Л.

Заключение. Несмотря на снижение полевой всхожести при повышении нормы высева, оптимальные показатели плотности растений после всходов и перед сбором урожая (453-479 и 400-421 шт./м² соответственно) были достигнуты при посеве с нормой высева 6,0 млн шт./га на удобренных вариантах. Дозы минеральных удобрений $N_{40}P_{20}K_{40}$ и $N_{70}P_{35}K_{80}$ в начале вегетации

повышали содержание нитратного азота в почве в сравнении с контролем в 3,4-5,0 раз. Прибавка урожайности на 1 фоне минеральных удобрений составила 0,88 т/га и 2 фоне – 1,14 т/га. На формирование 1 т зерна на фонах с удобрением тратилось на 378-448 м³ воды меньше, чем на делянках без удобрений.

В условиях лесостепи Ульяновской области на выщелоченных тяжелых черноземах сорт ярового овса Азиль следует сеять с нормой высева 6,0 млн/га на фоне средней дозы минеральных удобрений (N₄₀P₂₀K₂₀₋₄₀), в период вегетации (кущение-трубкавание) целесообразно использовать стимулятор роста. В среднем за 3 года оптимальный вариант обеспечил формирование урожайности 2,82 т/га при окупаемости действующего вещества минеральных удобрений 9,8 кг/кг д.в.

Conclusion. Despite the decrease in field germination with an increase in the seeding rate, optimal plant density after germination and before harvest (453-479 and 400-421 pcs/m², respectively) were achieved when sowing with a seeding rate of 6.0 million pcs/ha on fertilized varieties. Doses of mineral fertilizers N₄₀P₂₀K₄₀ and N₇₀P₃₅K₈₀ at the beginning of the growing season increased the nitrate nitrogen content in the soil by 3.4-5.0 times in comparison with the control. The increase in yield on the 1st background of mineral fertilizers was 0.88 t/ha and on the 2nd background – 1.14 t/ha. 378-448 m³ less was spent on the formation of 1 ton of grain on backgrounds with fertilizer than on plots without fertilizers.

In the conditions of the forest-steppe of the Ulyanovsk region, on leached heavy black soils, the Azil spring oat variety should be sown with a seeding rate of 6.0 million/ha against the background of an average dose of mineral fertilizers (N₄₀P₂₀K₂₀₋₄₀), during the growing season (tillering-tubing), it is advisable to use a growth stimulator. On average, over 3 years, the optimal option ensured the formation of a yield of 2.82 t/ha with a payback of the active ingredient of mineral fertilizers of 9.8 kg/kg.

Библиографический список

1. Лоскутов И. Г., Блинова Е. В., Гнутиков А. А. Коллекция генетических ресурсов овса ВИР как источник информации по истории возделывания, систематике рода и направлениям селекции культуры (обзор). Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023. Т. 184. № 1. С. 225-238.
2. Kour M., Dwivedi M. C., Rahimzai A. A., et al. Productivity and profitability of fodder oat (*Avena sativa* L.) as affected by integrated nutrient management: A review. Journal of Experimental Agriculture International. 2024. Vol. 46. No. 6. Pp. 120-130.
3. Воложанина Е. Н., Баталова Г. А. Оценка адаптивности ярового пленчатого овса по урожайности и качеству зерна в условиях Кировской области. Российская сельскохозяйственная наука. 2023. № 4. С. 8-12.
4. Емелева Н. В., Баталова Г. А. Влияние метеорологических факторов на формирование урожайности голозерного овса в Кировской области. Российская сельскохозяйственная наука. 2023. № 1. С. 25-29.
5. Шаболкина Е. Н., Шевченко С. Н., Анисимкина Н. В. Результаты изучения биохимических свойств зерна овса голозерного и физических свойств теста смесей с пшеничной мукой. Зерновое хозяйство России. 2021. № 4 (76). С. 61-65.
6. Любимова А. В., Еремин Д. И. Формирование биохимических показателей зерна овса в зависимости от генотипа и погодных условий. Российская сельскохозяйственная наука. 2024. № 2. С. 24-29.
7. Qianhu Ma et al. Adjusting sowing window to mitigate climate warming effects on forage oats production on the Tibetan Plateau. Agricultural Water Management. 2024. № 293 (4). 101812.
8. Полонский В. И., Герасимов С. А., Сумина А. В. Адаптивность образцов овса по величине урожая и содержанию белка в зерне в условиях Восточной Сибири. Зернобобовые и крупяные культуры. 2022. № 2 (42). С. 119-126.
9. Постников П. А., Попова В. В., Васина О. В., Овчинников П. Ю. Влияние метеорологических показателей на урожайность овса в севооборотах. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Том 19. № 2 (74). С. 18-24.
10. Никитин С. Н. и др. Адаптивно-ландшафтная система земледелия Ульяновской области. Ульяновск: УлГТУ, 2024. 145 с.
11. Журавлев Д. Ю., Ярошенко Т. М., Климова Н. Ф. Роль минеральных удобрений в повышении продуктивности овса (*avena sativa* L.) при изменяющихся климатических условиях степного Поволжья. Аграрный научный журнал. 2022. № 10. С. 39-45.
12. Мерзлая Г. Е., Федулова А. Д., Гаврилова А. Ю. Влияние длительного применения систем удобрения разной интенсивности на урожайность и качество зерна овса. Агрохимия. 2022. № 8. С. 3-9.
13. Артемьев А. А., Гурьянов А. М., Хвостов Е. Н. Урожайность овса при разных приемах обработки почвы и уровнях минерального питания. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 3 (63). С. 6-12.
14. Усанова З. И., Булюкин Е. С. Продуктивность голозерного овса при возделывании по разным технологиям с применением некорневых подкормок. Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 6. С. 21-25.
15. Бутковская Л. К., Мудрова В. Е., Поляков А. О. Биоэнергетическая оценка возделывания сортов ярового ячменя и овса в зависимости от норм высева семян в условиях Красноярской лесостепи. Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16. № 3. С. 78-84.
16. Баташева Б. А., Муслимов М. Г., Ахадова Э. Т. Оптимизация технологии возделывания овса в условиях южного Дагестана. Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2022. № 3. С. 26-30.
17. Фомина М. Н., Брагин Н. А., Белоусов С. А. Влияние агротехнических приемов на формирование качества зерна у сортов овса в условиях северного Зауралья. Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 11. С. 31-36.

References

1. Loskutov I. G., Blinova E. V., Gnutikov A. A. Collection of genetic resources of VIR oats as a source of information on the history of cultivation, taxonomy of the genus and directions of crop breeding (review). Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2023. Vol. 184. No 1. Pp. 225-238.
2. Kour M., Dwivedi M. C., Rahimzai A. A., et al. Productivity and profitability of fodder oat (*Avena sativa* L.) as affected by integrated nutrient management: A review. Journal of Experimental Agriculture International. 2024. Vol. 46. No. 6. Pp. 120-130.
3. Vologzhanina E. N., Batalova G. A. Assessment of the adaptivity of spring captive oats in terms of yield and grain quality in the Kirov region. Russian agricultural science. 2023. No 4. Pp. 8-12.
4. Emeleva N. V., Batalova G. A. The influence of meteorological factors on the formation of productivity of bare oats in the Kirov region. Russian Agricultural Science. 2023. No 1. Pp. 25-29.
5. Shabolkina E. N., Shevchenko S. N., Anisimkina N. V. Results of studying the biochemical properties of bare oat grain and the physical properties of dough mixtures with wheat flour. Grain industry of Russia. 2021. No 4 (76). Pp. 61-65.
6. Lyubimova A. V., Eremin D. I. Formation of biochemical indicators of oat grain depending on genotype and weather conditions. Russian agricultural Science. 2024. No 2. Pp. 24-29.
7. Qianhu Ma et al. Adjusting sowing window to mitigate climate warming effects on forage oats production on the Tibetan Plateau. Agricultural Water Management. 2024. № 293 (4). 101812.
8. Polonsky V. I., Gerasimov S. A., Sumina A. V. Adaptivity of oat samples in terms of yield and protein content in grain in conditions of Eastern Siberia. Leguminous and cereal crops. 2022. № 2 (42). Pp. 119-126.
9. Postnikov P. A., Popova V. V., Vasina O. V., Ovchinnikov P. Yu. The influence of meteorological indicators on the yield of oats in crop rotations. Bulletin of Kazan State Agrarian University. 2024. V. 19. No 2 (74). Pp. 18-24.
10. Nikitin S. N. et al. Adaptive landscape farming system of the Ulyanovsk region. Ulyanovsk: UISTU, 2024. 145 p.
11. Zhuravlev D. Yu., Yaroshenko T. M., Klimova N. F. The role of mineral fertilizers in increasing the productivity of oats (*avena sativa* L.) under changing climatic conditions of the steppe Volga region. Agrarian Scientific Journal. 2022. № 10. Pp. 39-45.
12. Merzlaya G. E., Fedulova A. D., Gavrilova A. Yu. The effect of prolonged use of fertilizer systems of varying intensity on the yield and quality of oat grain. Agrarian chemistry. 2022. No 8. Pp. 3-9.
13. Artemyev A. A., Guryanov A. M., Khvostov E. N. Productivity of oats at different methods of tillage and levels of mineral nutrition. Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2023. No 3 (63). Pp. 6-12.
14. Usanova Z. I., Bulyukin E. S. Productivity of bare-grain oats when cultivated using various technologies using non-root forages. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2018. V. 32. No 6. Pp. 21-25.
15. Butkovskaya L. K., Mudrova V. E., Polyakov A. O. Bio-energetic assessment of cultivation of spring barley and oat varieties depending on seed sowing rates in the conditions of the Krasnoyarsk forest-steppe. Grain industry of Russia. 2024. V. 16. No 3. Pp. 78-84.
16. Batasheva B. A., Muslimov M. G., Akhadova E. T. Optimization of oat cultivation technology in southern Dagestan. Bulletin of Russian Agricultural Science. 2022. No 3. Pp. 26-30.
17. Fomina M. N., Bragin N. A., Belousov S. A. The influence of agrarian techniques on the formation of grain quality in oat varieties in the conditions of the northern Urals. Achievements of science and technology of the agroindustrial complex. 2021. V. 35. No 11. Pp. 31-36.

Информация об авторе

Власов Валерий Геннадьевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н. С. Немцева (Российская Федерация, Ульяновская область, п. Тимирязевский), e-mail: vlasval11@rambler.ru

Author's Information

Vlasov Valery Gennadievich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ulyanovsk Scientific Research Institute of Agriculture named after N. S. Nemtsev (Russian Federation, Ulyanovsk Region, Timiryazevsky settlement), e-mail: vlasval11@rambler.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-11

THE ANALYSIS OF THE MODERN EDUCATIONAL TECHNOLOGIES AIMED AT THE COMBATING WATER POLLUTION AND MARKET OVERVIEW OF DEMAND USING EXPERT ASSESSMENTS AND IN-DEPTH INTERVIEWS

^{1,2}**Glazunova I. V., ¹Yashin V. M.**

¹*Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov*

²*Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev
Moscow, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: ivglazunova@mail.ru

Received 22.09.2025

Submitted 16.12.2025

Abstract

Introduction. In the modern world, in the context of the growing intensity of anthropogenic pressure on water resources, water shortages, and the need to develop the cognitive functions of the general public in the formation of water conservation knowledge and skills, the research of the market of educational and educational programs is relevant. **Object.** The object of research is the market of educational programs in the

field of water conservation aimed at increasing environmental education to reduce pollution of the water catchment area and the waters of the Kazanka River in Tatarstan. **Materials and methods.** Expert surveys and statistical calculations of expert assessments on the effectiveness of water conservation measures in river catchments and measures to increase the purifying capacity of water bodies and their restoration (using the example of the Kazanka River) were conducted. An analysis of the market of existing educational programs and projects in the field of educational services in the field of water use and water conservation measures was performed. An in-depth interview survey was conducted to assess the demand for educational programs. **Results and conclusions.** A review and analysis of 28 different educational programs, projects, courses, clubs, and associations that address the issue of reducing water pollution to some extent have been conducted, and assessments have been made, as well as a diagram of the share of participation (%) of various environmental education and awareness-raising content in shaping public environmental education in the current period. The most significant contribution in this regard is made by additional education programs in schools, which account for 39 %. Based on the results of the expert survey, generalized tables of expert assessments of the effectiveness of methods for the protection and restoration of water bodies used for reclamation purposes and the recommended conditions for their application, as well as the results of expert assessments of the effectiveness of methods for preventing water pollution from runoff from reclaimed lands and rural areas, have been compiled. The results of the expert assessments have been statistically processed in accordance with existing methods. The most important factors in the expert assessment of measures to reduce water pollution in rivers are the measures to clean and condition drainage runoff from reclamation systems and methods to increase the self-purification capacity of water bodies. During the research, the program of additional professional education "Water protection measures to reduce pollution of small rivers" was developed. To study the demand for this educational program, an in-depth interview was conducted with specialists working in this field and the population of the Kazanka River basin, which allowed us to identify the interest in improving knowledge in the field of monitoring the state of the river basin and water protection measures.

Keywords: *educational technologies, water pollution control, environmental education, reclamation water use, expert assessments, in-depth interviews, water conservation measures, environmental monitoring.*

Citation. Glazunova I. V., Yashin V. M. The analysis of the modern educational technologies aimed at the combating water pollution and market overview of demand using expert assessments and in-depth interviews. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 103-112 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-11.

Authors' contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this article have read and approved the final version presented.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 37.013+502/504+631.6.02

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА БОРЬБУ С ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ, И ОБЗОР РЫНКА СПРОСА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК И ГЛУБИННОГО ИНТЕРВЬЮ

^{1,2}Глазунова И. В., кандидат технических наук, доцент

¹Яшин В. М., кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

¹ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова»

²ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»
г. Москва, Российская Федерация

Актуальность. В современном мире в условиях нарастающей интенсивности антропогенной нагрузки на водные ресурсы, дефицита воды и потребности в развитии когнитивных функций широкой общественности при формировании водоохранных знаний и навыков выполнены исследования рынка образовательных просветительских программ являются актуальными. **Объект.** Объектом исследований является рынок образовательных программ в области охраны водных ресурсов направленных на повышение экообразования для снижения загрязнения водосбора и вод реки Казанки в Татарстане. **Материалы и методы.** Проводились опросы экспертов и статистические расчеты экспертных оценок по эффективности водоохранных мероприятий на водосборах рек и мероприятий по повышению очищающей способности водных объектов и их восстановлению (на примере реки Казанки). Выполнен анализ рынка имеющихся образовательных программ и проектов в области образовательных услуг в области водопользования и водоохранных мероприятий. Проведен опрос в форме глубинного интервью для оценки спроса на образовательные программы. **Результаты и выводы.** Выполнен обзор и анализ 28 различных образовательных программ, проектов, курсов, кружков и объединений, в которых рассматриваются в той или иной степени вопросы снижения загрязнения водных объектов, выполнены оценки и составлена диаграмма долевого участия (%) различных эколого-образовательных просветительских контентов в формировании экообразования об-

щественности в современный период. Наибольший вес в этом вопросе (39 %) играют программы дополнительного образования в школах. По результатам экспертного вопроса составлены обобщенные таблицы экспертных оценок эффективности методов охраны и восстановления водных объектов, используемых для мелиоративных целей и рекомендуемых условий их применения, а также результаты экспертных оценок эффективности методов предупреждения загрязнения водных ресурсов стоками с мелиорируемых земель и сельских территорий. Выполнена статистическая обработка результатов экспертных оценок в соответствии с имеющимися методиками. Наибольшие весовые коэффициенты при экспертной оценке мероприятий по снижению загрязнения водных ресурсов реки имеют мероприятия по очистке и кондиционированию дренажного стока с мелиоративных систем и методы повышения самоочищающей способности водных объектов. В ходе исследований разработана программа ДПО «Водоохранные мероприятия для снижения загрязнения малых рек». Для изучения спроса на данную образовательную программу проведено глубинное интервью со специалистами, работающими в данной области и населением речного бассейна реки Казанка, что позволило выявить заинтересованность в повышении уровня знаний в области мониторинга состояния речного бассейна и водоохраных мероприятиях.

Ключевые слова: образовательные технологии, борьба с загрязнением водных ресурсов, экологическое образование, мелиоративное водопользование, экспертные оценки, глубинное интервью, водоохраные мероприятия, экомониторинг.

Цитирование. Глазунова И. В., Яшин В. М. Анализ современных образовательных технологий, направленных на борьбу с загрязнением водных ресурсов, и обзор рынка спроса с применением экспертных оценок и глубинного интервью. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 103-112. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-11.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В докладе Всемирной метеорологической организации (ВМО) говорится о растущих дефицитах воды и нехватке водных ресурсов в глобальном масштабе уже в настоящее время. За последние пять лет наблюдается снижение речного стока и изменение притока воды в водохранилища (State of Global Water Resources 2022¹⁵). По данным ВМО 2023 год стал самым засушливым годом для рек по всему миру за последние три десятилетия. Уже в настоящее время 3,6 миллиарда человек испытывают недостаточный доступ к воде. Ожидается, что к 2050 году эта цифра увеличится до более чем 5 миллиардов человек [1]. В России, по данным экспертов, санитарным нормативам не соответствует от 35 % до 60 % питьевой воды, порядка 40 % поверхностных и 17 % подземных вод. Наблюдается деградация малых рек: их заиление, загрязнение, засорение, обрушение берегов [1, 2, 3, 4].

Кроме того, в настоящее время актуальным является развитие когнитивных навыков и знаний для формирования экологического самосознания, в том числе, в области использования и охраны водных ресурсов, так как они включают в себя экологическое мышление, экологическую память, экологическое внимание и экологическую волю и помогают формировать ответственное отношение к природе, что способствует решению экологических проблем при использовании водных ресурсов. Это особенно актуально для водопользования в области мелиораций, как одного из главных потребителей воды в мире [5, 6].

В связи с этим актуальность и значимость экологического образования в области охраны водных ресурсов в современный период при росте интенсивности антропогенной нагрузки на все природные среды трудно переоценить. Экологическое образование в области охраны водных ресурсов призвано сформировать экологическую культуру, самосознание людей, новый менталитет водопользования.

Экологическое образование в области охраны водных ресурсов направлено на информирование общественности о важности сохранения водных ресурсов, на знание водосберегающих практик и наилучших доступных технологий в водопользовании. Оно помогает распространить знания об оптимизации водопотребления, рациональном использовании водных ресурсов в сельском хозяйстве на мелиорированных землях, о мерах восстановления водных объектов и экосистем.

¹⁵ 1. State of Global Water Resources 2022 <https://wmo.int/publication-series/state-of-global-water-resources-2022> (дата посещения 23.05.2025)

Очень важным является вовлечение местных сообществ людей и организаций в процесс сохранения водных ресурсов. Это позволяет повысить эффективность водоохраных мероприятий за счет объединения усилий, обеспечить профилактику загрязнения вод, повысить качество мониторинга и контроль качества водных ресурсов, своевременно выявлять источники загрязнения и принимать меры по их устранению.

Экологические образовательные технологии опосредованно влияют на поддержку научных исследований и инноваций, инвестиции в научные исследования и разработку инновационных технологий в области водопользования, позволяют находить новые эффективные методы сохранения воды, а также улучшать существующие подходы и практики в сохранении водных ресурсов, что важно для устойчивого развития и экологической безопасности земледелия на мелиорированных землях.

Материалы и методы. Для оценки популярности экологического образования в области охраны водных ресурсов и насыщения рынка различными образовательными технологиями был выполнен обзор современных образовательных технологий (программ и проектов), направленных на борьбу с загрязнением водных ресурсов и перспектив развития эколого-просветительских проектов в области водопользования для целей агропромышленного комплекса и мелиорации и их анализ в соответствии с современными требованиями и методическими документами [7-10].

По результатам обзора и анализа все рассмотренные эколого-образовательные программы и проекты были расклассифицированы по следующим критериям: возрастная группа, на которую рассчитаны программы и проекты; программы общеобразовательные и дополнительного образования, в том числе повышения квалификации и переподготовки; постояннодействующие сайты с возможностью обучения самостоятельно и др.

Выполнен обзор и анализ 28 различных образовательных программ, проектов, курсов, кружков и объединений, в которых рассматриваются в той или иной степени вопросы снижения загрязнения водных объектов. Для наглядности восприятия составлена структурная таблица имеющихся образовательно-воспитательных ресурсов и структурная диаграмма, характеризующая их назначение, объем, приоритетную направленность, стоимость, доступность и т.д.

На рисунке 1 представлена диаграмма долевого участия в процентах различных эколого-образовательных просветительских программ в открытом доступе интернета и образовательных просветительских программ в области использования и охраны водных ресурсов или имеющих в своем составе модули, посвященные экологии водных ресурсов.



Рисунок 1 – Диаграмма долевого участия (%) различных эколого-образовательных просветительских контентов в открытом доступе интернета (Расшифровка сокращений на диаграмме:

ДПО – дополнительное профессиональное образование, повышение квалификации;

ФГОС – федеральный государственный образовательный стандарт;

ДП школ – дополнительные программы образования в школах)

Figure 1 – Diagram of the share of participation (%) of various environmental and educational content in the open access of the Internet (Decoding of the crushes on the diagram:

APE – additional professional education, advanced training; FSES – federal state educational standard;

AE schools – additional education programs in schools)

Для выявления эффективности методов охраны и восстановления водных объектов, а также диапазона их применимости (Методические рекомендации для руководителей образовательных организаций – № 073-03-2022-130/2¹⁶) были разработаны формы опросных таблиц для экспертов и проведен опрос 23 экспертов из 8 организаций: ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева; Казанский федеральный университет; ГПБУ «Мосприрода»; Дирекция департамента озеленения г. Москвы; ГУП Мосводосток; АО Мосводоканал; Московско-Окское водное бассейновое управление; ФАВР. Опрос экспертов осуществлялся в течение 2 месяцев в весенний период 2024 года. (Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024623419 РФ – 06.08.2024¹⁷). Пример динамики активности экспертов приведен на рисунке 2.

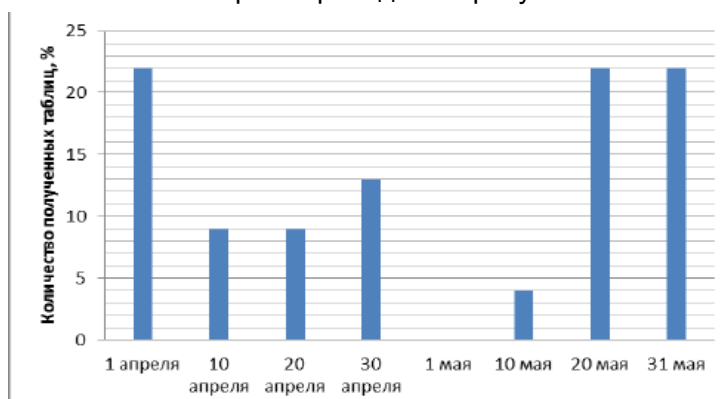


Рисунок 2 – Динамика активности экспертов
Figure 2 – Dynamics of expert's activity

По результатам экспертного опроса составлены обобщенные таблицы экспертных оценок эффективности методов охраны и восстановления водных объектов, используемых для мелиоративных целей и рекомендуемых условий их применения, а также результаты экспертных оценок эффективности методов предупреждения загрязнения водных ресурсов стоками с мелиорируемых земель и сельских территорий (Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025621366 РФ – опубл. 26.03.2025¹⁸). Выполнена статистическая обработка результатов экспертных оценок в соответствии с имеющимися методиками [11,12]. Было рассмотрено пять водоохранных мероприятий и шесть методов восстановления водных ресурсов, загрязненных стоками с мелиорированных земель [13-16]. Если рассматривать оценки экспертов некоторой случайной величиной, то к ним можно применять методы математической статистики. Среднее значение оценки для i -го критерия соответственно по земельным и водным ресурсам оценивалось по зависимости:

$$\bar{r}_i = \frac{\sum_{j=1}^L r_{ji}}{L} = \frac{1}{L} \cdot \sum_{j=1}^L r_{ji} = \frac{r_i}{L} = 5,44 \text{ и } 4,9 \quad (1)$$

Среднее значение $\bar{r}_i$ выражает суммарные оценки экспертов. Степень согласованности оценок экспертов характеризуется величиной:

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L (r_{ji} - \bar{r}_i)^2, \quad (2)$$

называемой дисперсией оценок. Ясно, что чем меньше значение дисперсии, тем с большей уверенностью можно опираться на найденные значения $\bar{r}_i$ оценки степени важности частного критерия $F_i(X)$.

¹⁶ Методические рекомендации для руководителей образовательных организаций по реализации экологического образования с целью формирования экологической культуры обучающихся, разработанных в рамках выполнения государственного задания № 073-03-2022-130/2 «Разработка модели экологической культуры в интересах устойчивого развития России и ее апробация в сфере общего образования» (2022 г.).

¹⁷ Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024623419 Российская Федерация. «Локальные мелиоративные мероприятия и сооружения на водосборах рек и их влияние на земельные и водные ресурсы»: № 2024622953: заявл. 09.07.2024: опубл. 06.08.2024 / И. В. Глазунова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева».

¹⁸ 21. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025621366 Российская Федерация. «Мониторинг качества воды в реках с применением ГИС карт»: заявл. 14.03.2025: опубл. 26.03.2025 / И. В. Глазунова, С. А. Соколова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева».

В качестве меры надёжности приведённой оценки принимают $\beta = \frac{\sigma_i}{r_i}$ и называют вариацией. По среднему значению оценки $\bar{r}_i$ определяют весовые коэффициенты:

$$\lambda_i = \frac{\bar{r}_i}{\sum_{i=1}^m \bar{r}_i}, \quad i = \overline{1, m}. \quad (3)$$

Результаты статистической обработки результатов оценок методов и мероприятий с учетом их эффективности приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Результаты статистической обработки экспертных оценок мероприятий по снижению загрязнения водосбора реки

Table 1 – Results of statistical processing of expert assessments of measures to reduce pollution of the river catchment area

Наименование природоохранного мероприятия / Name of the environmental protection measure	Дисперсия оценок σ_i^2 / The variance of the estimates of σ_i^2	Вариация β_i / Variation of β_i	Весовые коэффициенты λ_i / Weight coefficients λ_i
Использование сорбционных материалов для иммобилизации ЗВ / The use of sorption materials for the immobilization of the river catchment area	3,74	3,35	0,205
Фитомелиорация на мелиоративных системах / Phytomelioration on land reclamation systems	3,75	3,98	0,173
Агротехнические противоэрозионные мероприятия / Agro-technical anti-erosion measures	5,56	5,19	0,18
Агрохимические приемы снижения поступления ЗВ в реку / Agrochemical techniques for reducing the flow of hydrocarbons into the river	5,5	5,13	0,22
Методы и сооружения мелиоративной гидротехники / Methods and structures of reclamation hydraulic engineering	3,59	3,81	0,196
Σ	–	–	1

Результаты. Как видно из таблицы 1, мероприятия и сооружения по снижению загрязнения, поступающего с территории мелиоративной системы, имеют примерно одинаковые весовые коэффициенты и одинаковую значимость. В таблице 2 наибольшие весовые коэффициенты при экспертной оценке мероприятий по снижению загрязнения водных ресурсов реки имеют мероприятия по очистке и кондиционированию дренажного стока с мелиоративных систем и методы повышения самоочищающей способности водных объектов [17-20].

В ходе исследований авторами была разработана дополнительная образовательная программа «Водоохранные мероприятия для снижения загрязнения малых рек».

Таблица 2 – Результаты статистической обработки экспертных оценок мероприятий по снижению загрязнения водных ресурсов

Table 2 – Results of statistical processing of expert assessments of measures to reduce water pollution

Наименование мероприятия / Name of the event	Дисперсия оценок σ_i^2 / The variance of the estimates of σ_i^2	Вариация β_i / Variation of β_i	Весовые коэффициенты λ_i / Weight coefficients λ_i
1	2	3	4
Устройство локальных сооружений по очистке дренажного стока / Installation of local drainage water treatment facilities	3,64	0,74	0,222
Применение биоинженерных сооружений (БИС) для очистки и доочистки дренажно-сбросных вод оросительных систем, животноводческих и коммунально-бытовых стоков / The use of bio-engineering facilities (BEF) for the purification and post-treatment of drainage and waste water from irrigation systems, livestock and municipal wastewater	3,64	0,74	0,19

Окончание таблицы 2

1	2	3	4
Методы и технологии по обессоливанию и деминерализации дренажно-сбросных вод на базе ионно-обменных смол и сорбции / Methods and technologies for desalination and demineralization of drainage and waste waters based on ion exchange resins and sorption	2,86	0,58	0,23
Дополнительная очистка поверхностного стока / Additional cleaning of surface runoff	2,17	0,44	0,09
Специальные емкости для накопления дренажного стока и дождевой воды / Special storage tanks for drainage runoff and rainwater	3,59	0,73	0,15
Методы, способствующие повышению самоочищающей способности реки / Methods that enhance the self-cleaning ability of the river	2,84	0,579	0,118
Σ	–	–	1

Для изучения спроса на данную образовательную программу проведено глубинное интервью со специалистами, работающими в данной области и населением речного бассейна реки Казанка, что позволило выявить заинтересованность в повышении уровня знаний в области мониторинга состояния речного бассейна и водоохранных мероприятиях. Интервью проведено с помощью Yandex Forms, содержащих вопросы, одна из форм приведена на рисунке 2. Для контакта с населением и экологическими организациями речного бассейна реки Казанка в ноябре 2024 г. было создано сообщество в ВК «Чистая вода реки Казанка», в котором состоит 64 подписчика. Там размещается информация о правилах поведения в водоохранных зонах и водоохранных мероприятиях, в дальнейшем возможно проведение волонтерских акций.



Рисунок 3 – Пример результатов проведения глубинного интервью по степени важности образовательных эко-программ по охране водных ресурсов для пользователей
Figure 3 – The example of the results of an in-depth interview on the importance of educational eco-programs for the protection of water resources for users

Как видно из результатов проведения глубинного интервью, есть заинтересованность слушателей в участии в ДПО направленности «Водоохранные мероприятия для снижения загрязнения малых рек», и как видно на одном из приведенных примеров больше всего потенциальных слушателей интересует содержательная часть программ ДПО и актуальность рассматриваемых в ДПО вопросов по водопользованию и охране водных ресурсов.

Обсуждение. В настоящее время государство и работодатели активно поддерживают развитие системы дополнительного образования, включая программы в рамках национальных проектов, грантовую поддержку и корпоративное обучение. Это подтверждает признание важности непрерывного обновления знаний как ключевого фактора национального развития и экономической устойчивости.

Современная система подготовки специалистов немыслима без дополнительного профессионального образования, являющегося неотъемлемой частью непрерывного обучения. В условиях динамично меняющегося рынка труда, технологического прогресса, цифровизации, постоянно обновляющегося законодательства и возрастающей конкуренции именно дополнительное образование предоставляет возможность адаптироваться к новым профессиональным и социальным условиям.

Экологическое просвещение населения играет важнейшую роль в оптимизации систем контроля водных объектов, особенно при использовании передовых технологий, таких как нейросетевые алгоритмы и автоматизированные сенсорные сети. Значимость этого аспекта определяется следующими факторами:

1. *Углубление понимания проблем загрязнения водных ресурсов.* Граждане, обладающие базовыми экологическими знаниями, более эффективно обнаруживают и регистрируют признаки загрязнения (например, изменение цвета воды, наличие пены или масляной пленки).

2. *Развитие гражданской науки и краудсорсинговых данных.* Привлечение населения к программам общественного мониторинга (например, через мобильные приложения типа «Экопатруль» или «RiverWatch») расширяет географию наблюдений и увеличивает объем данных для анализа. Алгоритмы нейронных сетей, обученные на больших наборах данных, собранных гражданами, повышают точность прогнозирования загрязнения и обнаружения аномалий.

3. *Снижение антропогенной нагрузки на водные объекты.* Экологически образованные граждане реже совершают нарушения.

Осознанное потребление воды и участие в экологических мероприятиях (контроль состояния водосборов, уборка водоохранных зон и берегов, установка очистных сооружений) снижают нагрузку на водные экосистемы:

1. Поддержка обратной связи между населением и контролирующими органами. Граждане, обученные основам экологического мониторинга, могут оперативно сообщать о нарушениях через специализированные платформы (например, «Наш город» или «Интерактивная карта загрязнений»), что ускоряет реагирование надзорных органов.

2. Вовлечение в цифровые технологии мониторинга. Обучение пользователей работе с устройствами IoT (например, портативными датчиками качества воды) и мобильными приложениями расширяет возможности распределенного мониторинга.

3. Геймифицированные системы (например, квесты по очистке водоемов с начислением баллов за достоверные данные) стимулируют участие граждан в сборе информации.

Экологическое образование населения не только повышает уровень знаний в области охраны водных ресурсов, но и напрямую влияет на качество и необходимость мониторинга для управления качеством воды. Внедрение образовательных программ в сочетании с цифровыми технологиями позволит создать устойчивую систему общественного и государственного контроля за состоянием водных объектов.

Заключение. Выполнен обзор и анализ 28 различных образовательных программ, проектов, курсов, кружков и объединений, в которых рассматриваются в той или иной степени вопросы снижения загрязнения водных объектов, выполнены оценки и составлена диаграмма долевого участия (%) различных эколого-образовательных просветительских контентов в формировании экообразования общественности в современный период. Наибольший вес в этом вопросе 39 % играют программы дополнительного образования в школах. По результатам экспертного опроса составлены обобщенные таблицы экспертных оценок эффективности методов охраны и восстановления водных объектов, используемых для мелиоративных целей и рекомендуемых условий их применения, а также результаты экспертных оценок эффективности методов предупреждения загрязнения водных ресурсов стоками с мелиорируемых земель и сельских территорий. Выполнена статистическая обработка результатов экспертных оценок в соответствии с имеющимися методиками. Наибольшие весовые коэффициенты при экспертной оценке мероприятий по снижению загрязнения водных ресурсов реки имеют мероприятия по очистке и кондиционированию дренажного стока с мелиоративных систем и методы повышения

самоочищающей способности водных объектов. В ходе исследований разработана программа ДПО «Водоохранные мероприятия для снижения загрязнения малых рек». Для изучения спроса на данную образовательную программу проведено глубинное интервью со специалистами, работающими в данной области и населением речного бассейна реки Казанка, что позволило выявить заинтересованность в повышении уровня знаний в области мониторинга состояния речного бассейна и водоохранных мероприятиях.

Conclusion. A review and analysis of 28 different educational programs, projects, courses, circles and associations has been performed, which address issues of reducing pollution of water bodies to varying degrees, estimates have been made and a chart of the share (%) of various environmental and educational educational content in the formation of environmental education of the public in the modern period has been compiled. Additional education programs in schools play the greatest role in this issue, 39 %.

Based on the results of the expert survey, generalized tables of expert assessments of the effectiveness of methods for the protection and restoration of water bodies used for reclamation purposes and recommended conditions for their use, as well as the results of expert assessments of the effectiveness of methods for preventing pollution of water resources by runoff from reclaimed lands and rural areas, have been compiled. Statistical processing of the results of expert assessments was carried out in accordance with the available methods. The greatest weighting factors in the expert assessment of measures to reduce pollution of river water resources are measures for cleaning and conditioning drainage runoff from reclamation systems and methods to increase the self-cleaning capacity of water bodies. In the course of the research, the program "Water protection measures to reduce pollution of small rivers" was developed. To study the demand for this educational program, an in-depth interview was conducted with specialists working in this field and the population of the Kazanka River basin, which revealed an interest in improving knowledge in monitoring the state of the river basin and water protection measures.

Библиографический список

1. Данилов-Данильян В. И. и др. Диффузное загрязнение водных объектов: проблемы и решения: коллективная монография. М.: РАН, 2020. 512 с.
2. Ясинский С. В., Веницианов Е. В., Вишневская И. А. Диффузное загрязнение водных объектов и оценка выноса биогенных элементов при различных сценариях землепользования на водосборе. Водные ресурсы. 2019. Т. 46. № 2. С. 232-244.
3. Кирейчева Л. В., Лентяева Е. А., Тимошкин А. Д., Яшин В. М. Оценка диффузного загрязнения от сельскохозяйственных территорий в бассейне Верхней Волги и разработка мероприятий по его снижению на примере реки Яхромы. Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 5. С. 523-535.
4. Фащевская Т. Б., Мотовиов Ю. Г., Алгушаева А. В. Гидролого-гидрохимические модели формирования диффузного загрязнения. Диффузное загрязнение водных объектов: Проблемы и решения: кол. монография. М.: ИВГ РАН, 2020. С. 102-125.
5. Глазунова И. В., Соколова С. А., Яшин В. М. Ассимиляционная способность элементов мелиорированных агроландшафтов при создании биоплато. Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14. № 2. С. 108-127.
6. Яшин В. М., Глазунова И. В. Обоснование требований растений к регулированию водного режима почв и его контроль. Природообустройство. 2022. № 5. С. 15-21.
7. Ниязова А. А., Садыкова Э. Ф. Экологическое образование обучающихся в условиях устойчивого развития общества. Вестник Костромского государственного университета. Серия: Педагогика. Психология. Социокинетика. Кострома: Костромской государственный университет, 2018. С. 15-18.
8. Серебрякова Т. А., Семёнова Л. Э., Семёнова В. Э. Направления экологической работы с детьми в рамках реализации национального проекта „Десятилетие детства“. Гуманитарные научные исследования. 2018.
9. Османов М. Х. Некоторые проблемы экологического образования в России. Мир науки, культуры, образования. 2018. № 6 (73). С. 181-182.
10. Ячия Л., Кузьмин С. И. Обучение стандартам как метод формирования экологических знаний и компетенций. Экологический вестник России. 2018. № 7. С. 64-69.
11. Козлова К. А., Герасимец О. И. Экспертные методы принятия решений: основные методы экспертных оценок. Вестник магистратуры. 2018. № 2-1(77).
12. Азимова Н. Н., Ашихмин Д. В., Ладоша Е. Н. Математические методы в объективизации экспертных оценок производственной безопасности. Восточно-Европейский Научный Журнал. 2020. Выпуск 58. Т. 2. С. 4-16.
13. Карпенко Н. П., Глазунова И. В. Управление земельными и водными ресурсами для снижения загрязнения рек на основе экспертных оценок эффективности природоохранных мероприятий. Природообустройство. 2019. № 4. С. 102-108.
14. Шевченко В. А. и др. Моделирование природно-техногенных процессов в мелиоративно-водохозяйственном комплексе. Москва: Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова, 2025. 231 с.
15. Ясинский С. В., Веницианов Е. В., Вишневская И. А. Диффузное загрязнение водных объектов и оценка выноса биогенных элементов при различных сценариях землепользования на водосборе. Водные ресурсы. 2019. Т. 46. № 2. С. 232-244.
16. Ясинский С. В. и др. Антропогенная нагрузка и влияние водосбора на диффузный сток биогенных элементов в крупный водный объект (на примере водосбора Чебоксарского водохранилища). Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 5. С. 630-648.

17. Карпенко Н. П., Глазунова И. В., Барсукова М. В. Повышение экологической безопасности при проведении работ по эксплуатации природоохранных сооружений на водосборах рек. Природобустройство. 2020. № 1. С. 129-136.

18. Guo S. et al. Cross-ridge tillage decreases nitrogen and phosphorus losses from sloping farmlands in southern hilly regions of China. Soil and Tillage Research. 2019. Vol. 191. Pp. 48-56.

19. Walker D. B., Baumgartner D. J., Gerba C. P., Fitzsimmons K. Surface water pollution. Environmental and pollution science. Elsevier, 2019. Pp. 261-292.

20. Evans A. E., Mateo-Sagasta J., Qadir M., Boelee E., Ippolito A. Agricultural water pollution: key knowledge gaps and research needs. Curr Opin Environ Sustain. 2019. No 36. Pp. 20-27.

References

1. Danilov-Danilyan V. I. et al. Diffuse pollution of water bodies: problems and solutions: a collective monograph. Moscow: RAS, 2020. 512 p.

2. Yasinsky S. V., Venitsianov E. V., Vishnevskaya I. A. Diffuse pollution of water bodies and assessment of the removal of biogenic elements under various scenarios of land use in the watershed. Water resources. 2019. Vol. 46. No 2. Pp. 232-244.

3. Kireicheva L. V., Lentyaeva E. A., Timoshkin A.D., Yashin V. M. Assessment of diffuse pollution from agricultural territories in the Upper Volga basin and development of measures to reduce it using the example of the Yakhroma River. Water resources. 2020. Vol. 47. No 5. Pp. 523-535.

4. Fashevskaya T. B., Motoviov Yu. G., Algushaeva A.V. Hydrological and hydrochemical models of diffuse pollution formation. Diffuse pollution of water bodies: Problems and solutions: col. monograph. Moscow: IVP RAS, 2020. Pp. 102-125.

5. Glazunova I. V., Sokolova S. A., Yashin V. M. The assimilation ability of elements of reclaimed agrolandscapes during the creation of bioplatmas. Land reclamation and hydraulic engineering. 2024. Vol. 14. No 2. Pp. 108-127.

6. Yashin V. M., Glazunova I. V. Substantiation of plant requirements for regulation of soil water regime and its control. Environmental management. 2022. No 5. Pp. 15-21.

7. Niyazova A. A., Sadykova E. F. Environmental education of students in the context of sustainable development of society. Bulletin of Kostroma State University. Series: Pedagogy. Psychology. Socio-kinetics. Kostroma: Kostroma State University, 2018. Pp. 15-18.

8. Serebryakova T. A., Semenova L. E., Semenova V. E. Directions of environmental work with children in the framework of the national project "Decade of Childhood". Humanitarian scientific research. 2018.

9. Osmanov M. H. Some problems of environmental education in Russia. The world of science, culture, and education. 2018. No 6 (73). Pp. 181-182.

10. Yachiya L., Kuzmin S. I. Teaching standards as a method of formation of ecological knowledge and competencies. Ecological Bulletin of Russia. 2018. No 7. Pp. 64-69.

11. Kozlova K. A., Gerasimets O. I. Expert methods of decision-making: basic methods of expert assessments. Bulletin of the Magistracy. 2018. № 2-1 (77).

12. Azimova N. N., Ashikhmin D. V., Ladosha E. N. Mathematical methods in the objectification of expert assessments of industrial safety. East European Scientific Journal. 2020. Issue 58. V. 2. Pp. 4-16.

13. Karpenko N. P., Glazunova I. V. Management of land and water resources to reduce river pollution based on expert assessments of the effectiveness of environmental protection measures. Environmental management. 2019. No 4. Pp. 102-108.

14. Shevchenko V. A. et al. Modeling of natural and man-made processes in the melioration and water management complex. Moscow: A. N. Kostyakov Federal Scientific Center for Hydrotechnics and Land Reclamation, 2025. 231 p.

15. Yasinsky S. V., Venitsianov E. V., Vishnevskaya I. A. Diffuse pollution of water bodies and assessment of removal of biogenic elements under various scenarios of land use in the watershed. Water resources. 2019. Vol. 46. No 2. Pp. 232-244.

16. Yasinsky S. V. and others. Anthropogenic load and the influence of the catchment area on the diffuse runoff of biogenic elements into a large water body (using the example of the watershed of the Cheboksary reservoir). Water resources. 2020. Vol. 47. No 5. Pp. 630-648.

17. Karpenko N. P., Glazunova I. V., Barsukova M. V. Increasing environmental safety during the operation of environmental protection facilities in river catchments. Environmental management. 2020. No 1. Pp. 129-136.

18. Guo S. et al. Cross-ridge tillage decreases nitrogen and phosphorus losses from sloping farmlands in southern hilly regions of China. Soil and Tillage Research. 2019. Vol. 191. Pp. 48-56.

19. Walker D. B., Baumgartner D. J., Gerba C. P., Fitzsimmons K. Surface water pollution. Environmental and pollution science. Elsevier, 2019. Pp. 261-292.

20. Evans A. E., Mateo-Sagasta J., Qadir M., Boelee E., Ippolito A. Agricultural water pollution: key knowledge gaps and research needs. Curr Opin Environ Sustain. 2019. No 36. Pp. 20-27.

Информация об авторах

Глазунова Ирина Викторовна, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева (Российская Федерация, 127550, г. Москва, Тимирязевская ул., 49); старший научный сотрудник, ФНЦ ВНИИГиМ имени А. Н. Костякова (Российская Федерация, 127550, г. Москва, Большая Академическая ул., 44), AuthorID: 127917; <https://orcid.org/0000-0003-4931-2008>, e-mail: ivglazunova@mail.ru

Яшин Валерий Михайлович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «ФНЦ гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 127550, г. Москва, Большая Академическая ул., 44), AuthorID: 127916, e-mail: vniigimjashin@mail.ru

Authors' Information

Glazunova Irina Viktorovna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev (Russian Federation, 127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49); Senior Researcher, Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, 127550, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya Str., 44), AuthorID: 127917; <https://orcid.org/0000-0003-4931-2008>, e-mail: ivglazunova@mail.ru

Yashin Valery Mikhailovich, Candidate of Engineering Sciences, Leading Researcher, Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, 127550, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya Str., 44), AuthorID: 127916, e-mail: vniigimjashin@mail.ru

THE ECONOMIC AND BIOLOGICAL ASSESSMENT OF THE APPLE TREES ROOTSTOCK FORMS BRED IN THE NURSERY BY MICHURINSK STATE AGRARIAN UNIVERSITY IN THE CONDITIONS OF THE TAMBOV REGION**Dubrovsky M. L., Papikhin R. V., Kruzhkov A. V., Churikova N. L.***Michurinsk State Agrarian University
Michurinsk, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: element68@mail.ru

Received 22.09.2025

Submitted 02.12.2025

*The work was carried out within the framework of the State Assignment No. 1023051100007-2-4.1.1 (FESU-2023-0007) «Development of innovative methods for obtaining, analyzing and selecting distant hybrids of the genus *Malus* Mill. and their economic and biological assessment» with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation at the expense of the federal budget using the equipment of the Collective Use Center of Michurinsk State Agrarian University «Breeding of Agricultural Crops and Technologies of Production, Storage and Processing of Functional and Medicinal-Prophylactic Food Products».*

Summary

The article presents the results of the economic and biological evaluation of apple clonal rootstocks bred by the Michurinsk State Agrarian University in the nursery under the conditions of the Tambov Region. Significant variability of the complex of morphological, physiological and productive features of 43 apple rootstocks was established. New apple rootstocks valuable for breeding and horticulture were selected.

Abstract

Introduction. Apple clonal rootstocks are an important element of modern industrial horticulture, allowing obtaining high-quality planting material and managing the main economic and biological characteristics of fruit trees in orchards. The largest Russian center for the breeding of apple rootstocks is the Michurinsk State Agrarian University, where were obtained 29 of the 57 zoned rootstocks in the country. Currently, the selection of new genotypes of apple rootstocks with a set of valuable characteristics remains a relevant area for native nurseries and horticulture. The purpose of the research is to evaluate the apple rootstock forms selected by the Michurinsk State Agrarian University for the most important economic and biological indicators in the nursery in the conditions of the Tambov Region and to select the best genotypes. **Object.** Research objects were 43 genotypes of apple clonal rootstocks bred by Michurinsk State Agrarian University, of which 9 are zoned forms included in the Russian State Register of Breeding Achievements, and 34 are promising. In the studied collection, 23 genotypes are characterized by the presence of anthocyanin pigmentation of young leaves (red-leaved) and shoot wood. Each genotype is represented in the nursery by 15 plants. **Materials and methods.** The studies were conducted in 2023-2025 at the Michurinsk State Agricultural University in the urban district of Michurinsk, Tambov Region. The nursery of vertical layering was planted in 2016 according to the 1.5 x 0.3 m scheme. No mineral or organic fertilizers were used when cultivating rootstocks in the nursery. The studies were carried out using generally accepted methods of selection and variety testing of fruit crops. The morphological parameters of plants included the height of the uterine bush, the area of the leaf plate, the total area of the leaves of the uterine bush; physiological parameters included the concentration of photosynthetic pigments in the leaves (the sum of chlorophylls *a* and *b*, carotenoids), stomatal conductance and the effective quantum yield of photosystem II (using the LI-COR LI-600PF device); production indicators – the total number of uterine bush offshoots, the proportion of rooted layers, the yield of standard rooted layers. **Results and conclusions.** In 43 apple rootstocks obtained in Michurinsk State Agrarian University, significant variability of the most important quantitative biological and economic-production indicators in stoolbed was established. Minimum values of the variation coefficient were noted for the effective quantum yield of PS II (3.2 %), the proportion of rooted layers (3.2 %), the yield of standard rooted layers (13.8 %), and maximum values *C_v* were found for stomatal conductance (30.1 %) and the total leaf area of the uterine bush (35.2 %). These differences are caused, first of all, by the unique origin of the studied rootstocks, which combine the hereditary material of several species of the genus *Malus* Mill. In the groups of red-leaved and green-leaved apple rootstocks, no statistically significant differences were found in the corresponding average values of the effective quantum yield of PS II, the concentration of total chlorophylls and carotenoids. In the group of 23 red-leaved rootstocks, a reliable increase ($p \leq 0.001$) of 8.6 % in the height of the uterine bush and 10.1 % in the total leaf area of plants relative to similar average values of green-leaved forms was found. In 20 green-leaved rootstocks, the average value of stomatal conductance was 10.3 % higher ($p \leq 0.001$) than in red-leaved ones. For all genotypes, a high proportion of rooted layers of the uterine bush was noted in the range of 87.4-100 % with an average level of 97.1 ± 0.5 %, which is the result of early selection of the best forms for this trait. Among the promising clonal rootstocks, the genotypes 2-3-14, 2-9-56, 2-9-77, 2-15-15, 4-2-50, 9-1-3, 9-1-9, characterized by a high yield and rooting of the layers, are of interest for selection and production.

Keywords: clonal rootstocks of apple trees, apple breeding, distant hybridization of apple trees, mother bushes, rooted layers of apple trees.

Citation. Dubrovsky M. L., Papikhin R. V., Kruzhkov A. V., Churikova N. L. The economic and biological assessment of the apple trees rootstock forms bred in the nursery by Michurinsk state agrarian university in the conditions of the Tambov region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 113-125 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-12.

Author's contribution. All the authors mentioned in this article were directly involved in the research and processing of the data obtained. All authors are familiar with the submitted final version and approved it.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 634.11:631.541.11:631.527

ХОЗЯЙСТВЕННО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОДВОЙНЫХ ФОРМ ЯБЛОНИ СЕЛЕКЦИИ МИЧУРИНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА В МАТОЧНИКЕ В УСЛОВИЯХ ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Дубровский М. Л., кандидат сельскохозяйственных наук
Папихин Р. В., кандидат сельскохозяйственных наук
Кружков А. В., кандидат сельскохозяйственных наук
Чурикова Н. Л., кандидат сельскохозяйственных наук

ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»
г. Мичуринск, Тамбовская область, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках государственного задания № 1023051100007-2-4.1.1 (FESU-2023-0007) «Разработка инновационных методов получения, анализа и отбора отдаленных гибридов рода *Malus Mill.* и их хозяйственно-биологическая оценка» при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ за счет средств федерального бюджета с использованием оборудования ЦКП Мичуринского ГАУ «Селекция сельскохозяйственных культур и технологии производства, хранения и переработки продуктов питания функционального и лечебно-профилактического назначения».

Актуальность. Клоновые подвои яблони являются важным элементом современного промышленного садоводства, позволяя получать качественный посадочный материал и управлять основными хозяйственно-биологическими признаками плодовых деревьев в производственных насаждениях. Крупнейшим центром селекции клоновых подвоев яблони в России является ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», где получено 29 из 57 районированных в стране подвоев. В настоящее время селекция новых генотипов клоновых подвоев яблони с комплексом ценных признаков остается актуальным направлением для отечественного питомниководства и садоводства. Цель исследований – оценка подвойных форм яблони селекции Мичуринского государственного аграрного университета по важнейшим хозяйственно-биологическим показателям в маточнике в условиях Тамбовской области и выделение лучших генотипов. **Объект.** Объектом исследований являются 43 генотипа клоновых подвоев яблони селекции Мичуринского ГАУ, из которых 9 районированных форм, внесенных в отечественный Госреестр селекционных достижений, и 34 перспективных. В изучаемой коллекции 23 генотипа характеризуются наличием антоциановой пигментации молодых листьев (краснолистностью) и древесины побегов. Каждый генотип представлен на маточнике 15 растениями. **Материалы и методы.** Исследования проведены в 2023-2025 гг. в ФГБОУ ВО «Мичуринский ГАУ» на территории городского округа г. Мичуринск Тамбовской области. Маточник вертикальных отводков заложен в 2016 г. по схеме 1,5 x 0,3 м. При возделывании подвоев на маточнике не использовали минеральные и органические удобрения. Исследования проведены с использованием общепринятых методик селекции и сортоизучения плодовых культур. Среди морфологических показателей растений изучали высоту маточного куста, площадь листовой пластинки, общую площадь листьев маточного куста; физиологических показателей – концентрацию фотосинтетических пигментов в листьях (сумма хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов), устьичную проводимость и эффективный квантовый выход фотосистемы II (с помощью прибора LI-COR LI-600PF); производственных показателей – общее количество отводков маточного куста, долю укорененных отводков, выход стандартных отводков. **Результаты и выводы.** У 43 подвойных форм яблони, полученных в Мичуринском ГАУ, установлена существенная изменчивость важнейших количественных биологических и хозяйственно-производственных показателей в условиях маточника. Минимальные значения коэффициента вариации отмечены для значений эффективного квантового выхода ФС II (3,2 %), доли укорененных отводков (3,2 %), выхода стандартных отводков (13,8 %), а максимальные – устьичной проводимости (30,1 %) и площади листьев маточного куста (35,2 %). Данные различия вызваны, в первую очередь, уникальным происхождением изучаемых подвойных форм, объединяющих наследственный материал нескольких видов рода *Malus Mill.* У групп краснолистных и зеленолистных

подвойных форм яблони не выявлено статистически достоверных различий соответствующих средним значениям эффективного квантового выхода ФС II, концентрации суммы хлорофиллов и каротиноидов. В группе из 23 краснолистных подвоев выявлено достоверное увеличение ($p \leq 0,001$) на 8,6 % высоты маточного куста и на 10,1 % общей площади листьев растений относительно аналогичных средних показателей зеленолистных форм. У 20 зеленолистных подвоев среднее значение устьичной проводимости оказалось на 10,3 % выше ($p \leq 0,001$), чем у краснолистных. Для всех генотипов отмечена высокая доля укорененных отводков маточного куста в диапазоне 87,4-100 % при среднем уровне $97,1 \pm 0,5$ %, что является результатом раннего отбора лучших форм по данному признаку. Среди перспективных клоновых подвоев интерес для селекции и производства представляют генотипы с высоким выходом и укореняемостью отводков: 2-3-14, 2-9-56, 2-9-77, 2-15-15, 4-2-50, 9-1-3, 9-1-9.

Ключевые слова: клоновые подвои яблони, селекция яблони, отдаленная гибридизация яблони, маточные кусты, укорененные отводки яблони.

Цитирование. Дубровский М. Л., Папихин Р. В., Кружков А. В., Чурикова Н. Л. Хозяйственно-биологическая оценка подвойных форм яблони селекции Мичуринского государственного аграрного университета в маточнике в условиях Тамбовской области. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 113-125. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-12.

Авторский вклад. Все авторы, указанные в настоящей статье, принимали непосредственное участие в проведении исследований и обработке полученных данных. Все авторы ознакомлены с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Производство плодов и ягод является одним из важнейших направлений современного сельского хозяйства во многих странах мира. Уникальное значение плодово-ягодной продукции для здорового и сбалансированного питания человека не позволяет заменить ее другими пищевыми компонентами естественного или искусственного происхождения. В связи с этим садоводство занимает особое место в государственной агропродовольственной программе. Создание и эксплуатация многолетних производственных насаждений плодовых культур, в частности яблони как их основного представителя, в настоящее время основано на использовании интенсивных технологий. Биологические особенности производственного размножения всех плодовых культур, представленных древесной жизненной формой, основаны на обязательном использовании подвоев, на которые различными способами прививают фрагменты черенков выбранных сортов. В питомниководстве при получении посадочного материала яблони приоритет принадлежит клоновым подвоям из-за их значительных преимуществ – высокой укореняемости и легкому размножению в маточнике, выровненности растений одного сорта в питомнике и саду из-за генетической однородности подвойного компонента, ценных хозяйственно-биологических признаков плодового дерева в саду, рассматриваемых в единстве конкретной сорто-подвойной комбинации (сила роста и объем кроны, закладка генеративных образований, длина и количество побегов замещения, масса, размер, количество плодов и привлекательность их внешнего вида, компоненты биохимического состава плодов и др.). В современном интенсивном садоводстве применяют растения, привитые на слаборослых клоновых подвоях, которые обеспечивают сдержанный рост кроны, позволяя высаживать большее количество деревьев на единицу площади и получать наиболее высокую урожайность [1-5]. Интенсивные шпалерные насаждения яблони, наиболее рентабельные во всем мире, получены на основе суперкарликовых, карликовых и некоторых полукарликовых клоновых подвоев, на которые привиты высокопродуктивные сорта [1-3, 6-10]. Таким образом, выбор конкретной сорто-подвойной комбинации является приоритетным и основополагающим при определении дальнейших технологических параметров и экономических показателей производственных насаждений плодовых культур.

Мичуринский государственный аграрный университет является лидером в России и одним из ведущих учреждений мира в области селекции клоновых подвоев яблони. Здесь более 80 лет назад под руководством основателя отечественного интенсивного садоводства В. И. Будаговского была организована и до настоящего времени успешно проводится комплексная селекционная программа по получению, изучению и выделению новых перспективных клоновых подвоев яблони для промышленных насаждений различного типа [1]. В рамках данного направления в Мичуринском ГАУ создана значительная коллекция генотипов рода Яблоня (*Malus* Mill.), используемых для проведения направленных отдаленных межвидовых скрещиваний, среди которых преобладают дикорастущие видовые формы из

различных эколого-географических регионов мира (более 30 образцов) в качестве генетических доноров устойчивости к абиотическим и биотическим стрессорам, а также перспективные отдаленные гибриды и клоновые подвои яблони различной силы роста (более 400 генотипов) с комплексом хозяйственно-ценных признаков. В настоящее время из 57 клоновых подвоев яблони, зарегистрированных в Государственном реестре селекционных достижений РФ, в Мичуринском ГАУ получены 29, что составляет 51 %, на 13 из них оформлены патенты [11]. Данные подвои широко используются как в нашей стране, так и за рубежом для получения высококачественного посадочного материала и возделывания современных производственных насаждений яблони.

Наблюдаемые в последние годы неблагоприятные изменения природно-климатических условий различных регионов России и мира (возвратные морозы после продолжительных оттепелей, летние засухи с высокими повреждающими температурами воздуха и др.), расширение ареалов опасных вредителей и возбудителей болезней плодовых культур, дефицит свободных территорий с плодородными почвами и введение в сельскохозяйственный оборот менее пригодных земель не позволяют одновременно использовать сложившийся сортимент яблони и стандартные сорто-подвойные комбинации в аграрном производстве со стабильно высокой продуктивностью и рентабельностью. Одним из наиболее актуальных и эффективных способов решения данной проблемы во всем мире является получение новых высокопродуктивных и устойчивых генотипов яблони и других плодовых культур с помощью методов селекции на основе имеющихся сортов и подвоев.

Целью наших исследований являлась оценка коллекции подвойных форм яблони селекции Мичуринского ГАУ по важнейшим хозяйственно-биологическим показателям в маточнике в условиях Тамбовской области и выделение лучших генотипов для научного и производственного использования.

Материалы и методы. Исследования были проведены в 2023-2025 гг. в структурном подразделении ФГБОУ ВО «Мичуринский ГАУ» – Научно-образовательном центре имени В. И. Будаговского, расположенного на территории городского округа г. Мичуринск Тамбовской области. Маточник вертикальных отводков был заложен в 2016 г. по схеме 1,5 x 0,3 м.

Объектом исследований являются 43 генотипа клоновых подвоев яблони селекции ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ, из которых 9 районированных форм, внесенных в отечественный Госреестр селекционных достижений, и 34 – перспективных. Среди рассматриваемой коллекции 23 генотипа характеризуются наличием антоциановой пигментации молодых листьев (краснолистностью) и древесины побегов: данный признак унаследован мичуринскими подвоями от родительских форм – сортов яблони селекции И. В. Мичурина Комсомолец, Красный штандарт, Рубиновое с красной мякотью плодов, производных яблони Недзвецкого – *Malus niedzwetzkyana* Dieck ex Koehne. Антоцианы являются природными антиоксидантами, повышающими устойчивость растений к стрессорам. Краснолистность подвоев облегчает удаление прикорневой поросли у привитых саженцев яблони в питомнике. Остальные 20 подвойных форм не имеют признака антоциановой пигментации.

Каждый генотип представлен на маточнике 15 растениями. При возделывании подвоев на маточнике были проведены стандартные агротехнические мероприятия (систематическое механизированное культивирование почвы, ручная прополка без использования гербицидов, двукратное окучивание маточных кустов смесью опилок и нейтрализованного торфа, искусственное орошение участка). Почва опытного поля – выщелоченный среднесиловый чернозем со средним содержанием гумуса 4,7-5,0 %. Для непосредственной оценки развития побегов маточных кустов изучаемой генетической коллекции не использовали минеральные и органические удобрения, исключив фактор дополнительного питания растений.

Высоту маточного куста и длину междоузлий побега определяли в начале сентября – по окончании ростовых процессов растений, снимая показания с помощью измерительной рейки от вершины окучиваемого холмика. Для этого измеряли по 50 побегов каждого генотипа и одновременно подсчитывали на них количество листьев, необходимое для вычисления длины междоузлий. Площадь листовой пластинки определяли с помощью планшетного сканера на 50 разновозрастных листьях каждого генотипа, собранных также в начале сентября в равном соотношении с побегов маточных кустов. Отсканированные изображения, сделанные в одинаковом разрешении, открывали в графическом редакторе ImageJ и с помощью операции бинаризации определяли площадь каждой листовой пластинки.

Анализ функционального состояния растений определяли в середине июля путем одновременного измерения двух количественных показателей – интенсивности транспирации листьев и протекания в них фотосинтетических процессов с помощью порометра-хлорофиллфлуориметра LI-COR LI-600PF (США). У каждого генотипа проводили по 50 измерений устьичной проводимости и эффективного квантового выхода второй фотосистемы (ФС II) на примерно одновозрастных листьях. Фотосинтез является важнейшим ассимиляционным физиологическим процессом у всех высших растений, в связи с чем также был проведен количественный анализ содержания основных пигментов листьев – хлорофиллов и каротиноидов, а также их соотношений. Концентрацию пигментов определяли в середине июля. Для этого с побегов маточных кустов собирали по 20 одновозрастных листьев – пятых от вершины. Для приготовления листовых вытяжек в качестве растворителя использовали 96 %-ный этанол. Оптическую плотность полученных в трехкратной повторности вытяжек пигментов определяли с помощью двулучевого спектрофотометра VWR UV-6300PC (США). По оптической плотности в спиртовой вытяжке при длине волны 665 нм определяли содержание хлорофилла *a*, 649 нм – хлорофилла *b*, 440 нм – каротиноидов [12]. Итоговую концентрацию каждого из пигментов выражали на единицу сухой массы листьев.

Производственные показатели изучаемой коллекции подвойных форм яблони в маточнике определяли в конце сентября на стадии отделения отводков. Для этого у всех маточных кустов каждого из 43 генотипов подсчитывали общее количество отводков, а среди них – процентную долю укорененных и стандартных.

Все полученные значения количественных показателей обрабатывали общепринятыми методами математической статистики [13] с использованием программной вычислительной среды Microsoft Office Excel 2016 и Statistica 10.0, а затем представляли в табличной форме. В таблицах минимальные (min) и максимальные (max) средние арифметические значения каждого признака у 43 изучаемых генотипов выделены жирным шрифтом. Для оценки степени вариабельности изученных признаков у генотипов рассчитывали коэффициент вариации как отношение стандартного отклонения выборки к ее среднему значению.

Результаты и обсуждение. Проведенные исследования позволили установить значительную изменчивость значений комплекса важнейших количественных биологических и хозяйственно-производственных показателей подвойных форм яблони в условиях маточника.

Среди изученных морфометрических показателей маточного куста наибольшей вариабельностью ($C_v=35,2\%$) отличалась общая площадь листьев растения, которая в свою очередь зависит от длины и количества побегов, площади листовой пластинки и длины междоузлий, которые у генотипов имеют различное фенотипическое проявление. По среднему значению каждого из показателей – высоты маточного куста и площади листовой пластинки изучаемые подвойные формы яблони различались в 2,8 раз, по количеству побегов маточного куста – в 2,4 раза, по длине междоузлий – в 2,1 раза (таблицы 1, 3). Отмечены положительные корреляции среднего уровня между значениями площади листьев маточного куста и другими признаками – высотой побегов (0,64), площадью листовой пластинки (0,70); в группе краснолистных форм отмечено увеличение коэффициента корреляции данных показателей – соответственно 0,76 и 0,80.

У изучаемых генотипов общая площадь листьев растений в маточнике различалась в 4,1 раза, при среднем значении на уровне $4088,2 \pm 219,2 \text{ см}^2$. Биологическое значение высокой облиственности побегов заключается в способности растения производить достаточное количество органических веществ при увеличении эффективности фотосинтетических реакций. Большая площадь листового аппарата позволяет не увеличивать до неблагоприятного уровня скорость ассимиляционных процессов как в норме, так и при стрессовых условиях, что является своеобразным морфофизиологическим резервом растительного организма.

В группе краснолистных подвоев яблони выявлено достоверное увеличение ($p \leq 0,001$) на 8,6 % высоты маточного куста и на 10,1 % общей площади листьев растений относительно аналогичных средних показателей зеленолистных форм.

Таблица 1 – Морфометрические показатели коллекции подвойных форм яблони
селекции Мичуринского ГАУ в маточникеTable 1 – Morphometric indicators of the collection of apple rootstocks bred by the
Michurinsk State Agrarian University in the nursery

№ п/п	Генотип клонового подвоя яблони / The genotype of the clone rootstock of an apple tree	Высота маточного куста, см / Height of the uterine bush, cm	Площадь листовой пластинки, см ² / The area of the leaf blade, cm ²	Длина междоузлий побега, см / Length of shoot internodes, cm	Площадь листьев маточного куста, см ² / The area of the leaves of the uterine bush, cm ²
1	2	3	4	5	6
<i>Краснолистные клоновые подвои яблони (23 генотипа) / Red-leaved clonal rootstocks of apple trees (23 genotypes)</i>					
1.	54-118	88,7	22,2	2,6	6231,6
2.	62-396	74,0	20,5	2,2	5632,5
3.	Парадизка Будаговского (В9) / Paradizka Budagovskogo (В9)	98,9	22,7	2,9	5137,3
4.	Малыш Будаговского / Malish Budagovskogo	48,2	21,5	1,8	4347,2
5.	2-9-56	58,0	18,4	2,3	4348,7
6.	2-9-90	46,0	10,5	1,8	2391,9
7.	2-9-94	59,9	13,9	1,7	3249,2
8.	2-9-96	66,7	12,3	1,7	3127,6
9.	2-9-102 (Памяти Сунгоркина) / 2-9-102 (Pamyati Sungorkina)	98,5	28,5	2,6	8264,1
10.	2-12-10 (Мичуринск 210) / 2-12-10 (Michurinsk 210)	80,4	22,1	3,0	5542,5
11.	2-12-15	82,8	15,0	2,3	4968,4
12.	2-12-27	60,1	11,8	2,2	2987,2
13.	2-12-34	73,6	15,4	2,5	3048,6
14.	2-12-36	61,1	12,1	2,5	2342,8
15.	3-4-7 (Мичуринск 17) / 3-4-7 (Michurinsk 17)	102,1	22,1	2,3	7365,2
16.	4-2-3	71,9	13,8	2,8	3872,6
17.	4-6-5	49,1	10,2	1,6	1997,5
18.	5-27-1	87,8	18,0	2,1	4143,7
19.	5-28-11	38,7	15,0	1,4	2124,0
20.	9-1-2	49,0	20,4	2,1	3962,1
21.	9-1-3	43,7	14,8	1,5	3085,7
22.	9-1-4	36,8	19,4	1,7	4261,5
23.	9-1-9	87,9	13,1	1,5	5987,2
<i>Зеленолистные клоновые подвои яблони (20 генотипов) / Green-leaved clonal rootstocks of apple trees (20 genotypes)</i>					
24.	2-3-2	47,1	14,7	2,2	2543,1
25.	2-3-3	61,0	16,1	1,9	4826,5
26.	2-3-8	52,3	25,3	2,2	5148,9
27.	2-3-14	41,9	14,2	1,8	2765,2
28.	2-3-17	56,0	13,0	2,3	2608,4
29.	2-3-19	59,8	15,7	1,8	4541,8
30.	2-3-44	57,7	17,6	1,8	2492,7
31.	2-3-49	77,6	19,9	2,2	3241,8
32.	2-9-49 (Мичуринск 19) / 2-9-49 (Michurinsk 19)	58,4	14,9	1,6	5164,4
33.	2-9-77	68,3	20,5	2,0	5148,3
34.	2-15-2 (Мичуринск 12) / 2-15-2 (Michurinsk 12)	63,3	10,8	1,7	3274,5
35.	2-15-15	73,3	13,6	2,1	4167,2
36.	3-10-3	79,3	17,8	2,4	4682,1
37.	4-2-50	60,7	14,4	2,0	2781,3
38.	5-21-27	72,8	14,2	2,0	5107,8
39.	5-21-93	64,0	15,8	2,2	2976,2

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6
40.	5-24-1	74,4	16,4	2,2	5478,6
41.	5-26-127	76,4	12,7	1,9	2241,5
42.	9-1-1	47,0	19,5	1,6	4637,8
43.	9-1-5	60,7	10,5	1,8	3543,3
НСР ₀₅		3,2	1,7	0,2	120,7
<i>Статистические показатели в изучаемой генетической коллекции /</i> <i>Statistical indicators in the studied genetic collection</i>					
Вариабельность признака у 43 форм (max/min), раз / Variability of the trait in 43 forms (max/min), times		2,8	2,8	2,1	4,1
Среднее арифм. значение и его ошибка (M±m) / The arithmetic mean and its error (M±m)		65,5±2,5	16,5±0,7	2,1±0,1	4088,2±219,2
Дисперсия (σ^2) / Variance (σ^2)		274,6	18,1	0,2	2,1·10 ⁶
Коэффициент вариации (Cv), % / Coefficient of Variation (Cv), %		25,3	25,7	18,7	35,2

У 43 генотипов клоновых подвоев яблони селекции ФГБОУ ВО «Мичуринский ГАУ» по состоянию на середину июля отмечена существенно большая вариабельность показателя устьичной проводимости, чем эффективного квантового выхода второй фотосистемы: различия во всей изучаемой генколлекции между минимальным и максимальным значениями составили по показателю транспирации 3,4 раза, фотосинтеза – 1,1 раза, при девятикратном различии коэффициента вариации – соответственно 30,1 % и 3,2 % (таблица 2). Такая существенная разница осуществления двух важнейших физиологических процессов растительного организма связана с их функциональными особенностями – для автотрофного питания фотосинтетические реакции должны протекать со сравнительно постоянной интенсивностью, тогда как листовая транспирация служит механизмом терморегуляции ассимилирующих тканей и зависит от количества устьиц в эпидермисе, температуры и относительной влажности воздуха [14, 15]. В связи с этим количественный анализ динамики удельной фотосинтетической активности является важным диагностическим показателем функционального состояния растений в конкретный период – при неблагоприятных условиях она существенно снижается вплоть до необратимого уровня [16].

Таблица 2 – Физиологические показатели коллекции подвойных форм яблони селекции Мичуринского ГАУ в маточнике

Table 2 – Physiological indicators of the collection of apple rootstocks bred by the Michurinsk State Agrarian University in the stoolbed

№ п/п	Генотип клонового подвоя яблони / The genotype of the clone rootstock of an apple tree	Концентрация пигментов в листьях, мг/г сухой массы / Concentration of pigments in leaves, mg/g dry weight		Устьичная проводимость, ммоль·м ⁻² ·с ⁻¹ / Stomatal conductivity, mmol·m ⁻² ·s ⁻¹	Эффективный квантовый выход ФС II, отн. единицы / Effective quantum yield of FS II, relative to unity
		хлорофилл (a+b) / Chlorophyll (a+b)	каротиноиды / carotenoids		
1	2	3	4	5	6
<i>Краснолистные клоновые подвои яблони (23 генотипа) /</i> <i>Red-leaved clonal rootstocks of apple trees (23 genotypes)</i>					
1.	54-118	0,68	0,24	0,57	0,73
2.	62-396	0,48	0,14	0,51	0,73
3.	Парадизка Будаговского (B9) / Paradizka Budagovskogo (B9)	0,61	0,15	0,55	0,71
4.	Малыш Будаговского / Malish Budagovskogo	0,72	0,20	0,50	0,71
5.	2-9-56	0,67	0,20	0,51	0,68
6.	2-9-90	0,50	0,15	0,25	0,69
7.	2-9-94	0,73	0,20	0,43	0,71
8.	2-9-96	0,77	0,20	0,75	0,72
9.	2-9-102 (Памяти Сунгоркина) / 2-9-102 (Pamyati Sungorkina)	0,42	0,12	0,41	0,74

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6
10.	2-12-10 (Мичуринск 210) / 2-12-10 (Michurinsk 210)	0,83	0,18	0,58	0,72
11.	2-12-15	0,62	0,17	0,39	0,69
12.	2-12-27	0,72	0,20	0,50	0,71
13.	2-12-34	0,69	0,21	0,42	0,69
14.	2-12-36	0,67	0,20	0,41	0,72
15.	3-4-7 (Мичуринск 17) / 3-4-7 (Michurinsk 17)	0,47	0,15	0,45	0,74
16.	4-2-3	0,81	0,22	0,68	0,76
17.	4-6-5	0,72	0,19	0,42	0,71
18.	5-27-1	0,82	0,20	0,78	0,75
19.	5-28-11	0,62	0,17	0,24	0,72
20.	9-1-2	0,65	0,18	0,33	0,73
21.	9-1-3	0,65	0,15	0,40	0,73
22.	9-1-4	0,81	0,20	0,30	0,74
23.	9-1-9	0,47	0,12	0,34	0,74
<i>Зеленолистные клоновые подвои яблони (20 генотипов) / Green-leaved clonal rootstocks of apple trees (20 genotypes)</i>					
24.	2-3-2	0,96	0,26	0,73	0,75
25.	2-3-3	0,77	0,21	0,42	0,73
26.	2-3-8	0,84	0,22	0,38	0,75
27.	2-3-14	0,83	0,23	0,82	0,71
28.	2-3-17	0,69	0,19	0,36	0,69
29.	2-3-19	0,84	0,23	0,62	0,75
30.	2-3-44	0,89	0,22	0,34	0,68
31.	2-3-49	0,54	0,17	0,58	0,73
32.	2-9-49 (Мичуринск 19) / 2-9-49 (Michurinsk 19)	0,41	0,14	0,49	0,68
33.	2-9-77	0,62	0,16	0,44	0,72
34.	2-15-2 (Мичуринск 12) / 2-15-2 (Michurinsk 12)	0,51	0,14	0,48	0,68
35.	2-15-15	0,39	0,13	0,28	0,67
36.	3-10-3	0,63	0,20	0,55	0,74
37.	4-2-50	0,92	0,24	0,57	0,74
38.	5-21-27	0,67	0,18	0,56	0,74
39.	5-21-93	0,67	0,18	0,58	0,75
40.	5-24-1	0,64	0,16	0,76	0,73
41.	5-26-127	0,38	0,12	0,36	0,71
42.	9-1-1	0,48	0,14	0,46	0,73
43.	9-1-5	0,67	0,20	0,32	0,73
HCP ₀₅		0,03	0,02	0,07	0,02
<i>Статистические показатели в изучаемой генетической коллекции / Statistical indicators in the studied genetic collection</i>					
Вариабельность признака у 43 форм (max/min), раз / The variability of the sign in 43 forms (max/min), times		2,5	2,2	3,4	1,1
Среднее арифм. значение и его ошибка (M±m) / The arithmetic mean and its error (M±m)		0,66±0,02	0,18±0,01	0,48±0,02	0,72±0,004
Дисперсия (σ^2) / Variance (σ^2)		0,02	0,001	0,02	0,001
Коэффициент вариации (Cv), % / Coefficient of Variation (Cv), %		22,4	19,5	30,1	3,2

Достоверные различия среднего значения показателя устьичной проводимости у краснолистных и зеленолистных подвойных форм выявлены только на 0,1 %-ном уровне значимости ($p \leq 0,001$) – соответственно $0,47 \pm 0,02$ и $0,51 \pm 0,03$ ммоль·м⁻²·с⁻¹, коэффициенты вариации данного показателя у двух групп также оказались сходными – 30,5 % у краснолистных подвоев и 29,9 % у зеленолистных форм. Среднее значение эффективного квантового выхода ФС II у 43 подвоев яблони составило $0,72 \pm 0,004$ относительных единиц, при этом статистически достоверных различий показателя у групп краснолистных и зеленолистных форм не выявлено. Между одновременно анализируемыми показателями фотосинтеза и транспирации подвойных форм яблони не выявлено корреляции среднего или высокого уровня ($r = 0,36$).

Кроме интенсивности фотосинтетических процессов было дополнительно изучено количественное накопление основных пигментов листового аппарата в это же время вегетационного периода растений. Хлорофиллы *a* и *b* являются основными фотосинтетическими пигментами, а каротиноиды – вспомогательными, защищая растения от опасного фотоокисления. У 43 подвойных форм яблони по состоянию на середину июля содержание в листьях суммы хлорофиллов в среднем составило $0,66 \pm 0,02$ мг/г сухой массы, каротиноидов – $0,18 \pm 0,01$ мг/г. При этом различие концентрации суммы хлорофиллов в изучаемой генетической коллекции составило 2,5 раза, а каротиноидов – 2,2 раза, при близких значениях коэффициента вариации содержания данных пигментов – соответственно 22,4 % и 19,5 % (таблица 2). Отношение концентраций суммы хлорофиллов к каротиноидам у всех изученных образцов изменялось в 1,6 раза ($C_v = 10,1$ %) при среднем значении показателя $3,62 \pm 0,06$ и отсутствии достоверных различий по данному признаку между группами краснолистных и зеленолистных подвоев. В целом, у слаборослых подвоев накопление пигментов происходило менее интенсивно, хотя не выявлено четкой линейной зависимости данного показателя с типом подвоя по силе роста привойного компонента. У анализируемых подвойных форм отмечены положительные корреляции высокого уровня между концентрацией фотосинтетических пигментов в листьях: хлорофилла *a* и *b* на уровне 0,91; хлорофилла *a* и суммы хлорофиллов 0,99; хлорофилла *b* и суммы хлорофиллов 0,95; каротиноидов и суммы хлорофиллов 0,90. У групп краснолистных и зеленолистных подвоев не было выявлено статистически достоверных различий соответствующих средних значений концентрации как суммы хлорофиллов, так и каротиноидов. При этом у 20 зеленолистных форм оказались чуть выше коэффициенты вариации накопления пигментов – суммы хлорофиллов на уровне 26,7 %, каротиноидов – 21,7 %; среди 23 краснолистных подвоев – соответственно 18,4 % и 17,6 %.

Рассмотренные морфометрические и физиологические показатели изучаемых клоновых подвоев яблони комплексно характеризуют биологические особенности каждого из генотипов, отражая их рост, развитие и функциональную активность в условиях маточника. Существенные различия данных признаков вызваны, в первую очередь, уникальным происхождением изучаемых подвойных форм, объединяющих наследственный материал нескольких видов рода *Malus* Mill., и отмечаемым в связи с этим генетически разнообразием данной коллекции [17].

Важнейшей селекционной задачей в процессе получения, многолетнего изучения и отбора новых клоновых подвоев является выделение генотипов с высокими производственными показателями, которыми на маточнике являются образование ровных неразветвленных побегов и их хорошая способность к корнеобразованию. У рассматриваемой генетической коллекции одним из наиболее стабильных производственных показателей ($C_v = 3,2$ %) является доля укорененных отводков маточного куста, отмеченная в диапазоне 87,4-100 % при среднем уровне $97,1 \pm 0,5$ % (таблица 3). Такая высокая величина данного признака не случайна, так как при первичном отборе генотипов в адвентивном маточнике дальнейшему изучению подлежат только формы с высокими показателями ризогенеза, хорошо формирующие придаточные корни при окучивании основания побегов. В селекционном испытании гибриды с низким укоренением или полным отсутствием корней бракуются на ранних стадиях (в селекционной школке, адвентивном маточнике) и впоследствии не изучаются. Таким образом, изучаемая коллекция подвойных форм яблони выровнена по данному показателю предварительно проведенным искусственным отбором. Важнейшее значение в сохранении высоких ежегодных показателей укореняемости отводков различных генотипов подвойных форм имеет соблюдение технологии – качественное окучивание

основания маточных кустов и своевременное равномерное увлажнение субстрата в формируемом холмике. При выполнении этих условий у клоновых подвоев яблони в нижней части побегов к окончанию вегетационного периода формируются развитые придаточные корни, а при отсутствии искусственного орошения маточных кустов количество укорененных отводков и качество корней значительно уменьшается.

Отмечены положительные корреляции среднего уровня между значениями площади листьев маточного куста и производственными показателями – общим количеством отводков (0,52), процентным выходом стандартных отводков (0,50). Между долей укорененных отводков и процентом стандартных отводков маточного куста корреляция среди всех генотипов составила 0,55: в группе краснолистных подвоев 0,58, зеленолистных 0,67. У двух данных групп не выявлено достоверных различий по общему количеству отводков маточного куста, доли укорененных и стандартных отводков.

Среди перспективных клоновых подвоев яблони интерес для селекции и производства представляют формы 2-3-14, 2-9-56, 2-9-77, 2-15-15, 4-2-50, 9-1-3, 9-1-9 характеризующиеся высоким выходом, укореняемостью и качеством отводков на маточнике.

Таблица 3 – Производственные показатели коллекции подвойных форм яблони селекции Мичуринского ГАУ в маточнике

Table 3 – Productive indicators of the collection of apple rootstocks bred by the Michurinsk State Agrarian University in the stoolbed

№ п/п	Генотип клонового подвоя яблони / The genotype of the clone rootstock of an apple tree	Общее количество отводков маточного куста, шт. / The total number of layers of the uterine bush, pcs.	Доля укорененных отводков, % / Proportion of rooted layers, %	Выход стандартных отводков, % / Output of standard layers, %
1	2	3	4	5
<i>Краснолистные клоновые подвои яблони (23 генотипа) / Red-leaved clone rootstocks of apple trees (23 genotypes)</i>				
1.	54-118	8,6	100	63,8
2.	62-396	9,4	100	58,7
3.	Парадизка Будаговского (B9) / Paradizka Budagovskogo (B9)	6,2	87,4	46,9
4.	Малыш Будаговского Malish Budagovskogo	7,1	100	49,4
5.	2-9-56	8,8	100	65,2
6.	2-9-90	8,5	93,8	52,4
7.	2-9-94	6,8	98,7	46,5
8.	2-9-96	6,5	94,8	49,3
9.	2-9-102	9,4	98,8	65,7
10.	2-12-10 (Мичуринск 210) / 2-12-10 (Michurinsk 210)	9,1	97,9	59,7
11.	2-12-15	9,4	97,6	46,2
12.	2-12-27	9,2	92,7	41,8
13.	2-12-34	6,7	97,5	53,7
14.	2-12-36	6,9	98,5	56,4
15.	3-4-7 (Мичуринск 17) / 3-4-7 (Michurinsk 17)	7,8	98,6	53,1
16.	4-2-3	10,7	98,2	46,8
17.	4-6-5	5,9	92,6	48,7
18.	5-27-1	5,6	94,3	58,3
19.	5-28-11	4,9	94,9	47,2
20.	9-1-2	7,8	97,8	53,8
21.	9-1-3	6,9	100	54,2
22.	9-1-4	9,7	91,7	43,8
23.	9-1-9	8,1	100	64,8
<i>Зеленолистные клоновые подвои яблони (20 генотипа) / Green-leaved clonal rootstocks of apple trees (20 genotypes)</i>				
24.	2-3-2	7,8	96,5	47,2
25.	2-3-3	8,9	97,4	52,4
26.	2-3-8	8,6	98,1	46,7

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5
27.	2-3-14	8,1	100	54,6
28.	2-3-17	7,8	94,3	47,9
29.	2-3-19	8,9	95,6	45,5
30.	2-3-44	4,5	91,6	38,4
31.	2-3-49	4,7	96,5	43,9
32.	2-9-49 (Мичуринск 19) / 2-9-49 (Michurinsk 19)	9,7	100	58,5
33.	2-9-77	7,2	100	54,3
34.	2-15-2 (Мичуринск 12) / 2-15-2 (Michurinsk 12)	8,2	100	57,3
35.	2-15-15	8,7	100	61,8
36.	3-10-3	7,6	92,1	43,6
37.	4-2-50	6,2	100	49,5
38.	5-21-27	9,8	98,7	53,6
39.	5-21-93	6,4	92,6	42,3
40.	5-24-1	9,4	98,9	52,4
41.	5-26-127	4,6	97,4	42,5
42.	9-1-1	8,8	100	47,1
43.	9-1-5	9,7	100	41,6
НСР ₀₅		0,8	-	-
<i>Статистические показатели в изучаемой генетической коллекции / Statistical indicators in the studied genetic collection</i>				
Вариабельность признака у 43 форм (max/min), раз / Variability of the trait in 43 forms (max/min), times		2,4	1,1	1,7
Среднее арифм. значение и его ошибка (M±m) / The arithmetic mean and its error (M±m)		7,8±0,2	97,1±0,5	51,3±1,1
Дисперсия (σ^2) / Variance (σ^2)		2,5	9,9	49,8
Коэффициент вариации (Cv), % / Coefficient of Variation (Cv), %		20,3	3,2	13,8

Заклучение. У коллекции 43 подвойных форм яблони, полученных в ФГБОУ ВО «Мичуринский ГАУ» с использованием методов отдаленной межвидовой гибридизации, установлена существенная изменчивость значений комплекса важнейших биологических и хозяйственно-производственных показателей в условиях маточника, расположенного в Тамбовской области. Минимальные значения коэффициента вариации отмечены для значений эффективного квантового выхода ФС II (3,2 %), доли укорененных отводков (3,2 %), выхода стандартных отводков (13,8 %), а максимальные – устьичной проводимости (30,1 %) и площади листьев маточного куста (35,2 %). Данные различия вызваны, в первую очередь, уникальным происхождением изучаемых подвойных форм, объединяющих наследственный материал нескольких видов рода *Malus* Mill. У групп краснолистных и зеленолистных подвойных форм яблони не выявлено статистически достоверных различий соответствующих средним значениям эффективного квантового выхода ФС II, концентрации основных пигментов листьев (суммы хлорофиллов, каротиноидов). В группе из 23 краснолистных подвоев яблони выявлено достоверное увеличение ($p \leq 0,001$) на 8,6 % высоты маточного куста и на 10,1 % общей площади листьев растений относительно аналогичных средних показателей зеленолистных форм. У 20 зеленолистных подвоев среднее значение устьичной проводимости оказалось на 10,3 % выше ($p \leq 0,001$), чем у краснолистных. Среди перспективных клоновых подвоев интерес для селекции и производства представляют генотипы 2-3-14, 2-9-56, 2-9-77, 2-15-15, 4-2-50, 9-1-3, 9-1-9 характеризующиеся высоким выходом и укореняемостью отводков.

Conclusion. A collection of 43 apple rootstocks bred at the Michurinsk State Agrarian University using distant interspecific hybridization methods demonstrated significant variability in the values of a complex of the most important biological and economic-production indicators under the conditions of a stoolbed located in the Tambov Region. The minimum values of the coefficient variation were observed for the effective quantum yield of PS II (3.2 %), the proportion of rooted shoots (3.2 %), and the yield of standard layers (13.8 %), while the maximum values C_v were observed for stomatal conductance (30.1 %) and the total leaf area of the uterine bush (35.2 %). These differences are primarily due to the unique origin of the studied rootstocks, which combine the hereditary material of several species of the genus *Malus* Mill. No statistically significant differences in the mean values of the effective quantum yield of PS II and the concentration of the main leaf pigments (total chlorophylls, carotenoids)

were found between the groups of red-leaved and green-leaved apple rootstocks. In the group of 23 red-leaved apple rootstocks, a significant increase ($p \leq 0.001$) of 8.6 % in the height of the uterine bush and 10.1 % in the total leaf area of plants was observed relative to the same mean values of the green-leaved forms. In 20 green-leaved rootstocks, the mean value of stomatal conductance was 10.3 % higher ($p \leq 0.001$) than in the red-leaved ones. Among the promising clonal rootstocks, the following genotypes are of interest for selection and production: 2-3-14, 2-9-56, 2-9-77, 2-15-15, 4-2-50, 9-1-3, 9-1-9, characterized by a high yield and rooting of the layers.

Библиографический список

1. Трунов Ю. В., Соловьев А. В., Папихин Р. В., Дубровский М. Л., Шамшин И. Н. Перспективные клоновые подвои яблони для интенсивных садов, Садоводство и виноградарство. 2020. № 2. С. 34-40.
2. Marini R. P., Fazio G. Apple rootstocks: History, physiology, management, and breeding. Horticultural Reviews. 2018. V. 45. Pp. 197-312.
3. Verma P., Sharma N. C., Sharma D. P., Kumar P., Chand K., Thakur H. Dwarfism mechanism in *Malus* clonal rootstocks. Planta. 2024. V. 260. Is. 6. No. 133.
4. Wang Y., Li W., Xu X. F., Qiu C. P., Wu T., Wei Q. P., Ma F. W., Han Z. H. Progress of apple rootstock breeding and its use. Hortic. Plant. J. 2019. V. 5. Is. 5. Pp. 183-191.
5. Zhao T., Sun Q., Hu D. G. Unveiling rootstock-induced dwarfing from comparative genomic analysis. Mol. Horticulture. 2024. V. 4. No. 18. Pp. 1-3.
6. Бочкарев Е. А. Перспективные сорто-подвойные комбинации яблони для интенсивного садоводства в Среднем Поволжье. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 1. С. 72-80.
7. Савин Е. З., Чугунов В. Г., Антипенко М. И., Кузнецов А. А. Продуктивность и экономическая эффективность выращивания яблони на клоновых подвоях в условиях Среднего Поволжья. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 4 (96). С. 61-66.
8. Anthony B., Musacchi S. Dwarfing mechanisms and rootstock-scion relationships in apple. Italus Hortus. 2021. V. 28. Pp. 22-36.
9. Donadio L. C., Lederman I. E., Roberto S. R., Stucchi E. S. Dwarfing-canopy and rootstock cultivars for fruit trees. Revista Brasileira de Fruticultura. 2019. V. 41. e-997.
10. Kumar A., Ram S., Bists L. D., Singh C. P. High density orcharding in fruit crops: A Review. Annals of the Romanian Society for Cell Biology. 2021. V. 25. Is. 6. Pp. 948-961.
11. Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию: официальное издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2024. 620 с.
12. Wintermans J. E. G., De Mots A. Spectrophotometric Characteristics of Chlorophyll *a* and *b* and Their Phaeophytins in Ethanol. Biochimica et Biophysica Acta. 1965. V. 109. Pp. 448-453.
13. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
14. Chandel A. K., Khot L. R., Stöckle C. O., Kalcsits L., Mantle S., Rathnayake A. P., Peters T. R. Canopy Transpiration Mapping in an Apple Orchard Using High-Resolution Airborne Spectral and Thermal Imagery with Weather Data. AgriEngineering. 2025. V. 7 (5). No. 154. Pp. 1-21.
15. Valverdi N. A., Kalcsits L. Apple rootstock genotype affects scion responses to water limitations under field conditions. Acta Physiol. Plant. 2021. V. 43. Is. 97. Pp. 1-14.
16. Wang Z., Li G., Sun H., Ma L., Guo Y., Zhao Z., Gao H., Mei L. Effects of drought stress on photosynthesis and photosynthetic electron transport chain in young apple tree leaves. Biology Open. 2018. V. 7 (11). bio035279. Pp. 1-9.
17. Boris K. V., Trifonova A. A., Dubrovsky M. L., Shamshin I. N., Kudryavtsev A. M. Genetic Diversity of Apple Clonal Rootstocks from the Collection of the Michurinsk State Agrarian University Based on SSR Markers. Plants. 2023. V. 12 (16). No. 2991. Pp. 1-13.

References

1. Trunov Yu. V., Solov'yev A. V., Papikhin R. V., Dubrovsky M. L., Shamshin I. N. Perspective apple clonal rootstocks for intensive orchards. Horticulture and viticulture. 2020. № 2. Pp. 34-40.
2. Marini R. P., Fazio G. Apple rootstocks: History, physiology, management, and breeding. Horticultural Reviews. 2018. V. 45. Pp. 197-312.
3. Verma P., Sharma N. C., Sharma D. P., Kumar P., Chand K., Thakur H. Dwarfism mechanism in *Malus* clonal rootstocks. Planta. 2024. V. 260. Is. 6. No. 133.
4. Wang Y., Li W., Xu X. F., Qiu C. P., Wu T., Wei Q. P., Ma F. W., Han Z. H. Progress of apple rootstock breeding and its use. Hortic. Plant. J. 2019. V. 5. Is. 5. Pp. 183-191.
5. Zhao T., Sun Q., Hu D. G. Unveiling rootstock-induced dwarfing from comparative genomic analysis. Mol. Horticulture. 2024. V. 4. No. 18. Pp. 1-3.
6. Bochkarev E. A. Perspective stock-variety combinations of apple tree for intensive gardening in the Middle Volga region. Bulletin Samara State Agriculteral Academy. 2024. № 1. Pp. 72-80.
7. Savin E. Z., Chugunov V. G., Antipenko M. I., Kuznetsov A. A. Productivity and economic efficiency of apple cultivation on clonal rootstocks in the conditions of the Middle Volga region. Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2022. № 4 (96). Pp. 61-66.
8. Anthony B., Musacchi S. Dwarfing mechanisms and rootstock-scion relationships in apple. Italus Hortus. 2021. V. 28. Pp. 22-36.
9. Donadio L. C., Lederman I. E., Roberto S. R., Stucchi E. S. Dwarfing-canopy and rootstock cultivars for fruit trees. Revista Brasileira de Fruticultura. 2019. V. 41. e-997.
10. Kumar A., Ram S., Bists L. D., Singh C. P. High density orcharding in fruit crops: A Review. Annals of the Romanian Society for Cell Biology. 2021. V. 25. Is. 6. Pp. 948-961.
11. State register of varieties and hybrids of agricultural plants approved for use: official publication. М.: «Rosinformagrotekh». 2024. 620 p.
12. Wintermans J. E. G., De Mots A. Spectrophotometric Characteristics of Chlorophyll *a* and *b* and Their Phaeophytins in Ethanol. Biochimica et Biophysica Acta. 1965. V. 109. Pp. 448-453.
13. Dospekhov B. A. Methodology of field trial. М.: Agropromizdat, 1985. 351 p.

14. Chandel A. K., Khot L. R., Stöckle C. O., Kalcsits L., Mantle S., Rathnayake A. P., Peters T. R. Canopy Transpiration Mapping in an Apple Orchard Using High-Resolution Airborne Spectral and Thermal Imagery with Weather Data. *AgriEngineering*. 2025. V. 7 (5). No. 154. Pp. 1-21.
15. Valverdi N. A., Kalcsits L. Apple rootstock genotype affects scion responses to water limitations under field conditions. *Acta Physiol. Plant*. 2021. V. 43. Is. 97. Pp. 1-14.
16. Wang Z., Li G., Sun H., Ma L., Guo Y., Zhao Z., Gao H., Mei L. Effects of drought stress on photosynthesis and photosynthetic electron transport chain in young apple tree leaves. *Biology Open*. 2018. V. 7 (11). bio035279. Pp. 1-9.
17. Boris K. V., Trifonova A. A., Dubrovsky M. L., Shamshin I. N., Kudryavtsev A. M. Genetic Diversity of Apple Clonal Rootstocks from the Collection of the Michurinsk State Agrarian University Based on SSR Markers. *Plants*. 2023. V. 12 (16). No. 2991. Pp. 1-13.

Информация об авторах

Дубровский Максим Леонидович, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией, ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ (Российская Федерация, 393760, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101), ORCID 0000-0003-0883-2867, e-mail: element68@mail.ru

Папихин Роман Валериевич, кандидат сельскохозяйственных наук, проректор по научной и инновационной работе, ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ (Российская Федерация, 393760, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101), ORCID 0000-0001-8015-4242, e-mail: parom10@mail.ru

Кружков Андрей Викторович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ (Российская Федерация, 393760, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101), ORCID 0009-0005-7777-3305, e-mail: crujckov@yandex.ru

Чурикова Наталия Леонидовна, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник, ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ (Российская Федерация, 393760, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101), ORCID 0009-0006-0264-2682, e-mail: ch.natali19@mail.ru

Authors' Information

Dubrovsky Maksim Leonidovich, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory, Michurinsk State Agrarian University (Russian Federation, 393760, Tambov region, Michurinsk, Internatziional'naya str., 101), ORCID 0000-0003-0883-2867, e-mail: element68@mail.ru

Papikhin Roman Valerievich, Candidate of Agricultural Sciences, Vice-Rector for Research and Innovation Work, Michurinsk State Agrarian University (Russian Federation, 393760, Tambov region, Michurinsk, Internatziional'naya str., 101), ORCID 0000-0001-8015-4242, e-mail: parom10@mail.ru

Kruzhkov Andrey Viktorovich, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Michurinsk State Agrarian University (Russian Federation, 393760, Tambov region, Michurinsk, Internatziional'naya str., 101), ORCID 0009-0005-7777-3305, e-mail: crujckov@yandex.ru

Churikova Nataliya Leonidovna, Candidate of Agricultural Sciences, Junior Researcher, Michurinsk State Agrarian University (Russian Federation, 393760, Tambov region, Michurinsk, Internatziional'naya str., 101), ORCID 0009-0006-0264-2682, e-mail: ch.natali19@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-13

THE HYDROBIOLOGICAL STUDY OF THE HYDRAULIC STRUCTURES FOULING OF THE VOLGA-DON SHIPPING CHANNEL**Emelyanenko A. A., Basko Yu. V.**

*Middle Volga branch of the Russian federal research institute of fisheries and oceanography
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author e-mail: a.emelyanenko@volgograd.vniro.ru

Received 10.09.2025

Submitted 03.12.2025

Thanks. The authors are grateful to the chief mechanic of the Administration of the Volga-Don Basin of Inland Waterways D. Y. Chuprov for organizing and assisting in sampling at the hydraulic structure and providing photographic materials (indicated in the work).

Summary

The work is devoted to determining the taxonomic composition, abundance, and biomass of fouling hydrobionts, establishing their dominance, assessing the water quality of the reservoir site at the location of the hydraulic structure.

Abstract

Introduction. It is known that the reproduction of the ichthyofauna of the reservoir is determined by the production of its food base. Some producers settle on solid or secondary substrates on a solid base. Such organisms become fouling agents in the underwater part of hydraulic structures. The phenomenon of biological fouling is a factor in reducing the operational characteristics of structures. At the same time, fouling hydrobionts are part of the biological diversity of the reservoir ecosystem. Reducing the intensity of biofouling with minimal risk to the ecosystem of the reservoir is important both from the point of view of the operation of underwater structures, and from the point of view of the ecological state of the reservoir, and from the point of view of reproduction of the ichthyofauna of the reservoir. The first stage of solving such a problem, consisting in determining the taxonomic composition, abundance, biomass, dominance of fouling agents, and assessing the water quality of the water area of a hydraulic structure, is performed in this work.

Materials and methods. The samples were taken from the underwater part of the gate leaf of lock № 7 of the Volga-Don shipping channel. The processing, separation and analysis of samples were carried out according to the standard methodology of hydrobiological research using a standard set of research tools. A series of determinants by taxonomic groups was used to identify the species of organisms. The determina-

tion of the dominance of organisms in terms of abundance and biomass was performed on the Lyubarsky scale. The classification of aquatic organisms is given in accordance with the international zoological nomenclature, indicating synonymy for individual taxa with a controversial status. The water quality of the reservoir site was assessed by the saprobicity index calculated by the Pantle-Buck method in the Sladeczek modification. **The novelty.** Biological fouling of metal structures of hydraulic structures of the Volga-Don shipping canal has been studied at the present stage by methods of hydrobiological analysis. The modern taxonomic composition, numerical and mass ratio of fouling organisms of steel structures in the reservoir are revealed. The predominance of invasive species in terms of abundance and biomass is shown. **Results.** The taxonomic identification of the discovered aquatic organisms was performed. The abundance and biomass of aquatic organisms in samples and per unit area of the inhabited surface were determined. The absolute dominant, dominant and subdominant numbers were identified, the distribution of biomass by species was found. The water quality class was determined, and the sanitary condition of the reservoir site was assessed at the location of the studied metal structures. **Practical significance.** Artificial stocking of reservoirs and interluvial sections of the canal by benthic-eating fish is proposed as an environmentally safe factor in reducing the fouling rate of hydraulic structures.

Keywords: hydraulic structures, hydro-biological research, hydrobionts, biocenosis, benthos, biological fouling, fouling organisms.

Citation. Emelyanenko A. A., Basko Yu. V. The hydrobiological study of the hydraulic structures fouling of the Volga-Don shipping channel. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 125-140 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-13.

The authors' contribution. All the authors of this research were directly involved in the planning, execution of the research and the analysis of its results. All the authors of this article have read and approved the submitted final version.

Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 574.58

ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАСТАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ВОЛГО-ДОНСКОГО СУДОХОДНОГО КАНАЛА

**Емельяненко А. А., кандидат технических наук, доцент
Басько Ю. В., начальник отдела**

*Средневожский филиал государственного научного центра Российской Федерации
федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»
г. Волгоград, Российская Федерация*

Благодарности. Авторы выражают благодарность главному механику ФБУ «Администрация Волго-Донского бассейна внутренних водных путей» Д. Ю. Чупрову за организацию и помощь в отборе проб на гидротехническом сооружении и предоставленные фотоматериалы (указаны в работе).

Актуальность и цель. Известно, что воспроизводство ихтиофауны водоема определяется продукцией ее кормовой базы. Часть продуцентов селится на твердых либо вторичных субстратах на твердом основании. Такие организмы становятся обрастателями подводной части конструкций гидротехнических сооружений. Явление биологического обрастания – фактор снижения эксплуатационных характеристик конструкций. В то же время гидробионты-обрастатели – часть биологического разнообразия экосистемы водоема. Снизить интенсивность биообрастания с минимальным риском для экосистемы водоема актуально и с точки зрения эксплуатации подводных конструкций, и с точки зрения экологического состояния водоема, и с точки зрения воспроизводства ихтиофауны водоема. Первый этап решения подобной задачи, состоящий в определении таксономического состава, численности, биомассы, доминантности обрастателей, оценке качества воды акватории гидротехнического сооружения, выполнен в настоящей работе. **Материалы и методы.** Отбор проб произведен с подводной части створки ворот шлюза № 7 Волго-Донского судоходного канала. Обработка, разбор и анализ проб проведены по типовой методике гидробиологических исследований с применением типового набора исследовательских инструментов. Для идентификации видовой принадлежности организмов использована серия определителей по таксономическим группам. Определение доминантности организмов по численности и биомассе выполнено по шкале Любарского. Классификация гидробионтов приведена в соответствии с международной зоологической номенклатурой с указанием синонимии по отдельным таксонам с дискуссионным статусом. Качество воды участка водоема оценено по индексу сапробности, рассчитанному методом Пантле-Букка в модификации Сладечека. **Новизна.** Биологическое обрастание металлоконструкций гидротехнических сооружений Волго-Донского судоходного канала исследовано на современном этапе методами гидробиологического анализа. Выявлен современный таксономический состав, численное и массовое соотношение организмов-обрастателей стальных конструкций в водоеме. Показано преобладание инвазионных видов по численности и биомассе. **Результаты.** Выполнена таксономическая идентификация обнаруженных гидробионтов. Определена численность и биомасса гидробионтов в пробах и на единицу площади населяемой поверхности. Выявлены абсолютный доминант, доминант и субдоминант по численности, найдено распределение биомассы по видам. Определен класс качества воды, дана

оценка санитарному состоянию участка водоема по месту нахождения исследованных металлоконструкций. **Практическая значимость.** Предложено искусственное зарыбление водохранилищ и межшлюзовых участков канала бентосоядными рыбами как экологически безопасный фактор снижения интенсивности обрастания гидротехнических сооружений.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, гидробиологические исследования, гидробионты, биоценозы, бентос, биологическое обрастание, организмы-обрастатели.

Цитирование. Емельяненко А. А., Басько Ю. В. Гидробиологическое исследование обрастания гидротехнических сооружений Волго-Донского судоходного канала. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 125-140. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-13.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении исследования и анализе его результатов. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Волго-Донской судоходный канал имени В. И. Ленина – комплексный инфраструктурный гидротехнический объект, значение которого для водного транспорта и экономики России трудно переоценить. Очевидно, кратчайший внутриконтинентальный водный транспортный путь через водораздел Волги и Дона – главная функция канала, обеспечивающая как внутригосударственные, так и международные логистические потоки, полная протяженность которых определяется классом судов «река – море». В составе Единой глубоководной транспортной системы европейской части России канал, как известно, соединяет пять морей из числа омывающих европейскую часть страны.

Вместе с тем, Волго-Донской судоходный канал, включающий в себя три водохранилища: Карповское, Береславское, Варваровское – это и магистральный ирригационный водоток междуречья Волги и Дона, и источник хозяйственно-бытового водоснабжения прилегающих населенных пунктов и садовых товариществ, и рыбопромысловый водоем на участках названных водохранилищ, и акватория любительского рыболовства, и рекреационная территория, и, наконец, сформировавшаяся за три четверти века экологическая система. Столь разнонаправленные функции и статусы водоема – от обеспечения судоходства до обеспечения приемной емкости промысловых видов водных биологических ресурсов – очевидно, не могут не вступать в определенные противоречия между собой.

Так, воспроизводство ихтиофауны водоема определяется продукцией ее кормовой базы. Такие гидробионты, как моллюски, ракообразные, составляют существенную долю кормовой базы ихтиофауны водоема. В то же время, если продуцентами кормовой базы являются организмы, селящиеся на твердых субстратах либо на вторичных субстратах, образующихся на твердом основании, то такие организмы становятся обрастателями конструкций гидротехнических сооружений канала: шлюзов, насосных станций, подпорных и причальных стенок. Явление биологического обрастания – фактор снижения эксплуатационных характеристик гидротехнических сооружений. Изменение и перераспределение массы подвижных конструкций, изменение проектной геометрии запорных поверхностей из-за обрастателей, необходимость периодической очистки поверхностей, биокоррозия, вызванная изменением химического состава омывающего слоя воды в результате метаболизма обрастателей, необходимость применения коррозионностойких материалов, антикоррозионных покрытий, противокоррозионных способов защиты конструкций, применение, наконец, биоцидных составов покрытий, выделяющих токсичные вещества в водоем – все это факторы, либо снижающие конструктивную эффективность гидротехнических сооружений, либо влияющие на экологическую устойчивость экосистемы и безопасность ее обитателей. Биологическое разнообразие водной подсистемы экосистемы канала, разнообразие популяционно-видового состава гидробионтов, способных к образованию колоний на твердых субстратах, вступает в противоречие с техническим, функциональным назначением конструкций канала.

Исследование состава «вертикальных» водных биологических подсистем экосистемы канала дополняет и уточняет картину донного и пелагического биоразнообразия Волго-Донского судоходного канала [1], является актуальной гидробиологической задачей. Так, современных исследователей интересует состав планктонного сообщества Волго-Донского судоходного канала вообще [2] и его шлюзовых камер в частности [3].

Подводные поверхности металлических конструкций являются твердым вертикальным субстратом, населенным колониями многочисленных представителей перифитона – водными организмами-обрастателями от одноклеточных водорослей, грибов и бактерий до моллюсков, ракообразных и губок. Водное население конструкций, расположенных в створе водотока, особенно интересно как естественный популяционно-видовой срез флоры и

фауны водоема, включающий в себя, помимо собственно организмов-обрастателей, фито-, зоопланктонные [4, 5] и бентосные организмы [1, 6], не имеющие собственных биологических механизмов прикрепления, но оседающие на субстрате и обрастателях из потока воды.

Вертикальное расположение рассматриваемых конструкций, периодически и на значительное время перекрывающее створ водотока, позволяет распространить оценку распределения количества и массы гидробионтов, отобранных на поверхности конструкций, на весь межшлюзовый участок канала, оценить количественную и массовую долю инвазионных видов в экосистеме. Отдельные представители перифитона являются естественными биоиндикаторами качества воды в водоеме [7], в то время как другие являются естественными активными фильтраторами воды, способствуют ее очищению [8] и могут рассматриваться как фактор улучшения качества воды для ирригации агроландшафтов Волго-Донского междуречья [9].

Питаемый водой Дона, являющийся водным транспортным путем в навигационный период, расположенный в зоне водостока с сезонной сельскохозяйственной и пригородной садоводческой деятельностью человека Волго-Донской судоходный канал, очевидно, не может не испытывать сезонных изменений гидрохимических показателей [10]. Так, к концу навигационного периода снижается доля горюче-смазочного «следа» водного транспорта, доля химических веществ, выделяемых противообрастающими покрытиями судов, но в то же время замедляется водообмен межшлюзовых участков, увеличивается доля стока дождевых вод с полей и приусадебных участков, несущих в себе «след» органических и неорганических удобрений, с понижением температуры воды возрастает, как правило, концентрация растворенного кислорода, происходят другие изменения [11]. Рассматриваемое ниже исследование проведено в осенний период и является частью сезонных исследований биотопов Волго-Донского судоходного канала, формирующихся под воздействием абиотических и антропогенных факторов.

С целью выяснить таксономический состав, определить численность и биомассу гидробионтов-обрастателей, установить их доминантность, оценить качество воды участка водоема по месту нахождения гидротехнического сооружения, проведено гидробиологическое исследование подводной части металлических ворот шлюза № 7 Волго-Донского судоходного канала.

Материалы и методы. Состояние поверхностей ворот шлюза в начале эксплуатации иллюстрирует рисунок 1: поверхности свободны от обрастателей, покрыты антикоррозионным лакокрасочным материалом. Результат обрастания подобных поверхностей в конце межремонтного периода эксплуатации иллюстрируют рисунки 2, 3.

Отбор гидробиологических проб с подводной части металлоконструкций произведен 4 октября 2023 года с разрешения эксплуатирующей организации (Волжский район гидросооружений и судоходства – филиал ФБУ «Администрация Волго-Донского бассейна внутренних водных путей») во время производства плановых работ по ремонту и техническому обслуживанию. Пробы получены с подводной части створки ремонтных ворот шлюза № 7 Волго-Донского судоходного канала. Габаритные размеры створки (около): в горизонтальном сечении – 9×1 м, высота – 6 м; масса (около) – 19 т; материал – сталь конструкционная низколегированная для сварных конструкций; покрытие – эпоксидное (уточнение марки материала и покрытия избыточно в рамках настоящей работы); период межремонтной эксплуатации – 5 лет. Створка извлечена из воды непосредственно перед отбором проб (рисунок 4). Отбор произведен соскобом живой биомассы с поверхности металлоконструкции посредством металлического аптечного шпателя № 2 в контейнер. Выполнено 25 соскобов с участков, равномерно распределенных по площади одной стороны створки (5 рядов по 5 участков), каждый соскоб – с площади 0,01 м² (0,1×0,1 м). Соскобы выполнены с поверхности той стороны створки, которая постоянно находится в воде во время эксплуатации.

Географические координаты точки обора проб: 48°26'05" с.ш., 44°26'04" в.д.

Условия отбора проб (по состоянию на 12:00 местного времени 04.10.2023 г.): температура воздуха +18°C, атмосферное давление 756 мм рт. ст., относительная влажность воздуха 47 %, ветер северный 2 м/с, ясно, без осадков, температура воды +15°C.

Анализ проб выполнен в период с октября 2023 года по январь 2024 года.

Отобранные пробы отмыты от излишков грунта через промывалку из газ-сита № 23, перенесены в контейнер, зафиксированы 4 %-м раствором формалина, этикетированы. Обработка проб проведена в лабораторных условиях по отраслевым методикам^{19, 20}. Ка-

¹⁹ Салазкин А. А., Алимов А. Ф., Финогонова Н. П., Винберг Г. Г. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция. – Л.: ГосНИОРХ – ЗИН, 1983. – 52 с.

качественно-количественный анализ гидробионтов проведен с использованием электронных лабораторных весов МЛ 0,3 В1ЖА «Ньютон», бинокляра ЛОМО МСП-1 и биноклярного микроскопа MBL-2000.



Рисунок 1 – Состояние поверхностей металлоконструкций в начале эксплуатации (фото: Д. Ю. Чупров, ФБУ «Администрация «Волго-Дон», 2023)

Figure 1 – The condition of the surfaces of metal structures at the beginning of operation (photo: D. Yu. Chuprov, Volga-Don Administration, 2023)



а б

Рисунок 2 – Обрастание подводной части металлоконструкций (фото: Д. Ю. Чупров, ФБУ «Администрация «Волго-Дон», 2022): а – общий вид; б – фрагмент

Figure 2 – Fouling of the underwater part of metal structures (photo: D. Yu. Chuprov, Volga-Don Administration, 2022): a – general view; b – fragment

При идентификации видовой принадлежности организмов использована серия определителей по необходимым таксономическим группам^{21, 22, 23, 24, 25, 26}. Доминирование по численности классифицировано согласно шкале Любарского²⁷. Классификация и

²⁰ Салазкин А. А., Огородникова В. А. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Задачи и методы изучения использования кормовой базы рыб. – Л.: ГосНИОРХ – ЗИН, 1984. – 19 с.

²¹ Иванова Л. В., Степаньянц С. Д. и др. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 1. Низшие беспозвоночные / Под ред. С. Я. Цалолихина. – СПб.: Зоологический институт РАН, 1994. – 396 с.

²² Алексеев В. Р., Василенко С. В. и др. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 2. Ракообразные / Под общ. ред. С. Я. Цалолихина. – СПб.: Зоологический институт РАН, 1995. – 628 с.

²³ Андреева Р. В., Бродская Н. К. и др. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 4. Двукрылые насекомые / Под общ. ред. С. Я. Цалолихина. – СПб.: Наука, 2000. – 998 с.

²⁴ Иванов В. Д., Григоренко В. Н. и др. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 5. Высшие насекомые / Под общ. ред. С. Я. Цалолихина. – СПб.: Наука, 2001. – 836 с.

²⁵ Винберг Г. Г., Чибисова О. И. и др. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР (планктон и бентос) / Под ред. Л. А. Кутиковой, Я. И. Старобогатова. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 512 с.

²⁶ Панкратова В. Я. Личинки и куколки комаров подсемейства Chironominae фауны СССР (Diptera, Chironomidae=Tendipididae). – Л.: Наука, 1983. – 296 с.

²⁷ Баканов А. И. Количественная оценка доминирования в экологических сообществах // Количественные методы экологии и гидробиологии. Сборник научных трудов, посвященный памяти А.И. Баканова. – Тольятти: СамНЦ РАН, 2005. – С. 37-67.

валидные названия гидробионтов приведены в соответствии с международной зоологической номенклатурой²⁸ с указанием синонимии по отдельным таксонам с дискуссионным статусом.

Санитарное состояние водоема оценивали по индексу сапробности, рассчитанному методом Пантле-Букка в модификации Сладечека²⁹. Величины сапробности видов приняты по унифицированным методикам^{30, 31}. Приняты во внимание предложения современных исследователей к классификации гидробионтов по сапробности [6] и оценке трофического статуса медленно текущих водотоков [12].

Следует подчеркнуть, что в исследовании не ставилось задач микробиологического анализа – выявления в пробах бактерий, архей, микромицетов, хотя и известен вклад в биокоррозию металлов сульфатредуцирующих прокариотов и кислотообразующих бактерий и грибов. Пробы исследовались на присутствие эукариотов за исключением грибов (факультативно установлено наличие в пробах представителей рода *Penicillium*).

Результаты и обсуждение. Общий таксономический состав обнаруженных гидробионтов в соответствии с международной зоологической номенклатурой (с указанием синонимии по отдельным таксонам с дискуссионным статусом) представлен в таблице 1.

В результате анализа проб идентифицировано 12 видов гидробионтов: 1 вид губок, 2 представителя кольчатых червей (полихеты и пиявки), 3 вида моллюсков, 3 – ракообразных, 3 – личинок насекомых (из отрядов ручейников и двукрылых).

Из кольчатых червей в обрастаниях встречались представители двух классов – многощетинковые (Polychaeta) и пиявки (Hirudinea).

Из 58 известных для водоемов Волгоградской области видов олигохет (Oligochaeta), являющихся одним из основных количественных компонентов донной фауны, в пробах биообрастаний ни один вид не обнаружен. Причиной тому, вероятно, служат особенности твердого вертикального субстрата и периодические гидродинамические нагрузки на его поверхность. Олигохеты, будучи мягкотелыми организмами, предпочитающими донные мягкие или илистые поверхности, не выдерживают таких условий.



Рисунок 3 – Обрастание подводной части металлоконструкций
(фото: Д. Ю. Чупров, ФБУ «Администрация «Волго-Дон», 2022): а – общий вид; б – фрагмент
Figure 3 – Fouling of the underwater part of metal structures
(photo: D. Yu. Chuprov, Volga-Don Administration, 2022): a – general view; b – fragment

²⁸ Global Biodiversity Information Facility, 2025. URL: <https://www.gbif.org/ru/species/search> (дата обращения: 07.07.2025). Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

²⁹ Абакумов В. А., Тальских В. Н. и др. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В. А. Абакумова. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 318 с.

³⁰ Унифицированные методы исследования качества вод. Ч. III. Методы биологического анализа вод. – М.: Секретариат СЭВ, 1983. – 371 с.

³¹ Wegl R. Index für die Limnosaprobität // Beiträge zur Gewässerforschung XIII: Wasser und Abwasser. B. 26. – 1983. – S. 1-176.



Рисунок 4 – Извлечение створки ворот шлюза № 7 перед отбором проб 4 октября 2023 года (фото авторов, 2023): а – общий вид; б – фрагмент

Figure 4 – Extraction of the gate leaf of lock № 7 before sampling on October 4, 2023 (photo by the authors, 2023): a – general view; b – fragment

Таблица 1 – Таксономическая характеристика гидробионтов, обнаруженных в пробах
Table 1 – Taxonomic characteristics of aquatic organisms found in samples

№	Тип / Type	Класс / Class	Отряд / Group	Семейство / Family	Подсемей- ство / Subfamily	Вид / Type
1	Porifera	Demos- pongiae	Cornacus- pongida	Spongillidae	-	<i>Spongilla lacustris</i> (Linnaeus, 1759)
2	Annelida	Polychaeta	Terebellida	Ampharetidae	-	<i>Hypaniola kowalewskii</i> (Grimm, 1877)
3		Hirudinea	Rhynchobdellea	Ichthyobdellidae	-	<i>Piscicola geometra</i> (Linnaeus, 1761)
4	Mollusca	Gastropoda	Neritopsiformes	Neritidae	-	<i>Theodoxus major</i> (Issel, 1865) (= <i>Theodoxus</i> <i>astracanicus</i> (Starobogatov, 1994))
5		Bivalvia	Actinodontida (Eulamelli- brancchiata)	Dreissenidae	-	<i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas, 1771)
6						<i>Dreissena bugensis</i> (Andrusov, 1897)
7	Arthropoda	Crustacea	Amphipoda	Gammaridae	-	<i>Dikerogammarus villosus</i> (Sowinsky, 1894)
8						<i>Chaetogammarus</i> (Martynov, 1924) (= <i>Gammarus</i> <i>Chae-</i> <i>togammarus behningi</i> (Martynov, 1919))
9				Corophiidae	-	<i>Chelicorophium</i> <i>chelicorne</i> (G.O. Sars, 1895)-(= <i>Corophium</i> <i>chelicorne</i> (G.O. Sars, 1895))
10		Insecta	Trichoptera	Ecnomidae	-	<i>Ecnomus tenellus</i> (Rambur, 1842)
11			Diptera	Chironomidae	Chiro- nominae	<i>Dicrotendipes nervosus</i> (Staeger, 1839)
12						<i>Polypedium</i> (Kieffer, 1912) (= <i>Polypedium exectum</i> (Kieffer, 1915))

Из 79 отмеченных к настоящему времени в водоемах Волгоградской области видов моллюсков, относящихся к двум классам: двусторчатые (Bivalvia) – 32 вида, брюхоногие (Gastropoda) – 47 видов³², в отобранных пробах идентифицированы лишь 3 вида: двусторчатые *Dr. polymorpha* (рисунок 5), *Dr. bugensis* (рисунок 6) и брюхоногий *Th. major* (рисунок 7). Причем как по численности, так и по биомассе преобладает инвазионный вид *Dr. bugensis*, потеснивший за последние 25 лет прежнего доминанта – аборигена *Dr. polymorpha* в целом в водоемах и, особенно, в водохранилищах Волгоградской области.

Из двусторчатых моллюсков, обитающих в водах Волго-Донского судоходного канала, наиболее массовым видом до 2000-х годов была *Dr. polymorpha*. Еще в молодом возрасте, на стадии оседающего велигера (в среднем длиной 0,2 мм), моллюск с помощью биссусных нитей плотно прикрепляется к всевозможным субстратам, выступая над поверхностью дна водоема, и ведет оседлый образ жизни. Растут моллюски довольно интенсивно и к концу вегетационного периода сеголетки могут достигать длины 12 мм и более. В результате этих биологических особенностей дрейссены образует мощные обрастания в виде щеток, друз и гроздей, состоящие из разновозрастных особей³³.



Рисунок 5 – *Dreissena polymorpha*
(фото авторов, 2023)

Figure 5 – *Dreissena polymorpha*
(photo by the authors, 2023)



Рисунок 6 – *Dreissena bugensis*
(фото авторов, 2023)

Figure 6 – *Dreissena bugensis*
(photo by the authors, 2023)



а



б

Рисунок 7 – *Theodoxus major* (фото авторов, 2023):
а – вид со стороны раковины; б – вид со стороны устья
Figure 7 – *Theodoxus major* (photo by the authors, 2023):
а – view of the shell; б – view of the mouth

³² Ткачева Т. Д., Басько Ю. В. и др. Бентофауна различных типов водоемов Волго-Ахтубинской поймы // Рыбохозяйственная наука. История, современность, перспективы: Международная научно-практическая конференция, посвященная 110-летию создания ГосНИОРХ им. Л. С. Берга (Санкт-Петербург, 23-24 октября 2024 г.). Сборник материалов. – М.: ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», 2024. – С. 562-565.

³³ Антонов П. И. Моллюск *Dreissena* и борьба с обрастаниями гидротехнических сооружений // Актуальные проблемы водохранилищ: Всероссийская конференция с участием специалистов из стран ближнего и дальнего зарубежья (Борск, 29 октября – 3 ноября 2002 года). Тезисы докладов. – Ярославль: ИБВВ РАН, 2002. – С. 11-12.

Однако, в пробах обрастаний как по численности, так и по биомассе доминировал другой вид дрейссены – *Dr. bugensis*. В настоящее время этот вид широко распространен в Волгоградской области и обитает в водоемах различного типа. Особенно крупные его скопления отмечаются в водохранилищах. Так, осенью 2024 года в водохранилищах Волго-Донского судоходного канала по данным мониторинговых исследований Средневолжского (в 2024 году – Волгоградского) филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» средние количественные показатели вида составили 1928 экз./м² по численности и 726,19 г/м² по биомассе. Здесь он занял определенную нишу, потеснив аборигена – полиморфную дрейссену, но его биологические и экологические характеристики еще слабо изучены.

Значение моллюсков рода *Dreissena* в жизни водоема весьма велико и при массовом развитии они выступают как мощный биотический фактор формирования всего облика экосистемы. Вокруг поселений моллюска создается мезокосм с особым, отличным от соседних участков населением. Совместно с дрейссеной на тех же биотопах встречаются и другие макробеспозвоночные, например, обнаруженный в пробах вид *Sp. lacustris* (рисунок 8, а), идентифицированный по спикулам (рисунок 8, г). Многие гидробионты связаны с дрейссеной самым непосредственным образом, образуя так называемую «консорцию» (рисунки 8, б; 9). Для различных представителей зообентоса (олигохеты, амфиподы, клопы, личинки хирономид) отмечена топическая зависимость от друз, а сам моллюск, обладая способностью фильтровать воду, играет существенную роль в процессах самоочищения водоемов [8]. Кроме того, дрейссена, особенно ее молодь, интенсивно потребляется многими бентосоядными рыбами: лещом, густерой, сазаном, плотвой и др., и некоторыми водоплавающими птицами.

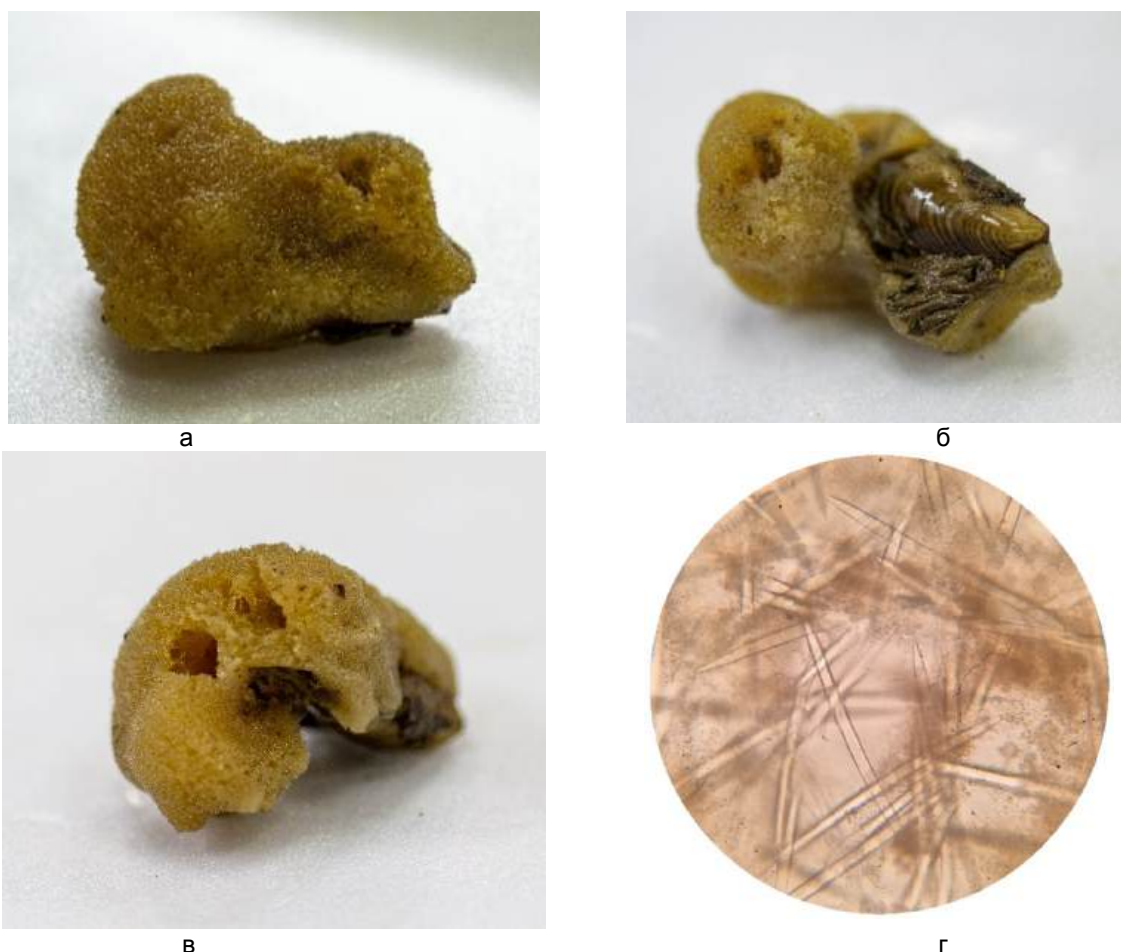


Рисунок 8 – *Spongilla lacustris* (фото авторов, 2024):
а – общий вид; б – обрастание двустворчатого моллюска; в – оскулумы; г – спикулы, ×400
Figure 8 – *Spongilla lacustris* (photo by the authors, 2024):
a – general view; b – fouling of a bivalve mollusk; c – osculums; d – spicules, ×400

На тех участках водоемов, где непосредственно обитает дрейссена, она изменяет условия обитания гидробионтов, образуя удобный субстрат, изобилующий многочисленными и разнообразными убежищами для поселения целого ряда макробеспозвоночных, изменяет скорость течения воды, освещенность, улучшает кислородные условия. Также дружки дрейссены являются хорошим субстратом для поселения собственной молоди. Дрейссена в больших количествах осаждает содержащуюся в воде взвесь, которая концентрируется в виде агглютинатов и фекалий, представляет собой хороший корм для многих детритофагов и определяет прямые трофические связи локального биоценоза³⁴.

При попадании дрейссены на конструкции гидротехнических сооружений она создает помехи их эксплуатации, в частности мешает плотному смыканию створок ворот шлюзов. Обрастание дрейссеной – одна из проблем обеспечения проектных эксплуатационных характеристик гидротехнических сооружений. Сегодня, как и весь период эксплуатации Волго-Донского судоходного канала, она решается довольно затратным способом периодической механической очистки конструкций и восстановления антикоррозионного покрытия поверхностей, поэтому требует возможно более рационального решения, исключаящего в то же время вред экосистеме канала.



Рисунок 9 – Убежища корофид, прикрепленные к раковине двусторчатого моллюска (фото авторов, 2024)
Figure 9 – Corophiid shelters attached to the shell of a bivalve mollusk (photo by the authors, 2024)



Рисунок 10 – *Chelicorophium chelicorne* (фото авторов, 2024)
Figure 10 – *Chelicorophium chelicorne* (photo by the authors, 2024)

Наиболее специфической чертой исследованного комплекса гидробионтов является обилие высших ракообразных *Ch. chelicorne* (рисунок 10). Все корофииды живут в построенных ими трубках, которые прикрепляют к поверхности грунта, камням, раковинам моллюсков, к наружной обшивке судов и подводным конструкциям. Фильтрация служит основным способом добывания пищи корофиид. Это типичные фильтраторы-детритофаги. Этот инвазионный вид успешно расселяется в водоемах Волгоградской области, благодаря высокой толерантности к минерализации и загрязнению, а также способности строить защитные трубки, что снижает уязвимость организмов.

Также в пробах обнаружены два вида ракообразных из семейства Gammaridae, количественные показатели которых малозначимы.

Насекомые и их личинки составляют весьма значительную часть животного населения водоемов. В водоемах Волгоградской области по многолетним данным мониторинговых исследований Средневожского (ранее – Волгоградского) филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» встречен 121 вид насекомых, определенных по личинкам. В настоящем исследовании из отрядов класса насекомых в пробах встречены представители ручейников (Trichoptera) и двукрылых (Diptera).

³⁴ Протасов А. А. Из опыта исследований популяций и сообществ дрейссены // Дрейссениды: эволюция, систематика, экология. – Ярославль: Ярославский печатный двор, 2008. – С. 9-22.

Из 51 вида ручейников, обитающих в водоемах Волгоградской области, выявлен только 1 вид – *Ec. tenellus*. Он наиболее распространен в водохранилищах. Личинки ручейника питаются в основном детритом, реже встречаются специализированные хищники и потребители высших растений, отличаются оксифильностью. Потребность в кислороде является ведущим фактором в их распределении по биотопам.

Отряд двукрылых (Diptera) представлен двумя видами из повсеместно распространенного семейства комаров-звонцов (Chironomidae): *D. nervosus* и *Polypedilum*, которые являются детритофагами.

В пробах единично встречены личинки кровососущих комаров рода *Culex* (семейство Culicidae, подсемейство Culicinae) (рисунок 11), но количественно они не учитываются в настоящей работе, так как не являются типичными бентосными организмами или организмами-обрастателями, но могут временно находиться в придонных слоях или на вторичных субстратах, сформированных обрастателями, особенно в мелких стоячих водоемах. Их основная зона обитания – толща и поверхность воды предпочтительно спокойных мест водоема. Личинки комаров рода *Culex* встречаются повсеместно в неглубоких водоемах практически во всех биотопах. Личинки – фильтраторы, питаются частицами детрита и планктоном, находящимся под поверхностной пленкой воды. Наиболее типичными местами выплода комаров этого рода являются микроводоемы, образовавшиеся в результате атмосферных осадков, емкости с водой для полива в летний период, декоративные водоемы, ввиду чего отдельные виды широко распространены на урбанизированных территориях, прилегающих к каналу.



Рисунок 11 – *Culex* sp., ×4
(фото авторов, 2024)

Figure 11 – *Culex* sp., ×4
(photo by the authors, 2024)



Рисунок 12 – *Navicula* sp., ×100
(фото авторов, 2024)

Figure 12 – *Navicula* sp., ×100
(photo by the authors, 2024)

В пробах также встречены диатомовые водоросли рода *Navicula* (рисунок 12), которые не учтены количественно в настоящем исследовании, так как их зона обитания, как правило, не выражена однозначно, а присутствие возможно и среди фитопланктона, и среди фитобентоса, и на вторичных субстратах, сформированных обрастателями. Диатомовые водоросли (Bacillariophyta) – наиболее широко распространенная группа водорослей, представляющая собой одноклеточные микроскопические организмы, живущие одиночно или соединенные в разнообразные колонии: нити, ленты, цепочки, звездочки, кустики и бесформенные пленки. Клетка диатомовой водоросли состоит из протопласта, пектиновой оболочки и внешней кремнеземной оболочки и не имеет механизма прикрепления к поверхности. В отобранных пробах *Navicula* представлена одиночными организмами, колоний не обнаружено.

Результаты подсчета численности и оценки биомассы гидробионтов в пробах сведены в таблицу 2. Численность и биомасса на единицу площади (m^2) определены усредненно с учетом количества проб (25) и площади одного соскоба ($0,01 m^2$): делением результата в пробах на 25 и умножением на 100. В таблице 2 приведены также относительные частоты встречаемости и индексы сапробности видов, на основании которых вычислен индекс сапробности всей исследованной совокупности гидробионтов.

Таблица 2 – Численность и биомасса гидробионтов-обрастателей
Table 2 – The number and biomass of hydrobionts-fouling

Вид / Type	Численность в пробе, экз. / The number in the sample, copies	Биомасса в пробе, мг / Biomass in the sample, mg	Численность на единицу площади, экз./м ² / Number per unit area, copies/m ²	Биомасса на единицу площади, г/м ² / Biomass per unit area, g/m ²	Относительная частота встречаемости вида <i>h</i> / The relative frequency of occurrence of the type <i>h</i>	Индекс сапробности <i>s</i> / Saprobity index <i>s</i>	Доля от общей численности, % / Share of the total number, %	Доля от общей биомассы, % / Share of total biomass, %
<i>Spongilla lacustris</i>	2 ^I	2151	8	8,604	2	1,7	0,02	0,487
<i>Hypaniola kowalewskii</i>	40	96	160	0,384	2	2,5	0,50	0,022
<i>Piscicola geometra</i>	8	16	32	0,064	2	2	0,10	0,004
<i>Theodoxus major</i>	64	520	256	2,080	2	1,5	0,80	0,118
<i>Dreissena polymorpha</i>	648	138168	2592	552,672	3	1,4	8,06	31,303
<i>Dreissena bugensis</i>	1544	292496	6176	1169,984	5	1,4	19,20	66,266
<i>Dikergammarus villosus</i>	56	530	224	2,120	2	2,8	0,70	0,120
<i>Chaetogammarus</i>	168	1590	672	6,360	2	2,5	2,09	0,360
<i>Chelicorophium chelicorne</i>	5440	5776	21760	23,104	9	2,5 ^{II}	67,64	1,309
<i>Ecnomus tenellus</i>	24	24	96	0,096	2	1,9	0,30	0,005
<i>Dicrotendipes nervosus</i>	16	8	64	0,032	2	2	0,20	0,002
<i>Polydora</i>	32	21	128	0,084	2	2,1	0,40	0,005
Итог	8042^{III}	441396^{III}	32168^{III}	1765,584^{III}	35^{III}	2,05^{IV}	-	-

Примечания:

^I количество организмов вида *Spongilla lacustris* подсчитано по числу оскулумов (устыц, рисунок 8, в) в колонии;^{II} для *Chelicorophium chelicorne* точное численное значение сапробной валентности по литературным источникам не установлено, индекс сапробности вида определен исходя из того, что вид относится к мезосапробу, как среднее арифметическое границ интервала для мезосапробной зоны: $s = (1,51 + 3,5) / 2 \approx 2,5$;^{III} сумма значений по видам;^{IV} индекс сапробности совокупности организмов в пробе вычислен по формуле $S = \sum(sh) / \sum h$, где *s* – индекс сапробности вида, *h* – относительная частота встречаемости вида по глазомерной шкале (метод Пантле-Букка в модификации Сладечека).Notes: I the number of organisms of the *Spongilla lacustris* species is calculated by the number of osculum (stomata, Figure 8, c) in the colony; II for *Chelicorophium chelicorne*, the exact numerical value of the saprobic valence has not been established according to literary sources, the saprobic index of the species is determined based on the fact that the species belongs to the mesosaprobium as the arithmetic mean of the interval boundaries for the mesosaprobic zone: $s = (1,51 + 3,5) / 2 \approx 2,5$; III the sum of values by type; The IV index of saprobicity of the aggregate of organisms in the sample is calculated by the formula $S = \sum(sh) / \sum h$, where *s* is the saprobicity index of the species, *h* is the relative frequency of occurrence of the species on an ocular scale (the Pantle-Bucca method modified by Sladeczek).

Суммарная численность организмов-обрастателей на единицу площади составила 32168 экз./м², плотность биомассы – 1765,584 г/м². Основную долю общей численности составили высшие ракообразные *Ch. chelicorne* – 67,64 %, а общей биомассы – моллюски – 97,687 % с доминированием представителей рода *Dreissena* – 97,569 %.

Известно, что гидробионты являются хорошими биоиндикаторами экологического благополучия водоемов. Загрязнение водоема приводит к закономерным качественным и количественным изменениям популяций гидробионтов. Основу биологической индикации составляют такие показатели, как структура популяций гидробионтов, присутствие в воде показательных организмов – видов-индикаторов и их количественное соотношение.

Анализ качества вод по зообентосному сообществу, выступившему в роли обрастателей, проведен универсальным методом индикаторных организмов Пантле – Букка в модификации Сладечека. Индекс сапробности исследуемого участка водоема – верхнего бьефа шлюза № 7 – составил $S=2,05$, что соответствует III классу качества вод – β -мезосапробная зона, или «умеренно загрязненная» вода.

Следует отметить, что сапробные валентности количественно неучтенных видов составляют: для *Navicula sp.* – $s=2,0$; для *Culex sp.* – $s=1,55$. Указанные значения находятся в пределах β -мезосапробной зоны, что является дополнительным подтверждением рассчитанного индекса сапробности.

Таблица 3 – Шкала доминирования

Table 3 – The scale of dominance

Класс / Class	Границы классов по численности N, % / Class boundaries by number N, %	Степень доминирования / Degree of dominance
1	$0 < N \leq 4$	Малозначимый вид / An insignificant species
2	$4 < N \leq 16$	Второстепенный вид / A secondary species of aquatic organisms
3	$16 < N \leq 36$	Субдоминант / The subdominant
4	$36 < N \leq 64$	Доминант / The dominant
5	$64 < N \leq 100$	Абсолютный доминант / The absolute dominant

Таблица 4 – Классификация видов по частоте встречаемости

Table 4 – Classification of species by frequency of occurrence

Вид / Type	Доля от общей численности, % / Share of the total number, %	Границы классов по численности N, % / Class boundaries by number N, %	Степень доминирования / Degree of dominance
<i>Spongilla lacustris</i>	0,02	$0 < N \leq 4$	Малозначимый вид / An insignificant species
<i>Hypaniola kowalewskii</i>	0,50	$0 < N \leq 4$	Малозначимый вид / An insignificant species
<i>Pisicicola geometra</i>	0,10	$0 < N \leq 4$	Малозначимый вид / An insignificant species
<i>Theodoxus major</i>	0,80	$0 < N \leq 4$	Малозначимый вид / An insignificant species
<i>Dreissena polymorpha</i>	8,06	$4 < N \leq 16$	Второстепенный вид / A secondary species
<i>Dreissena bugensis</i>	19,20	$16 < N \leq 36$	Субдоминант / The subdominant
<i>Dikerogammarus villosus</i>	0,70	$0 < N \leq 4$	Малозначимый вид / An insignificant species
<i>Chaetogammarus</i>	2,09	$0 < N \leq 4$	Малозначимый вид / An insignificant species
<i>Chelicorophium chelicorne</i>	67,64	$64 < N \leq 100$	Абсолютный доминант / The absolute dominant
<i>Ecnomus tenellus</i>	0,30	$0 < N \leq 4$	Малозначимый вид / An insignificant species
<i>Dicrotendipes nervosus</i>	0,20	$0 < N \leq 4$	Малозначимый вид / An insignificant species
<i>Polypedilum</i>	0,40	$0 < N \leq 4$	Малозначимый вид / An insignificant species

В гидробиологии обычно применяются четыре градации доминирования: доминанты, субдоминанты, второстепенные и случайные виды. При учете организмов, равномерно распределенных на исследуемой поверхности, методом выборочного обследования их численность (при прочих равных условиях) пропорциональна количеству собранных проб, то есть обследованной площади, поэтому для выделения классов доминирования по численности может использоваться геоботаническая шкала Любарского с большим количеством степеней доминирования. Шкала Любарского изначально разработана для растительных сообществ, но ее принципы (градация обилия по численности) можно перенести на бентосные организмы, заменив проективное покрытие на долю особей. В настоящей работе шкала доминирования Любарского адаптирована для представителей бентоценоза, составляющих биоценоз обрастателей: аналогом проективного покрытия в шкале служит доля (%) численности N особей вида в общей численности всех организмов (таблица 3).

На основе принятой шкалы проведена классификация видов по частоте их встречаемости в районе исследования (таблица 4).

Абсолютным доминантом по численности выступает *Ch. chelicorne* (67,64 %), субдоминант – *Dr. bugensis* (19,20 %), второстепенный вид – *Dr. polymorpha* (8,06 %). Остальные виды имеют меньшую степень распространения, их встречаемость колеблется в пределах от 0,02 до 2,09 %.

Заключение. Результаты гидробиологического исследования обрастания стальных конструкций гидротехнических сооружений Волго-Донского судоходного канала позволяют сделать следующие выводы:

1. В результате анализа проб идентифицировано 12 видов гидробионтов, относящихся к 4 типам, 7 классам, 7 отрядам, 9 семействам, 11 родам. Из них 1 вид губок, 2 представителя кольчатых червей (полихеты и пиявки), 3 вида моллюсков, 3 – ракообразных, 3 – личинок насекомых (из отрядов ручейников и двукрылых).

2. Абсолютным доминантом по численности среди 12-ти идентифицированных обрастателей являются высшие ракообразные вида *Ch. chelicorne* (67,64 %), субдоминантом – моллюски вида *Dr. bugensis* (19,20 %), второстепенным видом – *Dr. polymorpha* (8,06 %). На долю остальных 9-ти видов по численности приходится в совокупности 5,10 %. Суммарная численность организмов-обрастателей на единицу площади – 32168 экз./м².

3. Основную долю общей биомассы составляют моллюски вида *Dr. bugensis* (66,266 %), за ними – *Dr. polymorpha* (31,303 %) и высшие ракообразные *Ch. chelicorne* (1,309 %). На долю остальных 9-ти видов по биомассе приходится в совокупности 1,122 %. Суммарная биомасса обрастателей на единицу площади – 1765,584 г/м².

4. Качество воды исследованного участка водоема – верхнего бьефа шлюза № 7 – на момент исследования (октябрь 2023 года) соответствует III классу – β-мезосапробная зона, «умеренно загрязненная» вода (индекс сапробности $S=2,05$).

5. Сочетание механических, экологических и трофических факторов делает среду обитания на створках ворот шлюза пригодной не для всех видов организмов, составляющих бентофауну в этом же водоеме, тогда как дрейссениды и корофииды весьма успешно адаптировались к этим условиям. При том что и абсолютный доминант по численности (*Ch. chelicorne*), и преобладающий вид по биомассе (*Dr. bugensis*) являются инвазионными в низовьях Волги и Дона видами.

6. Подавляющее преобладание среди обрастателей по биомассе дрейссен (97,569 %), являющихся кормовой базой ряда пресноводных бентосоядных видов ихтиофауны, позволяет рассматривать искусственное зарыбление канала, его водохранилищ и межшлюзовых участков, такими озерно-речными видами, свойственными бассейнам Нижней Волги и Дона, как густера, сазан, лещ, плотва, в качестве первого и экологически безопасного шага к снижению интенсивности обрастания гидротехнических сооружений.

Conclusion. The results of a hydro-biological research of fouling of steel hydraulic structures of the Volga-Don shipping canal allow us to draw the following conclusions:

1. As a result of the sample analysis 12 species of aquatic organisms, belonging to 4 types, 7 classes, 7 orders, 9 families, 11 genera, were identified. Of these 1 species of sponges, 2 representatives of annelids (polychaetes and leeches), 3 species of mollusks, 3 crustaceans, 3 insect larvae (from the orders of caddisflies and diptera).

2. The absolute dominant species among the 12 identified foulers are the higher crustaceans of the species *Ch. chelicorne* (67,64 %), the subdominant is the mollusks of the species *Dr. bugensis* (19,20 %), the secondary species is *Dr. polymorpha* (8,06 %). The remaining 9 species account for a total of 5,10 % in number. The total number of fouling organisms per unit area is 32168 specimens/m².

3. The main share of the total biomass consists of mollusks of the species *Dr. bugensis* (66,266 %), followed by *Dr. polymorpha* (31,303 %) and higher crustaceans *Ch. chelicorne* (1,309 %). The remaining 9 species account for 1,122 % of the total biomass. The total biomass of fouling agents per unit area is 1765,584 g/m².

4. The water quality of the studied reservoir area – the upper reaches of lock № 7 – at the time of the research (October 2023) corresponds to class III – β -mesosaprobic zone, «moderately polluted» water (saprobicity index $S=2,05$).

5. The combination of mechanical, ecological and trophic factors makes the habitat on the gateway gates not suitable for all species of organisms that make up the benthic fauna in the same reservoir, whereas dreissenids and corophiids have very successfully adapted to these conditions. Despite the fact that both the absolute dominant species in terms of abundance (*Ch. chelicorne*) and the predominant species in terms of biomass (*Dr. bugensis*) are invasive species in the lower reaches of the Volga and Don.

6. The overwhelming predominance of dreissen among biomass foulers (97,569 %), which are the food base of a number of freshwater benthic-eating species of ichthyofauna, allows us to consider the artificial stocking of the canal, its reservoirs and interluvial areas by such lake-river species peculiar to the basins of the Lower Volga and Don, such as grouse, carp, bream, roach, as the first and an environmentally friendly step towards reducing the fouling rate of hydraulic structures.

Библиографический список

1. Басью Ю. В., Попова А. М. и др. Гидробиологические и гидрохимические характеристики водохранилищ Волго-Донского канала: динамика и структурно-функциональные особенности. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2025. № 2. С. 7-20.
2. Тарасова Н. Г., Мухортова О. В. и др. Виды – вселенцы в планктонном сообществе Волго-Донского судоходного канала. Биология внутренних вод. 2025. Т. 18. № 1. С. 90-104.
3. Тарасова Н. Г., Мухортова О. В. и др. Особенности планктонного сообщества в динамичных условиях шлюзовых камер Волго-Донского судоходного канала имени В.И. Ленина. Известия РАН. Серия биологическая. 2025. № 2. С. 203-217.
4. Лазарева В. И., Сабитова Р. З. Зоопланктон Цимлянского водохранилища и канала Волга-Дон. Зоологический журнал. 2021. Т. 100. № 6. С. 603-617.
5. Лужняк О. Л. Современное состояние фитопланктона нижнего течения реки Дон в условиях антропогенного преобразования стока. Вода: химия и экология. 2017. № 9 (111). С. 11-19.
6. Дегтярева Л. В. Предложения к классификации бентосных организмов Северного Каспия по сапробности. Российский журнал прикладной экологии. 2022. № 4 (32). С. 71-76.
7. Кулик А. К., Власенко М. В. и др. Оценка качества поверхностных вод бассейна реки Дон для обеспечения устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 2 (54). С. 126-135.
8. Ostroumov S. A. Water quality and conditioning in natural ecosystems: biomachinery theory of self-purification of water. Russian Journal of General Chemistry. 2017. V. 87 (13). Pp. 3199-3204.
9. Мелихов В. В., Фролова М. В. и др. Экологическая оценка современной биотехнологии улучшения качества поливной воды для агроландшафтов Волго-Донского междуречья. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 3 (55). С. 94-101.
10. Трубакова К. Ю. Анализ сезонных изменений гидрохимических показателей Береславского водохранилища в условиях антропогенного загрязнения. Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2019. № 2 (74). С. 52-56.
11. Матишов Г. Г., Степаньян О. В. и др. Особенности водной экосистемы Нижнего Дона в позднеосенний период. Водные ресурсы. 2016. Т. 43. № 6. С. 620-632.
12. Kolarova N., Napiórkowski P. Are rotifer indices suitable for assessing the trophic status in slow-flowing waters of canals? Hydrobiologia. 2023. V. 851 (12-13). Pp. 1-11.

References

1. Basko Yu. V., Popova A. M. et al. Hydrobiological and hydrochemical characteristics of the Volga-Don Canal reservoirs: dynamics and structural-functional features. Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry. 2025. № 2. Pp. 7-20.
2. Tarasova N. G., Mukhortova O. V. et al. Alien species in the plankton community of the Volga-Don Shipping Canal. Biology of Inland Waters. 2025. Vol. 18. № 1. Pp. 90-104.
3. Tarasova N. G., Mukhortova O. V. et al. Features of the plankton community in the dynamic conditions of the lock chambers of the Volga-Don Shipping Canal named after V.I. Lenin. News of the Russian Academy of Sciences. The series is biological. 2025. № 2. Pp. 203-217.
4. Lazareva V. I., Sabitova R. Z. Zooplankton of the Tsimlyansk reservoir and Volga-Don Shipping Canal. Zoological Journal. 2021. V. 100. № 6. Pp. 603-617.
5. Luzhnyak O. L. The current state of phytoplankton of Nizhny Novgorod currents of the Don River in conditions of anthropogenic runoff transformation. Water: chemistry and ecology. 2017. № 9 (111). Pp. 11-19.
6. Degtyareva L. V. Proposals for classification of benthic organisms of the Northern Caspian Sea by saprobicity. Russian Journal of Applied Ecology. 2022. № 4 (32). Pp. 71-76.
7. Kulik A. K., Vlasenko M. V. et al. Assessment of the quality of surface waters of the Don River basin to ensure the sustainable functioning of the water management complex. Proc. of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2019. № 2 (54). Pp. 126-135.

8. Ostroumov S. A. Water quality and conditioning in natural ecosystems: bio machinery theory of self-purification of water. *Russian Journal of General Chemistry*. 2017. V. 87 (13). Pp. 3199-3204.
9. Melikhov V. V., Frolova M. V. et al. Environmental assessment of modern biotechnology improve the quality of irrigation water for agricultural lands of the Volga-Don interfluvium. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2019. № 3 (55). Pp. 94-101.
10. Trubakova K. Y. Analysis of seasonal changes in hydrochemical parameters of the Bereslav reservoir in conditions of anthropogenic pollution. Ways to increase the efficiency of irrigated agriculture. 2019. № 2 (74). Pp. 52-56.
11. Matishov G. G., Stepanyan O. V. et al. Features of the aquatic ecosystem of the Lower Don in the late Autumn period. *Water resources*. 2016. Vol. 43. No. 6. Pp. 620-632.
12. Kolarova N., Napiórkowski P. Are rotifer indices suitable for assessing the trophic status in slow-flowing waters of canals? *Hydrobiologia*. 2023. V. 851 (12-13). Pp. 1-11.

Информация об авторах

Емельяненко Алексей Александрович, кандидат технических наук, доцент, советник, Средневолжский филиал государственного научного центра Российской Федерации федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (Российская Федерация, 400001, г. Волгоград, ул. Пугачевская, 1), ORCID: 0009-0009-6198-9823, e-mail: a.emelyanenko@volgograd.vniro.ru

Басько Юлия Владимировна, начальник отдела, Средневолжский филиал государственного научного центра Российской Федерации федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (Российская Федерация, 400001, г. Волгоград, ул. Пугачевская, 1), e-mail: basko_yulia@volgograd.vniro.ru

Authors' Information

Emelyanenko Aleksey Aleksandrovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Adviser, Middle Volga branch of the Russian federal research institute of fisheries and oceanography (Russian Federation, 400001, Volgograd, Pugachevskaya str., 1), ORCID: 0009-0009-6198-9823, e-mail: a.emelyanenko@volgograd.vniro.ru

Basko Yuliya Vladimirovna, Head of the hydrobiology department, Middle Volga branch of the Russian federal research institute of fisheries and oceanography (Russian Federation, 400001, Volgograd, Pugachevskaya str., 1), e-mail: basko_yulia@volgograd.vniro.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-14

THE PRODUCTION PROCESS IN THE CHERRY PLANTING IN THE VOLGOGRAD REGION**Efremova E. N., Petrov N. Y., Gaushkin D. V., Shchepotko N. A., Chekrygina T. A.**

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: npetrov60@list.ru

Received 10.11.2025

Submitted 26.01.2026

Abstract

Introduction. The study of the production process of cherries in the formation of biological and economic productivity has been studied in many garden crops, however, in the arid conditions of the Volgograd region; such studies were carried out for the first time. Based on the basic principles of the theory of photosynthetic activity, it is necessary to establish the potential of varieties of zoned and promising cherry varieties and ways to implement them, to identify the ratio of the economic part of the crop to the total biological and to establish techniques that regulate this process. From this point of view, the study of the features of the production process and the establishment of biological and economic productivity in arid conditions is an urgent area. **Object.** In the agro biological variety test, cherry varieties were studied: Raspletka (control), Turgenevka, Lyubskaya, Kharitonovskaya, Molodezhnaya, Rossoshanskaya black. Water-soluble fertilizers Master 18:18:18 were introduced as an agrophone. Two irrigation modes were studied: permanent (70-70-70 % HC) and differentiated (70-80-70 % HC). **Materials and methods.** The field experiment was conducted in 2023-2025 on the territory of Sady Pridonye LLC, located in the chestnut soil zone of the Volgograd region. **Results and conclusions.** The data obtained showed that the longest growing season was established for the Lyubskaya cherry variety and it was 224 days, and the shortest growing season was noted for the Rossoshanskaya Chernaya variety and it was 204 days. The indicators of photosynthetic activity were also quite a natural feature. As a result of the conducted studies, it was found that both the net photosynthetic productivity and photosynthetic potential were higher in the Lyubskaya variety and they amounted to 2.4 g/m²/day and 67.4 m²/day/kg.

Keywords: *cherry cultivation, cherry varieties, cherry cultivation conditions, cherry yield, cherry yield factors.*

Citation. Efremova E. N., Petrov N. Yu., Gaushkin D. V., Shchepotko N. A., Chekrygina T. A. The production process in the cherry planting in the Volgograd region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 140-145 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-14.

The authors' contribution. All the authors of this study were directly involved in the planning, execution, or analysis of this study. All the authors of this article have read and approved the submitted final version.

Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 634.23

ПРОДУКЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС В ПОСАДКАХ ВИШНИ В ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**Ефремова Е. Н.**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент**Петров Н. Ю.**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор**Гаушкин Д. В.**, аспирант**Щепотько Н. А.**, преподаватель**Чекрыгина Т. А.**, кандидат экономических наук, доцентФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Изучение продукционного процесса вишни в вопросах формирования биологической и хозяйственной продуктивности исследовалось на многих садовых культурах, однако в засушливых условиях Волгоградского региона подобные изыскания производились впервые. Базируясь на основных положениях теории фотосинтетической деятельности, необходимо установить потенциальные возможности районированных и перспективных сортов вишни и пути их реализации, выявить соотношение хозяйственной части урожая к общему биологическому и установить приемы, которые регулируют этот процесс. С этой точки зрения, изучение особенностей продукционного процесса и установление биологической и хозяйственной продуктивности в аридных условиях является актуальным направлением. **Объект.** В агробиологическом сортоиспытании изучалось сорта вишни: Расплетка (контроль), Тургеневка, Любская, Харитоновская, Молодежная, Россошанская черная. В качестве агрофона были внесены водорастворимые удобрения Мастер 18:18:18. Изучались два режима полива: постоянный (70-70-70 % НВ) и дифференцированный (70-80-70 % НВ). **Материалы и методы.** Полевой опыт проводился в 2023-2025 годах на территории ООО «Сады Придонья», расположенного в зоне каштановых почв Волгоградской области. **Результаты и выводы.** Полученные данные показали, что самый продолжительный период вегетации был установлен у сорта вишни Любская и составил 224 суток, а наименьший период вегетации был отмечен у сорта Россошанская черная и он составил – 204 суток. Вполне закономерной особенностью являлись и показатели фотосинтетической деятельности. В результате проведенных исследований было установлено, что и чистая продуктивность фотосинтеза и фотосинтетический потенциал были выше по сорту Любская и они составили 2,4 г/м²/сутки и 67,4 м² сутки/кг.

Ключевые слова: возделывание вишни, сорта вишни, условия возделывания вишни, урожайность вишни, факторы урожайности вишни.

Цитирование. Ефремова Е. Н., Петров Н. Ю., Гаушкин Д. В., Щепотько Н. А., Чекрыгина Т. А. Продукционный процесс в посадках вишни в Волгоградской области. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 140-145. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-14.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Одним из основных урожаеобразующих факторов, определяющих продуктивность посадок вишни, является фотосинтетический процесс. Этому процессу принадлежит ведущая роль в продукционном процессе. Использование фотосинтезирующих систем может быть оптимальным при строго определенном соотношении и взаимодействии показателей с факторами внешней среды, обеспечивающими в целом высокую продуктивность посевов, формирование в посевах достаточной по размерам площади ассимиляционного аппарата, от которого зависит оптическая плотность посадок, очень важно с точки зрения поглощения листьями световой энергии для фотосинтеза.

По мнению М. С. Лезина (2020) и других «...фотосинтетическая деятельность в посадках вишни изучена недостаточно полно. Поэтому разработка новых вопросов изучения в теории фотосинтеза необходимо рассматривать с точки зрения ведущей роли в формировании урожайности. В этом случае формирование урожайности рассматривается как интегрирующий фактор всех элементов фотосинтетической деятельности растений в посевах, включающих в себя интенсивность и чистую продуктивность фотосинтеза, площадь листьев и фотосинтетический потенциал, коэффициент эффективности фотосинтеза и др.» [1, 5, 10].

Познание показателей фотосинтетической деятельности в посадках позволяет формировать и получать высокие и стабильные урожаи, а также управлять процессами его формирования.

«...для вишни наибольшее значение имеет область физиологической радиации, оказывающей существенное влияние на процессы фотосинтеза, этапы органогенеза. Основным, ассимилирующим солнечную энергию, органом растений является лист. Увеличение площади ассимиляционной поверхности до оптимальных размеров в обязательном порядке сопровождается приростом урожайности, так как значительное увеличение листовой поверхности может привести к ухудшению светового режима, уменьшению продуктивности фотосинтеза, замедлению темпов прироста сухого вещества и, в конечном итоге, недобору урожайности. Формирование в посевах достаточной по размерам площади листьев, в первую очередь, важно с точки зрения формирования и других не менее важных показателей фотосинтеза. Мощность ассимиляционной поверхности, продолжительность и интенсивность ее работы, напрямую влияет на величину урожая. Следовательно, перед научной общественностью стоит задача создания предпосылок для развития высокопродуктивного ассимиляционного аппарата» [3, 7, 9, 12].

Материалы и методы. Полевой опыт был проведен в 2023-2025 годах на землепользовании ООО «Сады Придонья», которое располагается в зоне каштановых почв Волгоградской области. Гумуса в пахотном горизонте почвы составляло 2,14-2,34 %, подвижного фосфора – 18,2-19,6 мг/кг, подвижного калия – 305-320 мг/кг. Для изучения были выбраны сорта вишни: Расплетка (контроль), Тургеневка, Любская, Харитоновская, Молодежная, Россошанская черная.

Закладка опыта проводилась методом рандомизированного размещения вариантов. Площадь одной делянки составлял 4 м² при схеме посадки саженцев в ряду 0,1 м и расстоянии между рядами 1,5 м. Агротехника, наблюдения и замеры в поле осуществлялись по общепринятым методикам: «Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований» (Москва, 1985). Орошение – капельное, с изучением 2 режимов: 70-70-70 % НВ (постоянный режим) и 70-80-70 % НВ (дифференцированный режим). С применением постоянного режима орошения проводилось в среднем по 12 поливов с оросительной нормой – 1400 м³/га, при дифференцированном поливе проводилось 12 поливов с оросительной нормой – 1800 м³/га. Как фон вносилось водорастворимое удобрение Мастер 18:18:18.

Результаты и обсуждения. Оценка параметров продукционного процесса позволила установить, что что в зависимости от изучаемого сорта и применяемого режима орошения они имели ростовые различия. На их показатели, кроме того, оказывали влияние складывающиеся погодные условия в период вегетации. Более благоприятно они складывались в 2023 году, в результате чего в этом году отмечались максимальные значения показателей фотосинтетической деятельности.

В Волгоградской области до последнего времени не уделялось должного влияния изучению сортов вишни и, в особенности, с изучением режимов орошения и внесения водорастворимого удобрения под заданные уровни урожайности. Вследствие чего изучение сортов вишни в условиях Волгоградской области является актуальным.

Таблица 1 – Особенности прохождения фенологических фаз сортов вишни, 2024 год
Table 1 – Features of the passage of phenological phases of cherry varieties, 2024

Фаза развития / Development phase	Сорта / Varieties					
	Расплетка / Raspletka	Тургеневка / Turgenevka	Любская / Lubskaya	Харитонов- ская / Khari- tonovskaya	Молодежная / Molodeznaya	Россошанская черная / Rossoshanskaya chernaya
1	2	3	4	5	6	7
70-70-70 % НВ						
Начало распус- кания почек / The beginning of budding	20.03	19.03	21.03	23.03	25.03	27.03
Цветение / Blossom	20.04	22.04	20.04	23.04	28.04	02.05
Продолжитель- ность цветения, сут. / Duration of flowering, day	6	5	9	5	7	7

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
Дата созревания / Maturation date	30.06	29.06	25.06	10.07	13.07	20.07
Листопад / Leaf fall	26.10	20.10	30.10	03.10	04.10	05.10
Продолжитель- ность вегета- ционного периода, сут. / Duration of the growing sea- son, days	219	214	222	203	202	201
70-80-70 % НВ						
Начало распус- кания почек / The beginning of bud- ding	20.03	19.03	21.03	23.03	25.03	27.03
Цветение / Blossom	22.04	23.04	21.04	24.04	29.04	03.05
Продолжитель- ность цветения, сут. / Duration of flowering, day	8	6	10	7	9	9
Дата созревания / Maturation date	02.07	01.07	27.06	13.07	16.07	24.07
Листопад / Leaf fall	28.10	22.10	01.11	06.10	07.10	08.10
Продолжитель- ность вегета- ционного периода, сут. / Duration of the growing sea- son, days	221	216	224	206	205	204

Анализируя представленные результаты исследований по продолжительности вегетационного периода можно констатировать, что наиболее длительный вегетационный период отмечался по обоим режимам орошения у сорта Любская и составил при постоянном режиме полива 222 суток, а при дифференцированном он удлинился на двое суток (224). Причем следует заметить, что на этом сорте наблюдалось самое раннее распускание почек (19.03). Наиболее короткий период вегетации был отмечен у сорта Россошанская черная и он составил при режиме полива 70-70-70 % НВ – 201 сутки, а при режиме полива 70-80-70 % НВ – 204 суток.

Таблица 2 – Продуктивность фотосинтеза, среднее за 2023-2025 гг.

Table 2 – Photosynthetic productivity, average for 2023-2025

Сорта / Varieties	Чистая продуктивность фотосинтеза, г/м ² /сутки / Net photosynthetic productivity, g/m ² /day	Фотосинтетический потенциал, м ² сутки/кг / Photosynthetic potential, m ² day/kg
Расплетка / Raspletka	1,3	61,5
Тургеневка / Turgenevka	1,7	63,6
Любская / Lubskaya	2,4	67,4
Харитоновская / Kharitonovskaya	2,2	65,2
Молодежная / Molodeznaya	2,1	64,4
Россошанская черная / Rossoshanskaya chernaya	1,9	63,7

Данные таблицы 2 свидетельствуют, что показатели фотосинтетической деятельности у сорта Любская превосходят по своим значениям другие изучаемые сорта вишни. Чистая продуктивность составляла 2,4 г/м²/сутки, фотосинтетический потенциал – 67,4 м² сутки/кг. Наименьшие показатели были отмечены у сорта Расплетка (контроль) и они составили соответственно 1,3 г/м²/сутки и 61,5 м² сутки/кг.

Закключение. Следовательно, у сорта вишни Любская с применением дифференцированного режима полива (70-80-70 % НВ) и внесении водорастворимого удобрения Мастер 18:18:18 наилучшие показатели фотосинтетической деятельности.

Conclusion. Consequently, the Lyubskaya cherry variety with the use of a differentiated irrigation regime (70-80-70 % HC) and the application of water-soluble fertilizer Master 18:18:18 has the best photosynthetic activity.

Библиографический список

1. Александрова Т. И. Роль минерального питания в реализации потенциала продуктивности сортов сливы в остросолончатых условиях Северного Прикаспия. Мичуринск, 2022. 148 с.
2. Гуляева А. А., Ефремов И. Н., Берлова Т. Н. Перспективные сорта вишни для Центрально-Чернозёмного региона России. Вестник аграрной науки. 2020. № 1 (82). С. 13-19.
3. Доля Ю. А. Выделение генресурсов вишни обыкновенной (*Cerasus vulgaris* L.) по приоритетным селекционным направлениям. Научные труды СКФНЦБВ. 2020. № 28. С. 43-49.
4. Дроник А. А. Оценка устойчивости сортов вишни к возвратным заморозкам в Астраханской области. Аграрный научный журнал. 2021. № 5. С. 21-23.
5. Лёзин М. С., Слепнева Т. Н. Продуктивность вишни на Южном Урале: сравнительная характеристика видов и сортов. Ученые записки Челябинского отделения Русского ботанического общества: сб. ст. Челябинск, 2020. С. 108-114.
6. Мотылева С. М., Морозова Н. Г., Мертвищева М. Е. Антиоксидантная активность сорта Любская плодов и листьев вишни и черешни в Подмосковье. Плодоводство и ягодоводство России. 2014. Т. 38. С. 26-32.
7. Осипов Г. Е., Осипова З. А., Петрова Н. В. Морфологические и биологические особенности сортов и гибридов вишни Татарского НИИСХ. Казань, 2016. 72 с.
8. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орел, 1999. 608 с.
9. Солонкин А. В., Александрова Т. И. Биологические особенности и хозяйственно-ценные признаки сортов сливы домашней в условиях Нижнего Поволжья. Нива Поволжья. 2021. № 1 (58). С. 11-16.
10. Brym Z. T., Black B. L. Quantitative Survey of 'Montmorency' Tart Cherry Orchard Design in Utah. HortScience. 2021. No 56 (11). Pp. 1402-1407.
11. Fahad S., Bajwa A. A., Nazir U. et al. Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. Front. Plant Sci. 2017. No 8. 1147.
12. Petkova B., Kuzmova K., Berova M. The main abiotic stress factors limiting crop cultivation and production in Bulgaria. Climate changes, drought, water deficit and heat stress. Agricultural Sciences. 2019. No 11 (26). Pp. 13-22.
13. Cattivelli L., Fulvia R., Franz W. B. et al. Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics. Field Crops Res. 2008. No 105 (1-2). Pp. 1-14.
14. Kumar S., Sachdeva S., Bhat K.V. et al. Plant Responses to drought stress: Physiological, biochemical and molecular basis. Biotic and abiotic stress tolerance in plants. Springer. 2018. Pp. 1-25.

References

1. Alexandrova T. I. The role of mineral nutrition in realizing the productivity potential of plum varieties in the arid conditions of the Northern Caspian region. Michurinsk, 2022. 148 p.
2. Gulyaeva A. A., Remov I. N., Berlova T. N. Experimental data on the state of affairs in the Central Chernozem Republic of Russia. Bulletin of Geographical Science. 2020. No. 1 (82). Pp. 13-19.
3. Dola U. A. Allocation of gene resources of wild nature (*Cerasus vulgaris* L.) in priority breeding areas. Scientific works of the NCFNTSSVV. 2020. No 28. Pp. 43-49.
4. Dronik A. A. Assessment of the resistance of cherry varieties to recurrent frosts in the Astrakhan region. Agrarian Scientific Journal. 2021. No. 5. Pp. 21-23.
5. Lezin M. S., Slepneva T. N. Cherry productivity in the Southern Urals: comparative characteristics of species and varieties. Scientific notes of the Chelyabinsk branch of the Russian Botanical Society: collection of articles. Chelyabinsk, 2020. Pp. 108-114.
6. Motyleva S. M., Morozova N. G., Deadishcheva M. E. Antioxidant activity of the variety Lyubskaya fruit and cherry and cherry leaves in the Moscow region. Fruit and berry growing. 2014. Vol. 38. Pp. 26-32.
7. Osipov G. E., Osipova Z. A., Petrova N. V. Morphological and biological features of cherry varieties and hybrids of the Tatar Research Institute of Agriculture. Kazan, 2016. 72 p.
8. Program and methodology of variety study of fruit, berry and nut crops. Orel, 1999. 608 p.
9. Solonkin A. V., Alexandrova T. I. Biological features and economically valuable characteristics of domestic plum varieties in the conditions of the Lower Volga region. Niva of the Volga region. 2021. No. 1 (58). Pp. 11-16.
10. Brym Z. T., Black B. L. Quantitative Survey of 'Montmorency' Tart Cherry Orchard Design in Utah. HortScience. 2021. No 56 (11). Pp. 1402-1407.
11. Fahad S., Bajwa A. A., Nazir U. et al. Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. Front. Plant Sci. 2017. No 8. 1147.
12. Petkova B., Kuzmova K., Berova M. The main factors of abiotic stress limiting the cultivation and production of agricultural crops in Bulgaria. Climate change, drought, water scarcity and heat stress. Agricultural sciences. 2019. No 11 (26). Pp. 13-22.
13. Cattivelli L., Fulvia R., Franz W.B. and others. Increasing the drought resistance of cultivated plants: a comprehensive view from breeding to genomics. Field crops. 2008. No 105 (1-2). Pp. 1-14.
14. Kumar S., Sachdeva S., Bhat K.V. et al. Plant Responses to drought stress: Physiological, biochemical and molecular basis. Biotic and abiotic stress tolerance in plants. Springer. 2018. Pp. 1-25.

Информация об авторах

Ефремова Елена Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: Elenalob@rambler.ru

Петров Николай Юрьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, Волгоград, Университетский проспект 26), e-mail: npetrov60@list.ru

Гаушкин Дмитрий Владимирович, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, Волгоград, Университетский проспект 26).

Щепотко Наталья Александровна, преподаватель, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: schepotko.n@yandex.ru

Чекрыгина Татьяна Алексеевна, кандидат экономических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, Волгоград, Университетский проспект 26), ORCID.org/0000-0002-6502-3401, e-mail: schurik4@yandex.ru

Authors' Information

Efremova Elena Nikolaevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: Elenalob@rambler.ru

Petrov Nikolay Yuryevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: npetrov60@list.ru

Gaushkin Dmitry Vladimirovich, Graduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26).

Shchepotko Natalia Aleksandrovna, teacher, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: schepotko.n@yandex.ru

Chekrygina Tatiana Alekseevna, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), orcid.org/0000-0002-6502-3401, e-mail: schurik4@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-06-15

THE FLAX (*LINUM USITATISSIMUM* L.) GENOTYPES CHARACTERISTICS BY THEIR RESPONSES TO THE ACTION OF SEPTORIOSIS IN THE CONDITIONS OF THE TYUMEN REGION

¹Korolev K. P., ²Matvienko E. V.

¹Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Tyumen State University"
Tyumen, Russian Federation

²Povolzhsky NIIS – branch of the Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences
Kinel, Samara region, Russian Federation

Corresponding author E-mail: korolevkonstantin799@gmail.com

Received 14.10.2025

Submitted 04.02.2026

Summary

This article presents the results of a study of flax genotype responses to a phytopathogen. Resistance mechanisms at various stages of development are identified. The most promising ones are selected for further breeding.

Abstract

Introduction. The development of high biological productivity in flax is limited by various components, including the action of phytopathogenic microorganisms. Therefore, it is necessary to search for and develop new sources of resistance to diseases, including septoria leaf spot (pasma). **Object.** Hybrid lines of fiber flax (n=50, F₃-F₅) were used in the study. **Materials and methods.** Plant resistance to septoria leaf spot (caused by *Septoria linicola* (Speg.) Gar.) on sod-podzolic sandy loam soil was analyzed under environmental conditions (E₁-E₃) with varying heat and moisture conditions. Sowing and care of fiber flax plants were carried out using generally accepted methods. During the growing season, visual signs of the phyto-agent were diagnosed in the genotypes using a point scale, and generally accepted indicators were calculated: the degree of development (R, %) and prevalence (P, %) of the disease. Chlorophyll accumulation in the leaves of fiber flax plants was analyzed using a non-invasive express diagnostic method (SPAD-502 Plus). The experimental data obtained was processed using multivariate analysis of variance. **Results and conclusions.** Significant differences were statistically proven between the studied hybrid lines of fiber flax (G, p < 0.05; p < 0.01), environmental conditions (E, p < 0.05), and the interaction of genotype and environment (G x E, p < 0.05). Of the entire set of hybrid lines, groups of highly resistant (IV point, 20.0 %), resistant (III point, 52.0 %), and moderately resistant (II point, 24.0 %) genotypes to septoria were identified. The highest susceptibility (I point) was observed in 4.0 % of the genotypes, which is associated with both genotypic characteristics and vegetation conditions, their interaction, and is confirmed by the proportional participation of these factors (55.0-11.9 %) in the structure of total variability. Lines G₁, G₃, G₁₂, G₂₇, and G₄₄ were characterized by the maximum chlorophyll content during the budding-flowering phase (BBCH 51-69). Based on multi-environment testing of flax, the following genotypes were selected for further breeding use: G₁, G₂, G₄, G₁₃, G₁₄, G₂₄, G₃₀, G₃₅, G₄₄, G₃₁, G₃₆, which have a low degree of development and prevalence of phytopathogen in this agricultural and ecological area.

Keywords: flax, flax hybrid lines, flax breeding, flax genotypes, flax diseases, septoria.

Citation. Korolev K. P., Matvienko E. V. The flax (*Linum usitatissimum* L.) genotypes characteristics by their responses to the action of septoriossis in the conditions of the Tyumen region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 145-155 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2026-01-15.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 633.521:632.4

**ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕНОТИПОВ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА (*LINUM USITATISSIMUM* L.)
ПО ОТВЕТНЫМ РЕАКЦИЯМ НА ДЕЙСТВИЕ СЕПТОРИОЗА В УСЛОВИЯХ
ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ**¹Королёв К. П., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент²Матвиенко Е. В., кандидат биологических наук, младший научный сотрудник¹ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»

г. Тюмень, Российская Федерация

² Поволжский НИИСС – филиал Самарского научного центра РАН

п. г. т. Усть-Кинельский, г. Кинель, Самарская область, Российская Федерация

Актуальность. Формирование высокой биологической продуктивности у льна ограничивается различными компонентами, в т. ч. и действием возбудителей фитопатогенных микроорганизмов, в связи с чем, необходим поиск и создание новых источников устойчивости к болезням, включающих также септориоз (пасмо). **Объект.** В работе использовали гибридные линии льна-долгунца ($n = 50$, F_3-F_5). **Материалы и методы.** В средовых условиях (E_1-E_3) различных по тепло- и влагообеспеченности анализировали устойчивость растений при поражении септориозом (возбудитель *Septoria linicola* (Speg.) Gar.) на дерново-подзолистой супесчаной почве. Посев и уход за растениями льна-долгунца осуществляли общепринятыми методами. В течение вегетации у генотипов диагностировали визуальные признаки фитоагента с использованием балльной шкалы, рассчитывали общепринятые показатели: степень развития (R , %), распространенность (P , %) болезни. Методом экспресс-диагностики неинвазивным способом (SPAD-502 Plus) анализировали накопление хлорофилла в листьях растений льна-долгунца. Обработку полученных экспериментальных данных проводили методами многофакторного дисперсионного анализа. **Результаты и выводы.** Статистически доказаны достоверные различия между изученными гибридными линиями льна-долгунца (G , $p \leq 0,05$; $p \leq 0,01$), средовыми условиями (E , $p \leq 0,05$), взаимодействием генотипа и среды ($G \times E$, $p \leq 0,05$). Из всего набора гибридных линий выявлены группы высокоустойчивых (IV балла, 20,0 %), устойчивых (III балла, 52,0 %), среднеустойчивых (II балла, 24,0 %) генотипов к септориозу. Наибольшей восприимчивостью (I балл) обладали 4,0 %, что связано, как с генотипическими особенностями, так и условиями вегетации, их взаимодействием и подтверждено долевым участием данных факторов (55,0-11,9 %) в структуре общей изменчивости. Максимальным содержанием хлорофилла в фазу бутонизации – цветения (BVCH 51-69) характеризовались линии G_1 , G_3 , G_{12} , G_{27} , G_{44} . На основании много средового тестирования льна-долгунца для дальнейшего селекционного использования были отобраны генотипы: G_1 , G_2 , G_4 , G_{13} , G_{14} , G_{24} , G_{30} , G_{35} , G_{44} , G_{31} , G_{36} , обладающие низкой степенью развития и распространённости фитопатогена в данном агроэкологическом пункте.

Ключевые слова: лён-долгунец, гибридные линии льна-долгунца, селекция льна-долгунца, генотипы льна-долгунца, болезни льна, септориоз.

Цитирование. Королёв К. П., Матвиенко Е. В. Характеристика генотипов льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) по ответным реакциям на действие септориоза в условиях Тюменской области. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 145-155. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-15.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. На полноценную реализацию биологического статуса льна влияют различные факторы окружающей среды [1, 2]. Среди агентов биотической природы непосредственную угрозу могут представлять эукариотические заболевания [3, 4] приводящие к снижению продуктивности и качества получаемой растительной продукции, поэтому устойчивость используемых сортов льна к фитопатогенной нагрузке приобретает все большее значение.

Одним из ценных сельскохозяйственных растений комплексного использования является лён [5-7] который выращивается во многих странах Восточной и Западной Европы, Азии, Северной Америки. Например, во Франции урожайность достигает наивысших показателей среди производителей и экспортеров (только в 2021 г. она составляла – 1,9 т/га). При этом, для дальнейшего повышения продуктивности льна, необходимы новые современные сорта, обладающие комплексной устойчивостью к болезням, для чего, в селекции при их создании необходимо наличие ценных генетических источников признака [8-10].

В агробиоценозах льна-долгунца часто присутствуют растения с признаками развития септориоза (пасмо) (возб. *Septoria linicola* (Speg.) Gar. *син.*: *Mycosphaerella linicola*); кл. *Ascomycetes*, пор. *Mycosphaerellales*). Это вредоносное заболевание, впервые обнаруженное на льне в 1911 г. в Аргентине, патоген может длительный период сохраняться на растительных остатках [11-13]. При оптимальной температуре и достаточном количестве осадков, быстро распространяется в посевах, вызывая «очаги» поражённых растений льна. Первое визуальное проявление болезни отмечают на семядольных листьях в период появления всходов, в виде коричневых пятен, по мере увеличения которых, происходит поражение всего листа его засыхание и гибель. В фазу цветения и до созревания, листья покрывают пятна с черными точками внутри (пикниды), по мере поражения стебля, они увеличиваются, стебли приобретают пеструю окраску. В зависимости от степени развития болезни происходят негативные изменения по продуктивности и качеству (например, крепость волокна уменьшается с 15 кгс до 7 кгс), плоды плохо развиты или отсутствуют, потери урожайности семян могут достигать 20-50 % [14, 15].

Данный возбудитель активно размножается спорами во время вегетации растений льна, в зимний период – они жизнеспособны, весной прорастают с образованием инфекционных гиф, проникающих в здоровые ткани растений.

У пасмо присутствуют пикнидальная, конидиальная и сумчатая стадия развития [16-17]. Размеры пикнид в среднем варьируют в пределах 70-130 мкм. Сплюснутые, расположены под эпидермисом. Споры вытянутой, палочковидной формы с закругленными концами, имеют 1-3 перегородки. Сумчатая стадия обычно проходит на стеблях льна, окончивших вегетацию. Перитеции разнообразные, темной окраски, округлой либо овальной формы, внутри которых находятся сумки (аски), споры – бесцветные, изогнутые, перегородка – 1.

Для диагностики восприимчивости к фитопатогенному биотическому фактору, проведения последующего индивидуального отбора, предложены различные методы. Современным, определяющим аспектом основы устойчивости сортов, является использование геномного ассоциативного исследования (GWAS) для идентификации QTL [1]. Выявлены последовательности ДНК для 203 возбудителей фитопатогенных грибов у льна (*Colletotrichum lini*, *Fusarium spp.*, *Aureobasidium pullulans*, *Melampsora lini* и ряд других) в том числе и септориоза (*Septoria linicola*) [16-17], что актуально в направлении исследований филогении, ПЦР-анализах и позволит, в дальнейшем, использовать полученные данные при определении механизмов вирулентности и устойчивости. Важным для повышения фитотолерантности льна является совершенствование существующих и разработка новых методов (CRISPR/Cas9) редактирования генома льна [5, 14-15], что в целом, будет способствовать повышению эффективности отбора в селекционном процессе при создании новых сортов льна, устойчивости агробиоценозов льна при различных условиях среды.

В агроклиматических условиях Тюменской области посеvy льна занимают незначительные площади, при этом биологический потенциал данной культуры высок. Лимитирующие фитострессовые факторы, в том числе болезни, оказывают влияние на полноценную реализацию потенциала льна. Диагностика этих факторов является актуальной задачей и требует комплексного тестирования ответных реакций льна при действии возбудителя фитопатогена на различных этапах онтогенеза, а также отбора наиболее ценных из них для последующего использования в селекционно-генетических исследованиях.

Цель исследований – оценка различных межсортных гибридных линий (F_3 – F_5) льна-долгунца по устойчивости к септориозу (возб. *Septoria linicola* (Speg.) Gar.)

Материалы и методы. В качестве объекта для полевого тестирования использовали межсортные гибридные популяции льна-долгунца (F_3 – F_5 , $n = 50 : G_1$ – G_{50}) полученные в системе диаллельных скрещиваний, из генофонда зародышевой плазмы Школы естественных наук ФГАУО ВО «Тюменский государственный университет». Полевой эксперимент осуществляли в 2021-2023 гг. в условиях агроэкологического пункта Тюменской области (подтайга низменности, биологическая станция «Озеро Кучак», Нижнетавдинский район). Почва опытного участка – дерново-подзолистая, супесчаная со средним содержанием гумуса – 3,6 %, (P_2O_5) – 433,3 мг/кг; (K_2O) – 234,0 мг/кг почвы. Погодные условия периода вегетации характеризовались отклонением от нормы по среднесуточной температуре воз-

духа и количеству выпавших осадков (ГТК = 1,2-1,6), что обеспечило проведение полноценной диагностики генотипов льна-долгунца и отбор наиболее устойчивых из них при действии фитопатогенного агента в данном агроэкологическом пункте.

Визуальную диагностику наличия признаков поражения растений септориозом проводили в период появления всходов – фаза «елочки» (ВВСН 10-29), бутонизации – цветения (ВВСН 51-69) и ранней желтой – полной спелости (ВВСН 83-90). Гибридные линии высеивали на ярусах (длина 10,0-15,0 м, ширина 1,0 м, расстояние между делянками 0,5 м, размещение – рандомизированное). Предшествующая культура – яровые и озимые культурные злаки (пшеница, ячмень, овёс). Гибридные линии льна оценивали по степени развития болезни (R, %) и ее распространенности (P, %) в соответствии с Методикой (Лошакова Н. И., Крылова, Т. В., Кудрявцева, Л. П. Методические указания, по фитопатологической оценке, устойчивости льна-долгунца к болезням. Торжок: ВНИИЛ. 2006. 51 с.)

В фазу цветения дополнительно определяли содержание хлорофилла в листьях растений льна неинвазивным способом (оптический счетчик Spad-502 Plus (Konica Minolta, Japan)).

Обработку экспериментальных данных полевого эксперимента проводили с использованием многофакторного дисперсионного анализа в программе STATISTICA 10.0 (Statsoft Inc., USA).

Результаты и обсуждение. К определяющим компонентам формирования высокой продуктивности агробиоценозов льна относят их устойчивость к действию различных агентов фитопатогенной природы [8, 18]. Из часто встречаемых в полевых условиях льноводческих регионов Западной Сибири следует отметить септориоз (пасмо). Вредоносность которого зависит от генотипических особенностей, условий окружающей среды, что требует проведения диагностики его деятельности на всех этапах роста и развития растения, что может обеспечить повышение «здоровья» не только одного индивидуума, но и всей растительной популяции в целом.

В данном агроэкологическом пункте визуальные признаки поражения гибридных линий льна-долгунца с характерной симптоматикой поражения листьев, стебля, плодов отмечали в течение вегетационного периода растений (ВВСН 10-90). Степень развития болезни (R, %) по генотипам варьировала от $4,8 \pm 0,66$ % до $61,3 \pm 1,23$ % (2022 г.) и от $3,5 \pm 0,15$ % до $50,2 \pm 2,15$ % (2021 г.), что было обусловлено неоднородностью выпадения осадков на фоне контрастных температур, особенно в период цветения и формирования плодов льна (2021 г., 2023 г.). Распространённость болезни (P, %) составила от $11,4 \pm 0,89$ до $42,3 \pm 1,03$ % (2021 г.) и от $10,6 \pm 0,11$ % до $26,6 \pm 2,44$ % (2022 г.).

Дополнительно оценивали влияние фитоагента на фотосинтетическую деятельность растений льна-долгунца (неинвазивный экспресс-метод содержания хлорофилла в листьях) который позволил оценить их потенциал и выделить вклад физиологической компоненты в общей структуре устойчивости. В среднем, по данным исследований, представленный критерий в период бутонизации-цветения был на уровне $78,8 \pm 1,44$ – $32,2 \pm 2,56$ SPAD.

Диагностика генотипов льна-долгунца по устойчивости на действие фитопатогенов предполагала несколько составляющих. На первом этапе, по результатам статистической обработки полученных экспериментальных данных с использованием многофакторного дисперсионного анализа были доказаны достоверные различия между генотипами (G^* ,**), средами (E^*), их взаимодействием ($G \times E^{**}$) по набору тест-критериев, их характеризующих, при выращивании в данном агроэкологическом пункте Тюменской области (таблица 1).

Важным является отбор форм растений устойчивых к различным компонентам, оказывающим влияние на рост и развитие в течение всего онтогенеза [1, 6, 15]. Раскрытие механизмов сложного взаимодействия генотипа со средой представляет наибольший интерес для формирования будущего биологического статуса создаваемых гибридов и возможность развития стратегии их использования при моделировании будущих адаптивных агрофитоценозов льна.

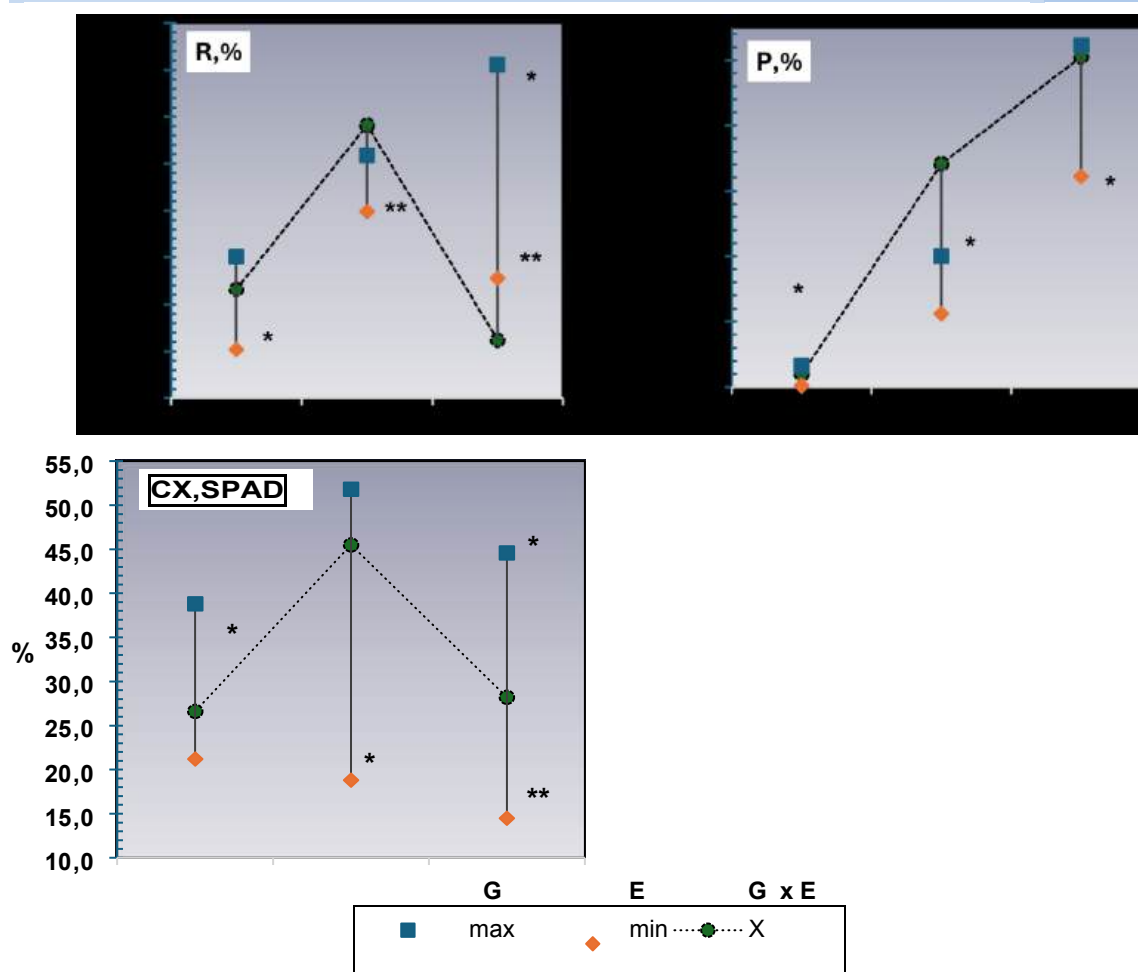
Таблица 1 – Результаты многофакторного дисперсионного анализа гибридных линий льна,
F₃-F₅, среднее, 2021-2023 гг.Table 1 – Results of the analysis of variance of hybrid flax lines, F₃-F₅, average, 2021-2023

Источник дисперсии / The source of the variance	Число степеней свободы (d.f) / Number of degrees of freedom (d.f)	Средний квадрат (mS) / Average Square (mS)	Критерий Фишера / The Fisher Criterion			
			Fфакт. / Factual	уровень / level		Fтеор. / Ftheoretical
				p ≤ 0,05	p ≤ 0,01	
Степень развития болезни (R, %) / Degree of disease development (R, %)						
Фактор G (генотип) / Factor G (genotype)	48	156,82	1,85	+	-	1,59–1,94
Фактор E (среда) / Factor E (environment)	2	215,61	21,11	+	-	19,49–99,49
Фактор GxE (генотип x среда) / GxE factor (genotype x environment)	96	131,04	3,10	+	+	1,39–1,59
Распространенность болезни (P, %) / Prevalence of the disease (P, %)						
Фактор G (генотип) / Factor G (genotype)	48	65,24	3,02	+	+	1,59–1,94
Фактор E (среда) / Factor E (environment)	2	148,36	43,16	+	+	19,49–99,49
Фактор GxE (генотип x среда) / GxE factor (genotype x environment)	96	200,71	5,45	+	+	1,39–1,59
Содержание хлорофилла в листьях (SPAD) / Chlorophyll content in leaves (SPAD)						
Фактор G (генотип) / Factor G (genotype)	48	100,33	1,72	+	-	1,59–1,94
Фактор E (среда) / Factor E (environment)	2	376,66	58,99	+	+	19,49–99,49
Фактор GxE (генотип x среда) / GxE factor (genotype x environment)	96	244,19	1,99	+	+	1,39–1,59

В данных условиях, в структуре количественных показателей трех тест-компонент, выявлен вклад средовых условий (E, 45,5-31,8 %), генотипических особенностей (G, 26,6-11,9 %), взаимодействия генотипа и среды (G x E, 55,028,2 %) у гибридных линий льна-долгунца (рисунок 1). Максимальный достоверный уровень фактора G установлен по содержанию хлорофилла в листьях (38,8 %, $p \leq 0,05^*$), что необходимо также учитывать в региональных программах по интродукции и селекции льна.

Важным было выявить ответные реакции изученных объектов на действие фитопатогена в течение вегетации. Во время всходов-«елочки» (BBCH 10-29) степень развития болезни была минимальной у 40,0 % генотипов, из которых следует выделить G₁, G₂, G₄, G₁₄, G₃₅, G₄₄, при сильном поражении септориозом у 12,0 %.

В период бутонизации-цветения (BBCH 51-69) количество устойчивых генотипов снизилось, как по показателю степени развития (R, %) так и ее распространенностью (P, %), что можно связать, как с условиями вегетации, так генотипическими особенностями гибридных линий. Из наиболее ценных были отмечены G₁, G₂, G₈, G₁₀, G₁₄, G₁₂, G₂₄ G₅.



Примечание: G (генотип); E (среда); GxE (генотип x среда). Различия достоверны при $p \leq 0,05^*$; $p \leq 0,01^{**}$.
Note: G (genotype); E (environment); GxE (genotype x environment). Differences are significant at $p < 0.05^*$; $p < 0.01^{**}$.

Рисунок 1 – Вклад различных факториалов в формирование степени развития болезни (R, %) и ее распространенности (P, %), содержания хлорофилла в листьях (SPAD), среднее, 2021-2023 гг.
Figure 1 – The contribution of various factorials to the formation of the degree of disease development (R, %) and its prevalence (P, %), chlorophyll content in leaves (SPAD), average, 2021-2023

Фенологическая фаза зеленой-полной спелости (ВВСН 83-90) характеризовалась как выявлением растений с наибольшей степенью развития болезни и поражения растений, так и подтверждением уже ранее отобранных (устойчивых) из них по отношению к вредоносному влиянию септориоза (таблица 2).

Таблица 2 – Степень развития (R, %) септориоза у гибридных линий льна-долгунца (F_3 - F_5), среднее, 2021-2023 гг.

Table 2 – Degree of development (R, %) of septoria in hybrid lines of fiber flax (F_3 - F_5), average, 2021-2023

ВВСН, код / BVCH, code	Степень развития болезни, R, % / Degree of disease development, R, %			Доля высокоустойчивых генотипов, % / The proportion of highly resistant genotypes, %	
	min	max	$X \pm S_x$	min	max
10-29	$3,58 \pm 0,42^{**}$	$60,0 \pm 2,45^*$	$26,6 \pm 1,58$	1,3	40,0
51-69	$12,5 \pm 1,18$	$58,8 \pm 1,04^{**}$	$32,8 \pm 1,55$	4,8	31,2
83-90	$15,2 \pm 1,56^{**}$	$61,3 \pm 2,77^*$	$44,2 \pm 1,60$	10,6	25,3

Примечание: различия между генотипами достоверны при $p \leq 0,05^*$; $p \leq 0,01^{**}$. Шкала ВВСН: 1029 (всходы-«ёлочка»); 51-69 (бутонизация-цветение); 83-90 (ранняя желтая-полная спелость).
Note: differences between genotypes are significant at $p < 0.05^*$; $p < 0.01^{**}$. VVSH scale: 1029 (sprouts-"Christmas tree"); 51-69 (budding-flowering); 83-90 (early yellow-full maturity).

Среди представленного набора генотипов льна-долгунца количество устойчивых генотипов составляло от 40,0 до 25,3 %.

На втором этапе генотипы льна в соответствии с показателями степени развития фитоагента были распределены на несколько групп с использованием четырехбалльной шкалы (таблица 3).

Таблица 3 – Распределение генотипов льна-долгунца F₃-F₅ по устойчивости к септориозу, BVCH10-90, среднее, 2021-2023 гг.

Table 3 – Distribution of flax genotypes F₃-F₅ by resistance to septoria, BVCH 10-90, 2021-2023

Степень развития болезни, % / The degree of development of the disease, %	Балл шкалы / Scale score	Группа устойчивости / Sustainability Group	Источники устойчивости / Sources of sustainability
< 0,0-19,9	IV	Высокоустойчивая (n=10) / Highly stable (n=10)	G ₂ ^{**} , G ₄ [*] , G ₁₃ [*] , G ₁₄ ^{**} , G ₂₄ , G ₃₀ ^{**} , G ₃₅ [*] , G ₄₄ [*] , G ₃₁ [*] , G ₃₆ ^{**}
20,0-39,9	III	Устойчивая (n=26) / Stable (n=26)	G ₁ ^{**} , G ₅ ^{**} , G ₇ [*] , G ₁₂ , G ₃ [*] , G ₆ , G ₈ , G ₁₅ , G ₁₆ , G ₉ , G ₁₀ , G ₁₁ , G ₁₈ , G ₁₉ , G ₂₀ , G ₂₁ , G ₂₂ , G ₂₃ , G ₂₅ , G ₂₆ , G ₂₇ , G ₂₈ , G ₂₉ , G ₃₀ , G ₃₂ , G ₄₉ ^{**}
40,0-59,9	II	Среднеустойчивая (n=12) / Medium-stable (n=12)	G ₃₃ ^{**} , G ₃₄ , G ₄₀ [*] , G ₃₈ , G ₃₇ ^{**} , G ₄₁ [*] , G ₄₂ , G ₄₃ ^{**} , G ₄₅ ^{**} , G ₄₇ [*] , G ₄₆ , G ₄₈ [*]
>60,0-100,0	I	Восприимчивая (n=2) / Receptive (n=2)	G ₃₉ , G ₅₀ ^{**}

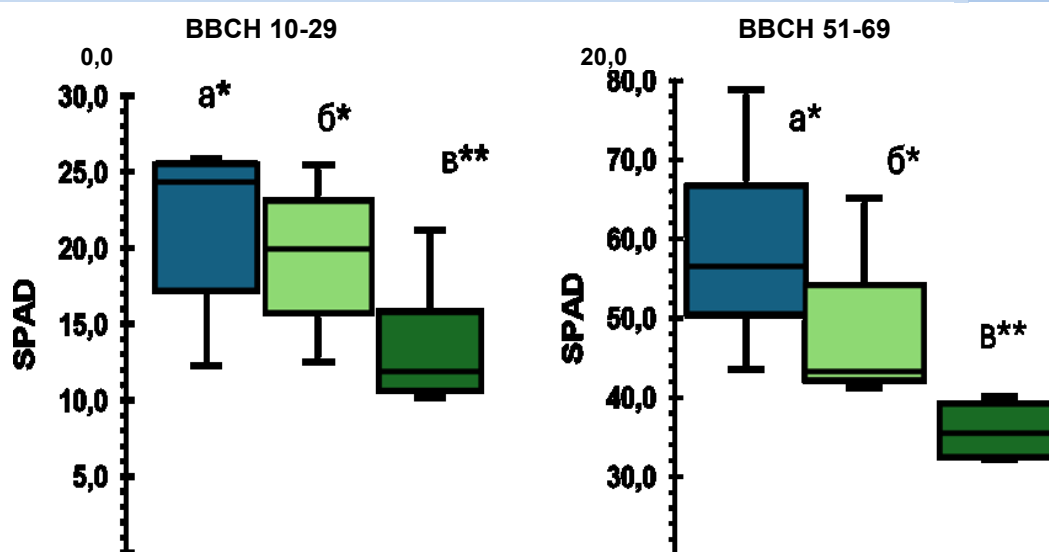
Примечание: различия между генотипами достоверны при * p ≤ 0,05 ; ** p ≤ 0,01.

Note: differences between genotypes are significant at * p ≤ 0.05; ** p ≤ 0.01.

В среднем, высокой устойчивостью (IV) к септориозу характеризовалось 20,0 % генотипов из всего набора; устойчивые (III) составили 52,0 %; среднеустойчивые (II) – 24,0 %. Из перспективных следует отметить – G₁, G₃, G₅, G₁₂. Восприимчивыми (I) к данному фитоагенту отмечены две гибридных линии (G₃₉, G₅₀^{**}) не представляющие практического интереса по используемым отборочным критериям в представленной работе.

Фотосинтетическая деятельность растений обуславливает формирование максимального уровня биологической продуктивности, при этом, негативное действие фитопатогенов может приводить к его неполной реализации [14,17]. Гибридные линии оценивали по накоплению хлорофилла в листьях у льна-долгунца в течение вегетации. На начальном этапе роста и развития гибридных линий его содержание было невысоким (12,5 ± 1,03* – 25,9 ± 2,44** SPAD), постепенно возрастающая к периоду цветения (43,5 ± 2,25** – 78,8 ± 1,15* SPAD), а затем снижаясь в период ранней желтой спелости (36,1 ± 1,16* – 20,9 ± 2,01* SPAD), что связано с его постепенной деградацией, находящейся в зависимости от конкретного генотипа. У растений, со слабой степенью поражения, его накопление было большим, при этом, максимальные достоверные различия между генотипами выявили в период цветения. Из гибридных линий по данному показателю следует отметить G₁ (78,8 ± 1,16, p ≤ 0,01), G₃ (68,7 ± 1,21, p ≤ 0,05), G₁₅ (65,7 ± 1,44, p ≤ 0,05), G₁₈ (64,1 ± 2,11, p ≤ 0,01), G₁₂ (61,3 ± 2,10, p ≤ 0,05), G₂₇ (51,5 ± 2,15, p ≤ 0,05), G₃₁ (49,1 ± 1,08*, p ≤ 0,05), G₄₄ (47,3 ± 1,11*, p ≤ 0,05) (рисунок 2).

Представляют интерес для дальнейшего индивидуального селекционного отбора генотипы с максимальным накоплением фотосинтетического пигмента и устойчивостью к септориозу BVCH: 10-29 (G₂, G₁₅, G₁₃, G₂₇); 51-69 (G₁, G₃, G₁₂, G₂₇, G₄₄); 83-90 (G₁, G₃, G₁₂, G₁₅, G₄₄). Содержание хлорофилла в листьях при действии различных биотических факторов среды рассматривается как один из физиологических маркеров при оценке генотипов культурных растений. При этом на льне его использование немногочисленно, что требует проведения дополнительных исследований на индивидуальном и популяционном уровне, особенно в более «северных» условиях культивирования льна с целью возможного повышения адаптационного статуса растений.



Примечание: группа – высокоустойчивая (а), устойчивая (б), среднеустойчивая (в). Различия между генотипом и средним популяционным значением достоверны при $p \leq 0,05$ (*); $p \leq 0,01$ (**). Шкала BBCH: 10-29 (всходы-«ёлочка»); 51-69 (бутионизация-цветение).

Note: group – highly resistant (a), resistant (b), medium-resistant (c). The differences between the genotype and the average population value are significant at $p \leq 0.05$ (*); $p \leq 0.01$ (**). VVSN scale: 10-29 (sprouts-“Christmas tree”); 51-69 (budding-flowering).

Рисунок 2 – Содержание хлорофилла у гибридных линий льна (F_3 - F_5) в различные периоды роста и развития растений, среднее, 2021-2023 гг

Figure 2 – Chlorophyll content in hybrid flax lines (F_3 - F_5) at different periods of plant growth and development, average, 2021-2023

На третьем этапе проводили корреляционный анализ изученных показателей, в результате которого выявлены взаимосвязи различного уровня достоверности между ними (рисунок 3). Данный статистический метод – один из элементов тестирования исходного материала, позволяющий выявить сопряженность различных признаков, использование которых позволяет внести вклад в повышение эффективности отбора, особенно на раннем этапе селекции [7, 8, 15].

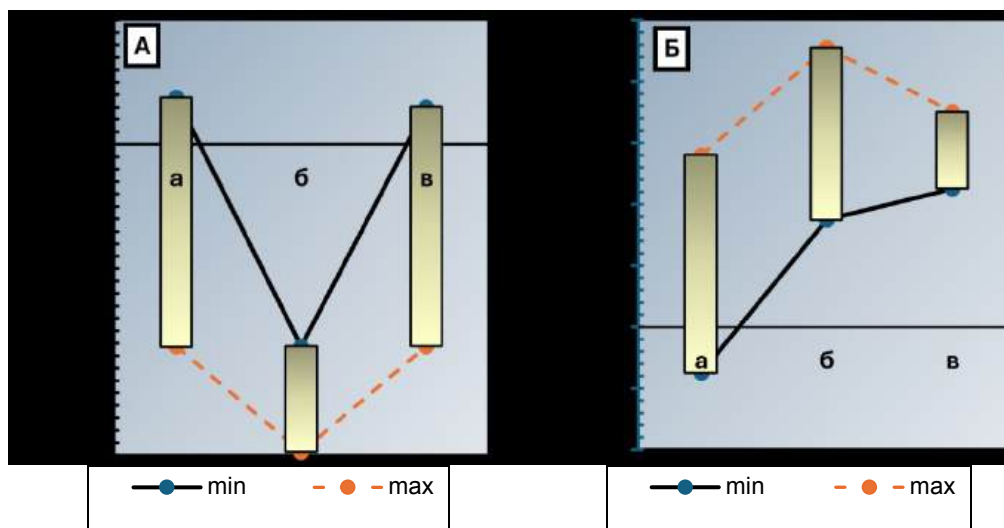


Рисунок 3 – Взаимосвязь среднесуточной температуры воздуха (А), количества выпавших осадков (Б) со степенью развития болезни (а), распространенностью (б), содержанием хлорофилла (в) у гибридных линий льна-долгунца, F_3 - F_5 в период цветения, BBCH 51-69, среднее, 2021-2023 г.

Figure 3 – Relationship between average daily air temperature (A), amount of precipitation (B) and the degree of disease development (a), prevalence (b), chlorophyll content (c) in hybrid flax lines, F_3 - F_5 during the flowering period, BBCH 51-69, average, 2021-2023

В фенологическую фазу бутонизации-цветения выявлена неоднозначная роль температурного режима и количества выпавших осадков на параметры, характеризующие статус стресс-устойчивости к данному агенту биотической природы у изученных генотипов льна-долгунца. Определяющую достоверную роль температура представляла для формирования большего процента поражения септориозом ($r = -0,91$; $p \leq 0,01$), при сопряженности с развитием болезни и содержанием хлорофилла в листьях ($r = -0,31 - 0,33$, $p \geq 0,01$). Гибридные растения льна в меньшей степени были поражены фитопатогеном и формировали максимальное накопление хлорофилла при оптимальной влагообеспеченности ($r = 0,63 - 0,58$; $p \leq 0,05$) это согласуется с выявленными механизмами формирования устойчивости при различных условиях вегетационного периода [14, 16, 18], что является важным аспектом при разработке стратегии отбора в условиях данного пункта.

Заключение. На основании многолетнего тестинга межсортных гибридных линий F₃-F₅ льна-долгунца (G₁-G₅₀) в трех контрастных условиях вегетации (2021-2023 гг.) было достоверно ($p \leq 0,05^*$; $p \leq 0,01^{**}$) доказано влияние генотипа (26,6-11,9 %), среды (45,5-31,8 %), взаимодействия генотипа и среды (55,0-28,2 %) на проявление устойчивости к негативному воздействию болезни. Методом неинвазивной экспресс-диагностики установлены особенности накопления хлорофилла в листьях растений льна-долгунца в зависимости от их устойчивости к септориозу. Из наиболее ценных были представлены G₁, G₃, G₁₅, G₁₂, G₂₇, G₃₁, G₄₄.

Онтогенетическая динамика развития болезни была неоднородной, что привело к формированию разнообразной степени устойчивости гибридных линий, в результате итоговой оценки были определены группы (I-IV) по реакции к воздействию фитопатогенного агента. Для дальнейшего использования в селекционных программах рекомендуются гибридные линии льна-долгунца G₁, G₂^{**}, G₄^{*}, G₁₃^{*}, G₁₄^{**}, G₂₄, G₃₀^{**}, G₃₅^{*}, G₄₄^{*}, G₃₁^{*}, G₃₆^{**}, которые носят перспективный статус, были отобраны по результатам комплексной диагностики в условиях данного агроэкологического пункта Тюменской области.

Conclusions. Based on long-term testing of inter varietal hybrid lines F3-F5 of fiber flax (G1-G50) under three contrasting growing conditions (2021-2023), the influence of genotype (26.6-11.9 %), environment (45.5-31.8 %), and genotype-environment interaction (55.0-28.2 %) on the manifestation of resistance to the negative impact of the disease was reliably ($p < 0.05^*$; $p < 0.01^{**}$) proven. Using the method of non-invasive express diagnostics, the characteristics of chlorophyll accumulation in the leaves of fiber flax plants depending on their resistance to septoria were established. The most valuable were G1, G3, G15, G12, G27, G31, G44.

The ontogenetic dynamics of disease development was heterogeneous, which led to the formation of various degrees of resistance in hybrid lines. As a result of the final assessment, groups (I-IV) were determined based on the reaction to the impact of the phytopathogenic agent. The following hybrid lines of fiber flax are recommended for further use in breeding programs: G₁, G₂^{**}, G₄^{*}, G₁₃^{*}, G₁₄^{**}, G₂₄, G₃₀^{**}, G₃₅^{*}, G₄₄^{*}, G₃₁^{*}, G₃₆^{**}, which have promising status and were selected based on the results of comprehensive diagnostics in the conditions of this agricultural and ecological point of the Tyumen Region.

Библиографический список

1. Si Chen, Hongmei Yuan et al. Cloning and Functional Validation of the Candidate Gene LuWRKY39 Confering Resistance to *Septoria linicola* (Speg.) Garassini from Flax. Agriculture. 2025. V. 15. Art. 1561.
2. Cheng Y., Tang X., Gao C., Li Z., Chen J., Guo L., Wang T., Xu J. Molecular Diagnostics and Pathogenesis of Fungal Pathogens on Bast Fiber Crops. Pathogens. 2020. V. 9 (3). Art. 223.
3. Новаковский Р. О., Повхова Л. В., Краснов Г. С., Рожмина Т. А., Жученко А. А., Пушкова Е. Н., Кезина П., Кудрявцева А. В., Дмитриев А. А., Мельникова Н. В. Семейство генов дегидрогеназ коричневого спирта вовлечено в ответ устойчивых и восприимчивых генотипов льна на заражение *Fusarium oxysporum*. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. Т. 23. № 7. С. 896-901.
4. Stafecka I., Grauda D., Stramkale S. The evaluation of disease resistance of flax genotypes in relation to environmental factors. Agriculture. 2019. V. 106. Pp. 367-375.
5. Perryman S., Glas Fitt B. D. L. Fall showing increases *Mycosphaerella Linicola* blight severity on flaxseed in the UK. Annals of Applied Biology. 2009. V. 154. Pp. 19-32.
6. Pommier D., Bammé B., Penaud A., Valade R., Saffert F. First report of the sexual stage of the flax pathogen *Mycosphaerella linicola* in France and its impact on the epidemiology of *Mycosphaerella linicola*. Plant Pathology. 2021. V. 70. Pp. 475-483.
7. Жученко А. А., Рожмина Т. А. Генетические ресурсы и селекция растений – главные механизмы адаптации в сельском хозяйстве. Вестник аграрной науки. 2019. № 6 (81). С. 3-8.
8. Кудрявцева Л. П. Устойчивость сортов – важный элемент интегрированной защиты льна-долгунца от болезней. Аграрный вестник Урала. 2021. № 11 (214). С. 36-44.
9. Diederichsen A., Ulrich A. Variability in stem fiber content and its association with other characteristics in 1177 flax (*Linum usitatissimum* L.) genebank accessions. Industrial Crop and Products. 2009. V. 30 (1). Pp. 33-39.

10. Soto-Cerda B. J., Diederichsen A., Ragupathy R., Cloutier S. Genetic characterization of a core collection of flax (*Linum usitatissimum* L.) suitable for association mapping studies and evidence of divergent selection between fiber and linseed types. *BMC Plant Biology*. 2013. V. 13. P. 78.
11. Кудрявцева Л. П., Рожмина Т. А. Генотипы льна с горизонтальной устойчивостью к пасмо (септориозу) для целей селекции. *Аграрная наука*. 2023. № 370 (5). С. 78-82.
12. Кудрявцев Н. А., Кудрявцева Л. П., Зайцева Л. А., Курбанова З. К. Ресурсы улучшения фитосанитарного состояния посевов льна. Защита и карантин растений. 2020. № 8. С. 22-26.
13. Novakovskiy R. O., Dvorianinova E. M. et al. Data on genetic polymorphism of flax (*Linum usitatissimum* L.) pathogenic fungi of *Fusarium*, *Colletotrichum*, *Aureobasidium*, *Septoria*, and *Melampsora* genera. *Data Brief*. 2020. Art.105710.
14. Paumier D., Blandine B., Annette P., Romain V., Frederic S. First report of the sexual stage of the flax pathogen *Mycosphaerella linicola* in France and its impact on pasmo epidemiology. *Plant pathology*. 2020. V. 70 (2). Pp. 475-483.
15. Halley S., Bradley K. A., Lukacs J. R., McMullen M., Knodel J. J., Endres G. J., Gregoire T. Distribution and severity of samo on flax in North Dakota and evaluation of fungicides and cultivars for management. *Plant Diseases*. 2004. V. 88. Pp. 1123-1126.
16. Cheng Y., Tang X., Gao, Q., Li Z., Chen J., Guo L., Wang T., Xu D. Molecular diagnostics and pathogenesis of fungal pathogens on bast crops. *Pathogens*. 2020. V. 9. Art. 223.
17. Lapalu N., Simon A., Demenu B., Pommier D., Guillot M., Gout L., Saffert F., Valade R. Complete genome sequences of *Septoria linicola*: a resource for studying a damaging pathogen of flax. *Plant Microbe Interactions*. 2023. V. 36. Pp. 59-63.
18. Черников В. Г., Ростовцев Р. А., Кудрявцев Н. А., Ушаповский И. В., Попов Р. А. Влияние факторов окружающей среды на урожай и качество льняного сырья. *Вестник аграрной науки*. 2020. № 5 (86). С. 3-10.

References

1. Si Chen, Hongmei Yuan et al. Cloning and Functional Validation of the Candidate Gene LuWRKY39 Conferred Resistance to *Septoria linicola* (Speg.) Garassini from Flax. *Agriculture*. 2025. V. 15. Art. 1561.
2. Cheng Y., Tang X., Gao C., Li Z., Chen J., Guo L., Wang T., Xu J. Molecular Diagnostics and Pathogenesis of Fungal Pathogens on Bast Fiber Crops. *Pathogens*. 2020. V. 9 (3). Art. 223.
3. Novakovskiy R. O., Povkhova L. V., Krasnov G. S., Rozhmina T. A., Zhuchenko A. A., Pushkova E. N., Kezimina P., Kudryavtseva A. V., Dmitriev A. A., Melnikova N. V. The family of brown alcohol dehydrogenase genes is involved in the response of resistant and susceptible flax genotypes to *Fusarium oxysporum* infection. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019. Vol. 23. No. 7. P. 896-901.
4. Stafecka I., Grauda D., Stramkale S. The evaluation of disease resistance of flax genotypes in relation to environmental factors. *Agriculture*. 2019. V. 106. Pp. 367-375.
5. Perryman S., Glas Fitt B. D. L. Fall showing increases *Mycosphaerella Linicola* blight severity on flaxseed in the UK. *Annals of Applied Biology*. 2009. V. 154. Pp. 19-32.
6. Pommier D., Bamme B., Penaud A., Valade R., Saffert F. First report of the sexual stage of the flax pathogen *Mycosphaerella linicola* in France and its impact on the epidemiology of *Myco-sphaerella linicola*. *Plant Pathology*. 2021. V. 70. Pp. 475-483.
7. Zhuchenko A. A., Rozhmina T. A. Genetic resources and plant breeding - the main mechanisms of adaptation in agriculture. *Bulletin of agricultural science*. 2019. No. 6 (81). Pp. 3-8.
8. Kudryavtseva L. P. Resistance of varieties is an important element of integrated protection of fiber flax from diseases. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021. No. 11 (214). Pp. 36-44.
9. Diederichsen A., Ulrich A. Variability in stem fiber content and its association with other characteristics in 1177 flax (*Linum usitatissimum* L.) genetic bank accessions. *Industrial Crop and Products*. 2009. V. 30 (1). Pp. 33-39.
10. Soto-Cerda B. J., Diederichsen A., Ragupathy R., Cloutier S. Genetic characterization of a core collection of flax (*Linum usitatissimum* L.) suitable for association mapping studies and evidence of divergent selection between fiber and linseed types. *BMC Plant Biology*. 2013. V. 13. P. 78.
11. Kudryavtseva L. P., Rozhmina T. A. Flax genotypes with horizontal resistance to pasmo (septoria) for breeding purposes. *Agrarian Science*. 2023. No. 370 (5). Pp. 78-82.
12. Kudryavtsev N. A., Kudryavtseva L. P., Zaitseva L. A., Kurbanova Z. K. Resources for improving the phytosanitary condition of flax crops. *Plant Protection and Quarantine*. 2020. No. 8. Pp. 22-26.
13. Novakovskiy R. O., Dvorianinova E. M. et al. Data on genetic polymorphism of flax (*Linum usita-tissimum* L.) pathogenic fungi of *Fusarium*, *Colletotrichum*, *Aureobasidium*, *Septoria*, and *Melampsora* genera. *Data Brief*. 2020. Art.105710.
14. Paumier D., Blandine B., Annette P., Romain V., Frederic S. First report of the sexual stage of the flax pathogen *Mycosphaerella linicola* in France and its impact on pasmo epidemiology. *Plant pathology*. 2020. V. 70 (2). Pp. 475-483.
15. Halley S., Bradley K. A., Lukacs J. R., McMullen M., Knodel J. J., Endres G. J., Gregoire T. Distribution and severity of samo on flax in North Dakota and evaluation of fungicides and cultivars for management. *Plant Diseases*. 2004. V. 88. Pp. 1123-1126.
16. Cheng Y., Tang X., Gao, Q., Li Z., Chen J., Guo L., Wang T., Xu D. Molecular diagnos-tics and pathogenesis of fungal pathogens on bast crops. *Pathogens*. 2020. V. 9. Art. 223.
17. Lapalu N., Simon A., Demenu B., Pommier D., Guillot M., Gout L., Saffert F., Valade R. Complete genome sequences of *Septoria linicola*: a resource for studying a damaging pathogen of flax. *Plant Microbe Interactions*. 2023. V. 36. Pp. 59-63.
18. Chernikov V. G., Rostovtsev R. A., Kudryavtsev N. A., Ushchapovsky I. V., Popov R. A. Influence of environmental factors on the yield and quality of flax raw materials. *Bulletin of Agrarian Science*. 2020. No. 5 (86). Pp. 3-10.

Информация об авторах

Королёв Константин Петрович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский государственный университет» (Российская Федерация, 625003, г. Тюмень, ул. Володарского, 6), ORCID: 0000-0001-9595-3493, e-mail: korolevkonstantin799@gmail.com

Матвиенко Евгений Владимирович, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник, Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П. Н. Константинова (Российская Федерация, 446442, Самарская область, г. Кинель, пгт. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, д. 76), ORCID 0000-0002-3171-153X, e-mail: opel0076687@yandex.ru

Authors' Information

Korolev Konstantin Petrovich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Tyumen State University" (Russian Federation, 625003, Tyumen, Volodarsky St., 6), ORCID: 0000-0001-9595-3493, e-mail: korolevkonstantin799@gmail.com

Matvienko Evgeny Vladimirovich, Candidate of Biology Sciences, Junior Researcher, Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Volga Region Research Institute of Breeding and Seed Production named after P. N. Konstantinov (Russian Federation, 446442, Samara region, Kinel, Ust-Kinelsky village, Shosseynaya str., 76), ORCID 0000-0002-3171-153X, e-mail: opel0076687@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-16

THE WATER REGIME AND THE FORMATION OF GROUNDWATER IN THE SAND MASSIFS OF THE SOUTH-EAST OF THE EUROPEAN TERRITORY OF RUSSIA**Kulik A. K., Svintsov I. P., Vlasenko M. V., Balkushkin R. N.**

*Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: kulika@vfanc.ru

Received 23.10.2025

Submitted 28.01.2026

The work was carried out within the framework of the State assignment FNFE-2025-0004 "Theoretical justification and concept of adaptive solutions for the management of phyto-ecological resources of the Russian Federation arid zone agricultural landscapes at the river's basin level, using system-dynamic modeling of soil-hydrological processes, climate change effects and anthropogenic loads multi-factorial analysis".

Summary

This article defines the water regime and conditions for groundwater formation in sandy areas of southeastern European Russia. Data on annual precipitation, water capacity of sandy soils, plant-available water content, groundwater pulsation characteristics, and the soil water balance of sandy areas in southeastern European Russia are calculated.

Abstract

Introduction. Sand massifs are natural reservoirs of freshwater resources, which is especially relevant at the current stage of economic use of natural waters due to predicted scenarios of climate change and increasing water stress. Groundwater formation and recharge in sand massifs serves as an integral indicator of the soil water regime, reflecting the interactions between climate, soil, and vegetation. Current understanding of groundwater functioning requires a deeper understanding of these relationships to analyze the spatiotemporal variability of water resources and improve landscape resilience. **The study objects** were the Kalmyk, Terek-Kuma, Dagestan, Volga, and Don sand massifs with an area of >4.8 million hectares. **Materials and methods.** The typology of soil water regimes was conducted according to the methodology of A. A. Rode. An analysis of the water properties of sands and sandy soils, as well as an assessment of moisture reserves in the 100-cm layer, were carried out based on the data obtained as a result of the studies, using generally accepted methods of soil hydrology. Some studies were carried out on a unique scientific facility, the Hydrological Complex of the N. F. Kulik Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences. **Results and conclusions.** It was established that most of the territory of the Kalmyk, Terek-Kuma, and Dagestan overgrown sands are characterized by a non-flushing type of water regime. A flushing water regime is typical for the Don sand massifs, while a periodically flushing regime is typical for the Volga sands. An assessment of the soil-hydrological and climatic conditions of the subregion is given. The water properties of sands and sandy soils are considered. The characteristics of long-term, seasonal, and daily changes in groundwater are presented. Based on long-term data from several authors, the average annual moisture balance in various ecosystems on sandy massifs was calculated. It was shown that open sands are the primary source of groundwater recharge.

Keywords: sandy soils, soil moisture reserves, groundwater, soil water regimes, groundwater formation.

Citation. Kulik A. K., Svintsov I. P., Vlasenko M. V., Balkushkin R. N. The water regime and the formation of groundwater in the sand massifs of the south-east of the European territory of Russia. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 155-167 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-16.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 556.324+631.432

**ВОДНЫЙ РЕЖИМ И ФОРМИРОВАНИЕ ГРУНТОВЫХ ВОД ПЕСЧАНЫХ МАССИВОВ
ЮГО-ВОСТОКА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ**

Кулик А. К., кандидат сельскохозяйственных наук
Свинцов И. П., доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН
Власенко М. В., кандидат сельскохозяйственных наук
Балкушкин Р. Н., младший научный сотрудник

ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук»
г. Волгоград, Российская Федерация

Работа проводилась в рамках Государственного задания FNFE-2025-0004 «Теоретическое обоснование и концепция адаптивных решений по управлению фитозоологическими ресурсами агроландшафтов засушливой зоны РФ на бассейновом уровне, с использованием системно-динамического моделирования почвенно-гидрологических процессов, многофакторного анализа влияния изменения климата и антропогенных нагрузок».

Актуальность. Песчаные массивы являются природными накопителями пресных водных ресурсов, что особенно актуально на современном этапе хозяйственного использования природных вод в связи с прогнозными сценариями изменения климата и повышения водного стресса. Формирование и пополнение грунтовых вод на песчаных массивах выступает интегральным показателем водного режима почв, отражающим взаимодействие между климатом, почвой и растительностью. Современные представления о функционировании грунтовых вод требуют углубленного понимания этих связей для анализа пространственно-временной изменчивости водных ресурсов и повышения устойчивости ландшафтов. **Объектами** исследования являлись Калмыцкие, Терско-Кумские, Дагестанские, Приволжские и Придонские песчаные массивы площадью > 4,8 млн га. **Материалы и методы.** Типология водного режима почв проводилась по методике А. А. Роде. Анализ водных свойств песков и песчаных почв, а также оценка запасов влаги в слое 100 см осуществлялись по данным, полученным в результате проведенных исследований, с применением общепринятых методов почвенной гидрологии. Ряд исследований выполнялся на уникальной научной установке «Гидрологический комплекс ФНЦ агроэкологии РАН им. Н. Ф. Кулика». **Результаты и выводы.** Установлено, что большая часть территории Калмыцких, Терско-Кумских и Дагестанских заросших песков характеризуется непромывным типом водного режима. Для Придонских песчаных массивов типичен промывной водный режим, для Приволжских песков – периодически промывной. Дана оценка почвенно-гидрологическим и климатическим условиям субрегиона. Рассмотрены водные свойства песков и песчаных почв. Представлена характеристика многолетних, сезонных и суточных изменений грунтовых вод. По многолетним данным ряда авторов рассчитан среднегодовой баланс влаги в различных экосистемах на песчаных массивах. Показано, что основным источником пополнения грунтовых вод являются открытые пески.

Ключевые слова: песчаные почвы, влагозапасы почвы, грунтовые воды, водные режимы почв, формирование грунтовых вод.

Цитирование. Кулик А. К., Свинцов И. П., Власенко М. В., Балкушкин Р. Н. Водный режим и формирование грунтовых вод песчаных массивов юго-востока европейской территории России. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 155-167. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-16.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Запасы пресных подземных вод являются важнейшими компонентами гидрологических и климатических процессов. Спрос на них растет с увеличением численности населения, так как существует необходимость в водоснабжении городов, промышленности и особенно сельского хозяйства – крупнейшего потребителя подземных вод [1]. В будущем предполагается, что функционирование засушливых экосистем будет связано с местными особенностями выпадения осадков, изменениями в накоплении снега и потенциальным истощением почвенной влаги из-за потепления [2]. Для территории бассейна Дона диапазон ожидаемого дефицита испарения может возрасти к 2030 г. на 40-100 мм; объем водопотребления для целей орошения увеличится до 1368 млн м³; удельное водопотребление на 1 га может вырасти на 10-15 % [3, 4]. Дефицит воды, ухудшение ее качества, разрушение водных экосистем серьезно влияют на целостность природных экосистем, здоровье и благополучие людей. В связи с этим управление и бережное отношение к грунтовым водам представляет собой серьезную мировую задачу и является одной из важнейших проблем устойчивого использования этого ресурса.

Климатическая зональность песков юго-востока ЕТР обуславливает многообразие форм их хозяйственного использования: сенокосно-пастбищное хозяйство, лесоразведение, бахчеводство, кормопроизводство, садоводство, виноградарство. На сегодняшний день около 80 % их площади используется под пастбища. Например, на Дагестанских и Терско-Кумских песках развито мясо-молочное, мясо-шерстное и тонкорунное овцеводство, на Калмыцких, Приволжских и Придонских песках – скотоводство мясо-молочной направленности. Площади окультуренных песчаных земель юго-востока ЕТР незначительны, земледелие (кормопроизводство, зерновые культуры и бахчи) в основном богарное.

Особенностью арен является комплексность почвенно-гидрологических условий, приуроченность к речным долинам, морским и озерным побережьям, легкость гранулометрического состава, и как отрицательный момент – податливость дефляции. В составе современного лесомелиоративного фонда России находится 1,4 млн га песков (в основном заросших бугристых), из них в лесостепной зоне – 16 %, степной – 15 %, сухостепной – 12 %, полупустынной – 57 %. Формы песков разнообразны: барханные, подвижные и слабозакрепленные грядовые, грядово-бугристые, бугристые. Песчаные массивы являются хорошими природными накопителями качественных пресных водных ресурсов и поддерживают меженный дебит рек [5, 6]. Например, за год в грунтовые воды Донского бассейна поступает на Калачевско-Голубинских песках 12,4 млн м³, на Арчединско-Донских песках 102,8 млн м³ атмосферных осадков [6]. Особо значимый источник круглогодичного пополнения грунтовых вод – имеющие хорошую водопроницаемость открытые и слабозаросшие пески, на которых все атмосферные осадки (за исключением физического испарения) инфильтруются в грунтовые воды. Динамика поступления осадков в грунтовые воды на песчаных массивах, их пространственно-временное перераспределение, физическое испарение с поверхности почвы зависят от таких факторов, как биомасса растительного покрова, антропогенные нагрузки, рельеф, климатические изменения [7, 8]. Эти связи нелинейны и определяются сложными взаимодействиями между климатом, почвой и растительностью, влияющими напрямую на водный режим почв [9, 10]. Формирование и пополнение грунтовых вод на песчаных массивах выступает интегральным показателем водного режима почв, отражающим эти взаимодействия. Современные знания о грунтовых водах в условиях повышенного водного стресса требуют понимания последствий этих связей.

Целью исследования является изучение водного режима и условий формирования грунтовых вод на песчаных массивах юго-востока ЕТР. В задачи исследований входило рассмотрение следующих вопросов: распределение песков по типам водного режима; оценка запасов влаги в песчаных почвах; выявление сезонных колебаний и суточных пульсаций уровня грунтовых вод на песках; оценка среднегодового баланса влаги на песчаных массивах.

Материалы и методы. Определение годовых типов водного режима проводилось по результатам наших наблюдений за динамикой влажности зоны аэрации на ключевых мониторинговых участках песчаных массивов, расчетов возможности промачивания в зависимости от выпавших осадков в течение периода влагонакопления (ноябрь-март) и мощности сухого горизонта, который был сформирован в предшествующий летний период, а также по имеющимся данным различных авторов. Проводились почвенные, геоботанические, гидрологические и другие исследования: рельефная съемка, наблюдения за режимом влажности почв в различных почвенно-растительных условиях, сбор метеорологических данных и т. п. Анализ водных свойств песков и песчаных почв, а также оценка запасов влаги осуществлялись по данным, полученным в результате проведенных исследований, с применением общепринятых методик почвенной гидрологии (Кулик, 1979). Были определены почвенно-гидрологические константы на песках: влажность завядания, наименьшая влагоемкость, доступная и недоступная влага.

Ряд исследований проводился на уникальной научной установке «Гидрологический комплекс ФНЦ агроэкологии РАН им. Н. Ф. Кулика», который состоит из 8 крупногабаритных лизиметров и 18 вегетационных площадок, заполненных почвенными субстратами с различных песчаных массивов ЕТР. Каждый лизиметр представляет собой емкость объемом 20,5 м³. Площадь поверхности – 6,3 м², глубина – 3,0-3,5 м. Лизиметры имеют водовыпуск в подземную галерею, где непрерывно ведется учет грунтового стока.

Типология водного режима почв осуществлялась по методике А. А. Роде (Роде, 1965), в основу которой положена возможность просачивания осадков через зону аэрации до уровня грунтовых вод. При непромывном типе водного режима промачиваются только

верхние 0,6-1,5 м, а нижележащая толща до 10-15 м остается сухой (импермацидный горизонт). Промывной тип водного режима характеризуется сквозным ежегодным промачиванием до уровня грунтовых вод. Отличительная особенность периодически промывного типа водного режима состоит в том, что промачивание зависит от величины атмосферных осадков: если осадков выпало меньше нормы, то они не достигнут уровня грунтовых вод; если выпала норма осадков или больше нормы, то будет наблюдаться сквозное промачивание. Выпотной тип водного режима, когда на испарение уходят часть грунтовых вод и осадки, характерен для солончаковых пустынь, лесных колков, межбугровых понижений.

Объектами исследования являлись песчаные территории юго-востока ЕТР: Придонские (Арчединско-Донской – 222,12 тыс. га, Калачевско-Голубинский – 25,2 тыс. га, Етеревский – 18 тыс. га, Казанско-Вешенский – около 120 тыс. га), Приволжский (100 тыс. га), Калмыцкий (3,5 млн га), Терско-Кумский (791 тыс. га) и Дагестанский (1,175 тыс. га) песчаные массивы (рисунок 1).

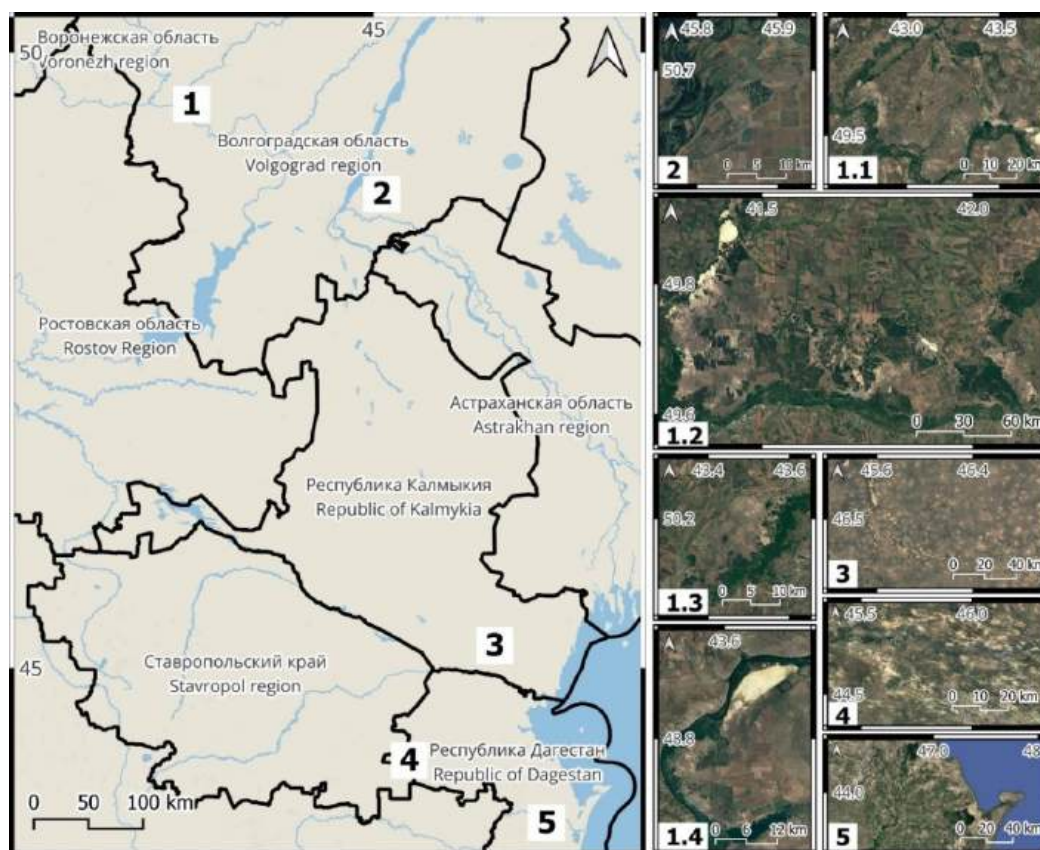


Рисунок 1 – Основные песчаные массивы юго-востока ЕТР: 1 – Придонские пески (1.1 – Арчединско-Донские, 1.2 – Казанско-Вешенские, 1.3 – Етеревские, 1.4 – Калачевско-Голубинские); 2 – Приволжские пески; 3 – Калмыцкие пески; 4 – Терско-Кумские пески; 5 – Дагестанские пески

Figure 1 – The main sand massifs of the south-east of the ETR are: 1 – The Pridonsky sands (1.1 – Archedinsko-Don, 1.2 – Kazansko-Vyoshensk, 1.3 – Eterevsky, 1.4 – Kalachevo-Golubinsky); 2 – Volga sands; 3 – Kalmyk sands; 4 – Tersko-Kuma sands; 5 – Dagestan sands

Придонские пески расположены в бассейне Дона. Их общая площадь составляет > 1 млн га. Доля бугристых песков достигает около 50 % территории рассматриваемых песчаных массивов. Остальные равнинно-бугристые пространства занимают песчаные и супесчаные почвы. В формировании горизонтов грунтовых вод песчаных террас участвуют воды внутреннего (подземного) стока, воды поверхностного стока и атмосферные осадки. Основные источники питания подземных вод – талые воды и атмосферные осадки теплого периода года. Многообразие источников поступления воды в пески низких террас вызывает резкие многолетние и сезонные колебания зеркала грунтовых вод. Климат региона континентальный, с периодически повторяющимися пыльными бурями.

Приволжские пески приурочены к правобережью Волги и имеют характер бугристых песков. В бугристо-котловинных песках, которые образуются при дефляции, бугры имеют деструктивно-аккумулятивное происхождение, а на грунтах с плотными слоями, выступающими как базисы эрозии, – аккумулятивное. Грунтовые воды залегают на глубине от 1-3 до 10-15 м.

Калмыцкие пески («Черные земли») приурочены к пустынной Арало-Каспийской провинции, а также полупустынной зоне Прикаспийской провинции. Площадь песков составляет > 47 % территории республики Калмыкия и представляют собой плоскую аккумулятивную равнину с грядово-волнистым рельефом и перепадами высот до 4 м. Повсеместно распространены солончаки. Климат территории резко континентальный. Пыльные бури продолжаются до 40 дней в году. Среднегодовое количество осадков 244 мм.

Терско-Кумский массив приурочен к Северо-Дагестанской равнинной области и представлен мелкобугристыми мелкозернистыми, а также холмисто-грядовыми среднебугристыми однофазными среднезернистыми кварцево-полевошпатовыми песками. В геохимическом отношении территория связана с горными частями бассейнов Кумы, Терека и Сулака. Грунтовые воды залегают на глубине 1-15 м. Преобладают песчаные полупустынные ландшафты. Почвообразовательный процесс степного типа с образованием песчаных гумусированных и светло-каштановых почв, также встречаются солончаки. Наименьшая влагоемкость песков составляет 4-6 %. Влажность завядания достигает 1,0-1,5 %, Продуктивная влагоемкость сохраняется на уровне 3,0-4,5 %. Климат сухой, континентальный. Среднегодовое количество осадков 264 мм. Возделывание полевых культур сопряжено с вероятностью возникновения пыльных бурь [11].

«Сарыкумские барханы» (территория Дагестанского заповедника) расположены у подножия Наратюбинского хребта и приурочены к Горно-Дагестанской области, району Присулакской равнины, который занимает юго-восточную часть Терско-Сулакской подпровинции. Сарыкумские барханы могут достигать высоты 273 м, протяженность 3 км, сложены из сыпучего кварцевого песка и являются крупнейшим песчаным барханом в Европе. Ландшафт золово-песчаный. Климат засушливый. Среднегодовое количество осадков 262 мм.

Результаты и обсуждение. Одним из важнейших компонентов гидрологического цикла являются осадки. В среднем за год (по данным метеостанций за период 2012-2024 гг.) на арены поступает 244-528 мм в год атмосферных осадков (рисунок 2). В отдельные годы количество осадков может снижаться до 150 мм или возрастать до 740 мм на разных песчаных массивах. Отмечается средняя вариабельность осадков в годовом цикле (коэффициент вариации 20-27 %). Данные о выпавших осадках по метеостанциям, находящимся на объектах исследований, взяты из Интернет-ресурса <http://pogodaiklimat.ru>.

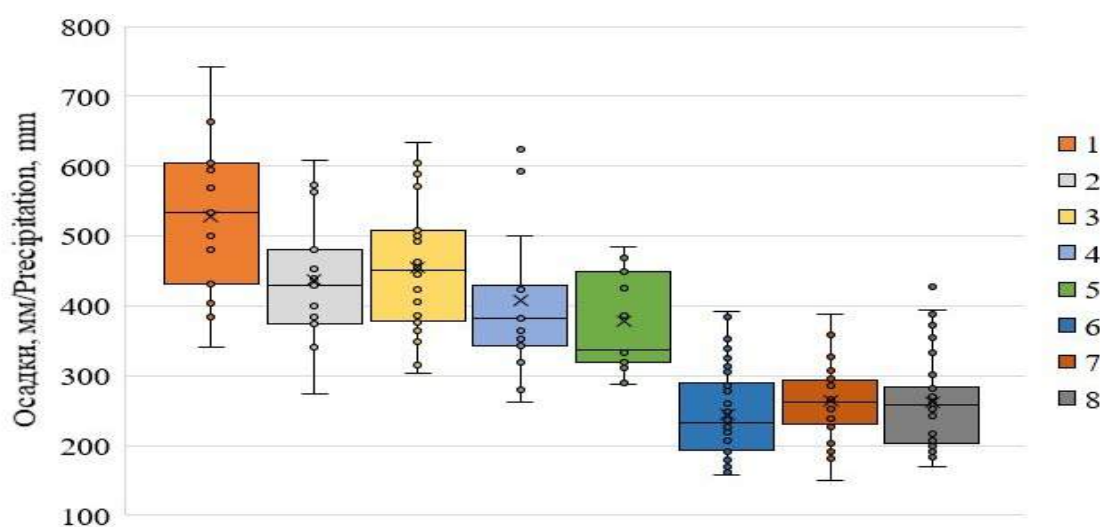


Рисунок 2 – Годовое количество атмосферных осадков (2012-2024 гг.): 1. Казанско-Вешенские (ст. Казанская), 2. Етеревские (г. Михайловка), 3. Арчединско-Донские (г. Серафимович, г. Фролово), 4. Калачевско-Голубинские (г. Калач-на-Дону), 5. Приволжские (г. Волгоград), 6. Калмыцкие (п. Комсомольский, п. Яшкуль, п. Утта), 7. Терско-Кумские (г. Южно-Сухокумск, с. Кочубей, с. Терекли-Мектеб), 8. Дагестанские (г. Кизляр, с. Бабаюрт)

Figure 2 – Precipitation (2012-2024): 1. Kazansko-Veshenskie (Kazanskaya), 2. Eterevskie (Mihajlovka), 3. Archedinsko-Donskie (Serafimovich, Frolovo), 4. Kalachevsko-Golubinskie (Kalach-na-Donu), 5. Privolzhskie (Volgograd), 6. Kalmyckie (Komsomol'skij, Yashkul', Utta), 7. Tersko-Kumskie (Yuzhno-Suhokumsk, Kochubej, Terekli-Mekteb), 8. Dagestanskies (Kizlyar, Babayurt)

Общая нестабильность увлажнения рассматриваемого региона обусловлена, прежде всего, нестабильностью осадков и недостаточным увлажнением зоны аэрации в холодный период года. Нередко зимние осадки рассматриваются как непродуктивные. Это отчасти верно только для северных районов, где значительная часть осадков протекает через зону аэрации и не участвует в водном питании растений. Для южных засушливых арен зимние осадки в большинстве случаев обуславливают урожай трав и прирост леса. Для засушливых регионов существуют методы прогнозирования урожайности пастбищ и приживаемости культур по величине зимней влагозарядки. На Придонских и Приволжских песках средняя сумма осадков за холодный период (ноябрь-март) находится в пределах 180-200 мм, Дагестанских – 115 мм, Калмыцких и Терско-Кумских – 87 мм. Эта величина также подвержена значительным колебаниям – в отдельные годы может понижаться до 35 % от среднееголетней нормы или повышаться на 60 %. Такая динамика осадков за холодный период во многом обуславливает формирование сухих горизонтов почв или глубокое промачивание, что влияет на продуктивность пастбищных экосистем, приживаемость лесных культур и т. п.

Пески по величине наименьшей влагоемкости делятся на низко- (< 4 %), средне- (4-6 %) и высоко- (> 6 %) (таблица 1). Оптимальными для роста и развития растений являются пески высоко- и средневлагоемкие.

Таблица 1 – Водные свойства песков и песчаных почв, запасы влаги в слое 100 см
Table 1 – Water properties of sands and sandy soils, moisture reserves in a layer of 100 cm

Почвы (местонахождение) / Soils (location)	Наименьшая влагоемкость, м ³ /га / Water capacity, m ³ /ha	Доступная влага, м ³ /га / Available soil water, m ³ /ha	Недоступная влага, м ³ /га / Unavailable soil water, m ³ /ha
низковлагоемкие пески / low-water-holding sands			
Примитивные/неполноразвитые песчаные почвы (Волгоградская область, Придонские пески) / Primitive/underdeveloped sandy soils (Volgograd region, Pridonsky sands)	450	375	75
средневлагоемкие пески / medium-water-holding sands			
Связнопесчаная дерново-степная почва (Ростовская область, Придонские пески) / Cohesive sandy-loam sod-steppe soil (Rostov region, Pridonsky sands)	690	450	240
высоковлагоемкие пески / high-water-holding sands			
Легкосупесчаная дерново-степная почва (Ростовская область, Придонские пески) / Light-sandy-loam sod-steppe soil (Rostov region, Pridonsky sands)	1400	860	540
Переветренные пылеватые пески (Ставропольский край, Терско-Кумские пески) / wind-blown silty sands (Stavropol Territory, Tersko-Kuma sands)	1090	715	375

Доступная влага или показатель запасов воды доступных для растений из верхнего почвенного слоя 100 см, для различных песчаных почв варьирует в различных пределах: от 375 м³/га для низковлагоемких песков до > 800 м³/га для высоко- и средневлагоемких песков. Более высокие показатели влагоемкости пылеватых песков по сравнению с грубозернистыми примитивными песчаными почвами определяется возрастанием роли мелкодисперсной фракции в удержании влаги в почвенном профиле, что в конечном итоге обуславливает контрастность водного режима почв песчаных массивов. Глубокое промачивание почвенных горизонтов увеличивает расход влаги на транспирацию и снижает расход влаги на физическое испарение. На Приволжских, Голубинских и Терско-Кумских песках, где выпадает в среднем в год 264-408 мм осадков, растения получают на 40-60 мм воды больше, чем на тяжелых почвах в этих же климатических условиях. Следует отметить также, что для растительных экосистем наиболее благоприятны климатические условия складываются на территориях, где отмечается минимальная вариабельность выпадения атмосферных осадков.

Уменьшение значений почвенно-гидрологических констант на песках происходит по мере перехода от древних песчаных почв к современным эоловым образованиям и с поверхности в глубину, при условии, что территория не подвергается дефляции и на почве идут почвообразовательные процессы. Однако, эти закономерности нарушаются при наличии прослоек тяжелого гранулометрического состава (Кулик, 1979).

Гидрология почв оценивает гидрологические явления, происходящие в ландшафтах, с учетом условий на верхней и нижней границах почвы и гидрофизических свойств почв. Для оценки и прогноза гидромелиоративных эффектов, направленных на охрану и повышение почвенного плодородия, полезны знания о взаимосвязанных между собой тепло-влагообменных процессах [12, 13]. В этой связи следует остановиться на явлении термоградиентного переноса влаги в почвах и возможности внутрипочвенной конденсации. Внутрипочвенной конденсации придают большое значение в водопитании древесной и травянистой растительности, предполагая миграцию парообразной влаги летом в нижележащие холодные горизонты и ее конденсацию там [14]. Отмечено два процесса, при которых осуществляется поступление парообразной влаги из атмосферы в почву, которые поддаются количественному учету. Это молекулярная конденсация и росообразование. Молекулярная конденсация наблюдается ночью регулярно, если поверхность песков иссушена до максимальной гигроскопичности и более. С влажной поверхности происходит физическое испарение, однако в значительно меньших размерах, чем днем. Максимальные величины молекулярной конденсации на песках не превышают 0,15 мм за ночь. Средние величины составляют 0,08-0,1 мм. Во всех случаях лесной полог уменьшает молекулярную конденсацию в 1,5-2,0 раза.

Термоградиентный перенос влаги имеет большое значение для жизни лесных насаждений на песчаных почвах. При засухах массовая гибель молодых 5-10-летних лесных культур (особенно сосновых) наблюдается в конце августа – начале сентября. В этот период в горизонтах 50-150 см выравниваются температуры (идет перестройка теплового процесса) и временно затухает сезонная миграция влаги. Если в этот период в верхних почвенных горизонтах наблюдалась большая сухость, культуры массово гибнут. Этот процесс осуществляется в основном на базе влаги, поступающей с атмосферными осадками. Суточная миграция парообразной влаги происходит наиболее интенсивно на обнаженных участках песков, где амплитуда колебаний температур поверхностных горизонтов почвы примерно в 5 раз выше, чем под пологом леса. Перенос парообразной влаги, подчиняясь физическим законам, не может быть фактором формирования висячих горизонтов влаги, а тем более служить основой формирования грунтовых вод. В нижних горизонтах почвы в зоне постоянных температур миграция парообразной влаги или отсутствует, или направлена снизу-вверх, куда идет тепловой поток земных недр. В приходной части водного баланса растительность играет незначительную роль и отвечает за статью прихода «конденсат паров влаги из атмосферы».

Растения в засушливых районах являются механическим аккумулятором горизонтальных осадков, тумана, инея, изморози и конденсата: на кронах осаждается сконцентрированная в воздухе влага, передвигающаяся под действием ветра. Абсолютные годовые величины накапливаемой влаги за счет горизонтальных осадков невелики: до 5-8 мм в год в пересчете на площадь, занимаемую опушечным рядом, в наиболее благоприятных условиях (Терско-Кумское междуречье).

На аренах из лиственных пород встречаются различные виды тополей (*Populus*), ольха черная (*Alnus glutinosa*), ильмовые (*Ulmus*), лох (*Elaeagnus*), ивы (*Salix*), березы (*Betula*), акация белая (*Robinia pseudoacacia*) и др. Высокополнотные лиственные насаждения приурочены в основном к источникам дополнительного к осадкам водного питания, без которого 5-10-летние насаждения гибнут или превращаются в низкорослые. Повсеместно на песках степной зоны выращиваются сосновые лесные культуры. Лучшие участки колковых насаждений сосны на бугристых песках обычно приурочены к участкам, где грунтовые воды залегают на глубине не более 1,5-2,0 м. Корнедоступные грунтовые воды в жизни лесонасаждений играют такую же важную роль, как и осадки, обеспечивая дополнительное водопитание. Обязательным элементом ландшафта являются открытые и слабозаросшие бугры, сложенные рыхлым маловлагоемким песчаным субстратом ($HV < 4\%$), которые служат местом питания грунтовых вод вследствие гравитационного стока.

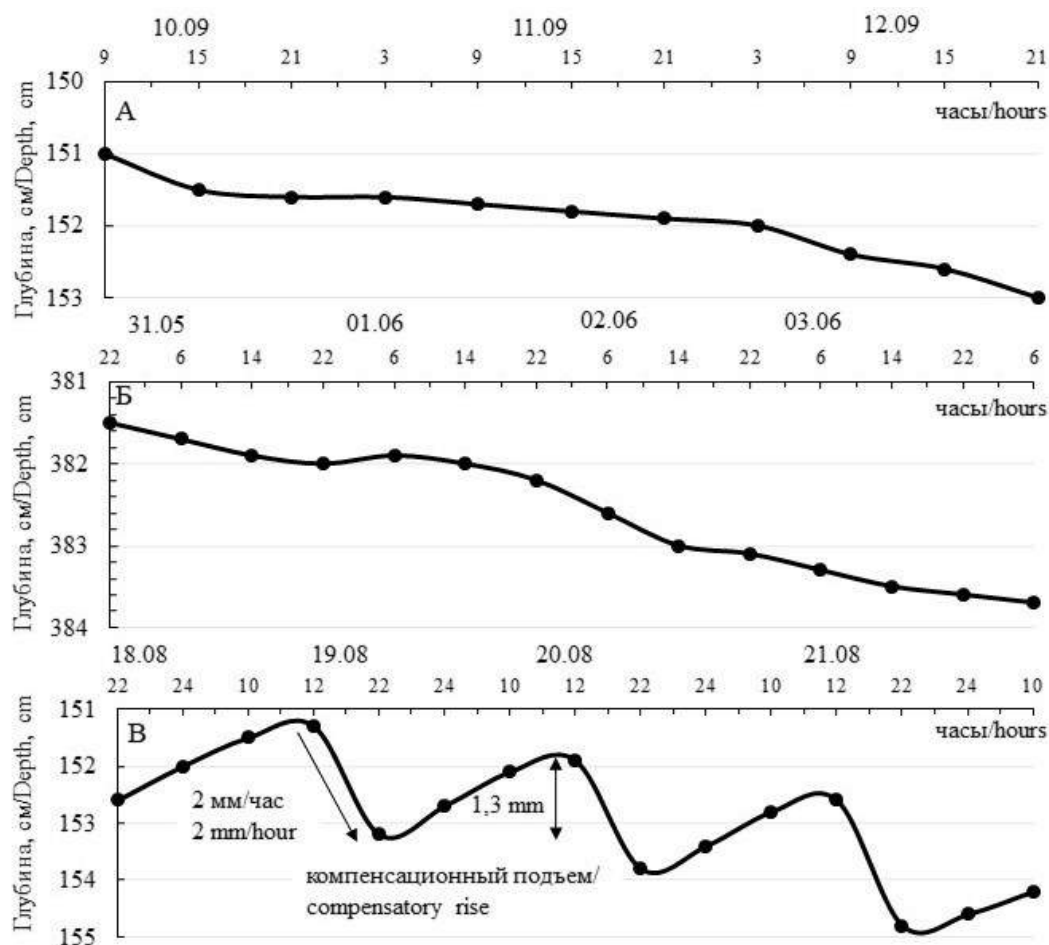


Рисунок 3 – Суточные колебания уровня грунтовых вод в котловине выдувания на Приволжских песках (А) (Кулик, 2005); целинно-степной травостой Арчединско-Донского песчаного массива (Б) (Воронков, 1963) и в 50-летних сосновых насаждениях на песках Нижнего Дона (В) (Кулик, 2005)
Figure 3 – Diurnal fluctuations in the groundwater level in the blowing basin on the Volga sands (A) (Kulik, 2005); virgin steppe grassland of the Archedinsk-Don sandy massif (B) (Voronkov, 1963) and in 50-year-old pine plantations on the sands of the Lower Don (C) (Kulik, 2005)

Грунтовые воды подвержены многолетним, сезонным и суточным изменениям. Многолетние колебания грунтовых вод зависят в основном от климатических факторов и антропогенной нагрузки. Сезонные изменения связаны в первую очередь с динамикой поступления атмосферных осадков и вегетацией растений. Снижение или подъем уровня грунтовых вод на различных территориях не совпадают по времени. Под открытыми песками уровень грунтовых вод постепенно снижается без колебаний, под насаждениями отмечается заметная суточная пульсация (рисунок 3). Под сосновыми насаждениями в связи с меньшими транспирационными расходами суточные колебания уровня грунтовых вод по сравнению с участками под лиственными породами обычно значительно меньше. Основным источником водопитания под сосновым древостоем являются атмосферные осадки. Водопитание из грунтовых вод иногда значительное: в лиственных лесонасаждениях степной зоны в сухие годы до 60-70 % от всего транспирационного расхода (Кулик, 1979).

Когда почвенные горизонты становятся физиологически сухими, а температура воздуха при малой относительности влажности максимальной (июль и август) грунтовые воды совершают максимальные амплитуды. Максимальная суточная пульсация достигает 21,0 см (в лиственных насаждениях) на пылевато-тонкопесчаных водоносных горизонтах, минимальная (0,5-2,0 см) суточная пульсация зафиксирована на Терских грубозернистых песках (Воронков, 1963).

Среднегодовой баланс влаги для лесных культур, разнотравных угодий и открытых песков рассмотренных песчаных территорий представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Среднегодовой баланс влаги песчаных массивов юго-востока ЕТР
Table 2 – The average annual moisture balance of the sandy massifs of the south-east of the ETR

Песчаный массив / The sand massif	Тип песчаных территорий / Type of sandy areas	Осадки, мм / Precipitati on, mm	Физическое испарение, мм / Evaporation, mm	Транспирация, мм / Transpiration, mm	Сток, мм / Water flow, mm
Казанско-Вешенский / Kazansko-Vyoshensk	I	528	264,0	216,5	47,5
	II	528	237,6	174,2	116,2
	III	528	221,8	0,0	306,2
Етеревский / Eterevsky	I	438	215,9	197,1	25,0
	II	438	219	170,8	48,2
	III	438	188,3	0,0	249,7
Арчединско-Донский / Archedinsko-Don	I	455	227,5	190,4	37,1
	II	455	204,8	170,0	80,3
	III	455	213,9	0,0	241,2
Калачевско- Голубинский / Kalachevo-Golubinsky	I	408	211,5	163,2	33,3
	II	408	204,0	173,0	31,0
	III	408	208,1	0,0	199,9
Приволжский / Volga sands	I	377	197,0	180,0	0,0
	II	377	188,5	160,2	28,3
	III	377	226,2	0,0	150,8
Калмыцкий / Kalmyk sands	I	244	133,9	110,1	0,0
	II	244	139,5	104,5	0,0
	III	244	144,4	0,0	99,6
Терско-Кумский / Tersko-Kuma sands	I	264	130,1	133,9	0,0
	II	264	148,0	116,0	0,0
	III	264	140,1	0,0	123,9
Дагестанский / Dagestan sands	I	262	134,2	127,8	0,0
	II	262	160,4	101,6	0,0
	III	262	154,4	0,0	107,6

Примечание: I – лесные культуры; II – разнотравные угодья; III – открытые пески.

Note: I – forest crops; II – grassland; III – sands without herbage.

На основе водно-балансовых расчетов установлено, что гравитационный сток на открытых песках в зависимости от почвенно-климатических условий достигает от 40 до 60 % (100-306 мм) полученных атмосферных осадков. При этом транспирация из почвы на открытых песках отсутствует. Пополнение грунтовых вод на открытых песках внутрипочвенным стоком наблюдается в течение всего года [15]. Являясь аккумуляторами пресной воды, открытые пески оказывают опресняющее влияние на прилегающую территорию и могут быть использованы для создания насаждений, использующих пресный грунтовой поток.

На пастбищных участках и в лесных насаждениях отмечается отсутствие стока на Приволжских, Терско-Кумских и Калмыцких песках, а также в лесных насаждениях на Дагестанских и Голубинских песках в связи с малым количеством выпавших осадков. Особенно много осадков задерживают кронами сомкнутые насаждения в стадии жердняка, старовозрастные и спелые древостои. Максимальное физическое испарение наблюдается в районах с максимальным количеством осадков. С уменьшением летних осадков, уменьшается абсолютная величина испарения. Потери воды на физическое испарение в зимний период для заросших травмами песков более высокие, чем в лесных насаждениях. Открытые и слабозаросшие пески в годовом ритме осадков способны питать грунтовые воды в количестве до 60 %. Следует также отметить, что биологический эффект летних атмосферных осадков

в засушливых регионах сильно зависит от водных свойств почв. Стабильность увлажнения почвы является одним из основных факторов долговечности растений. С увеличением аридности климата такая стабильность сдвигается в сторону менее влагоемких почв [16].

Открытые пески являются основным источником питания грунтовых вод. Степные и лесные ландшафты также питают грунтовые воды, но в меньших объемах. Количество стока зависит от количества выпавших осадков, для степных ландшафтов – также от проективного покрытия трав и хозяйственной нагрузки, для лесных участков – от класса бонитета леса.

В результате исследований динамики почвенной влаги было установлено, что большие площади песков в засушливых регионах юго-востока ЕТР (Калмыцкие, Терско-Кумские и Дагестанские пески) характеризуются преимущественно периодически промывным типом водного режима (рисунок 4).

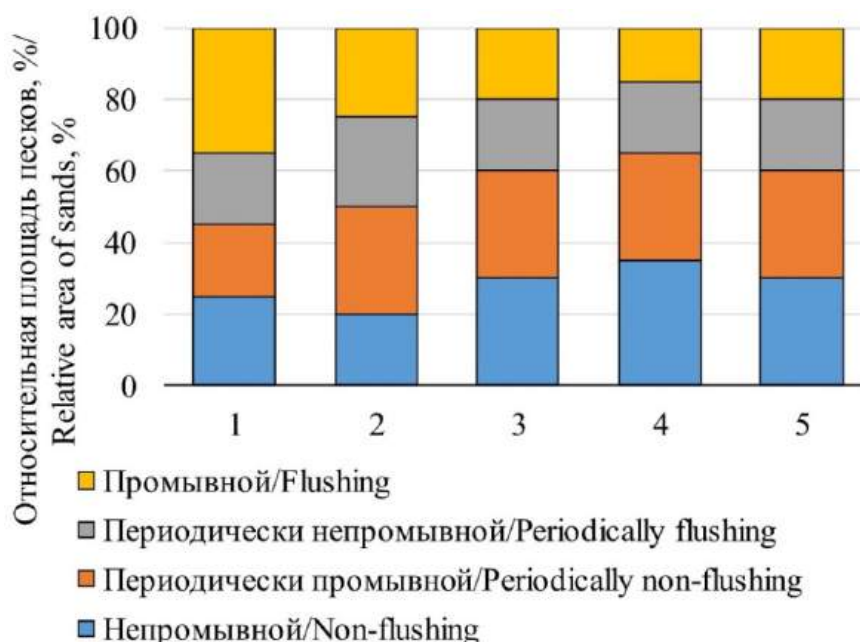


Рисунок 4 – Распределение площади песков юго-востока ЕТР по типам водного режима:
1 – Придонские, 2 – Приволжские, 3 – Терско-Кумские, 4 – Калмыцкие, 5 – Дагестанские
Figure 4 – Distribution of the area of sands in the south-east of the ETR by type of water regime:
1 – Pridonsky, 2 – Volga, 3 – Tersk-Kuma, 4 – Kalmyk, 5 – Dagestan

Для Придонских песчаных массивов на открытых и слабозаросших песках повсеместно наблюдается промывной тип водного режима, где более обильные осадки, по сравнению с вышеописанными территориями, беспрепятственно просачиваются через почву к грунтовым водам. В течение гидрологического года наблюдается относительно стабильный ход влажности (при однородном гранулометрическом составе) в особенности в глуболежащих горизонтах. На лизиметрах УНУ "Гидрологический комплекс ФНЦ агроэкологии РАН им. Н. Ф. Кулика», имитирующих открытые пески, гравитационный внутрипочвенный сток наблюдается в течение всего года. Интенсивность стока максимальна в марте-апреле, что связано с активным проникновением влаги после снеготаяния (до 10 мм/сут.). В отдельные годы может фиксироваться еще один максимум, обусловленный выпадением крупных атмосферных осадков в мае-июне. В следующие месяцы наблюдается постепенное уменьшение скорости стока до 0,007-0,18 мм/сут., что отражает истощение запасов влаги. По мере зарастания песков объем гравитационного стока постепенно сокращается вследствие возрастания роли транспирации и частичного перехвата осадков надземной фитомассой. В этих условиях усиливается пространственно-временная неоднородность водного режима и возрастает значение биогенных факторов в его формировании. Для Приволжских песков в основном свойственен периодически промывной водный режим, при котором сквозная инфильтрация и подпитка грунтовых вод проявляются в годы с повышенным увлажнением.

Заключение. Формирование грунтовых вод песчаных массивов юго-востока ЕТР зависит от географического и биocenотического потенциалов территории. Немаловажным также является антропогенный фактор, прямо или косвенно влияющий на развитие песчаных территорий. Грунтовые воды песчаных массивов по своей функциональной значимости в водном питании растений сопоставимы с атмосферными осадками, поскольку в периоды недостаточного увлажнения и повышенного испарения выступают устойчивым источником влаги.

Выявлено, что Калмыцкие, Терско-Кумские и Дагестанские пески характеризуются преимущественно непромывным типом водного режима, для Придонских песчаных массивов типичен промывной и периодически промывной типы, для Приволжских песков – периодически промывной. Установлено, что максимальный сток дают открытые и слабозаросшие пески (40-60 % от величины атмосферных осадков). Пресные грунтовые воды на открытых песках образуются в результате проникновения атмосферных осадков через всю толщу песков и накопления над водоупором или слоем минерализованных грунтовых вод. Большая часть атмосферных осадков в степи и в лесных насаждениях испаряется и расходуется на транспирацию. В связи с чем сток в грунтовые воды или минимален (10-22 % в степи и 8-9 % в лесных насаждениях) или совсем отсутствует. Так как выпадение осадков в засушливых условиях климата очень изменчиво, водно-балансовые характеристики территории также меняются со временем. Количество поступивших в почву осадков обуславливает упрощение либо усложнение растительных флоро-комплексов, изменение их видового состава, продуктивности, устойчивости и долговечности, что в конечном итоге влияет на элементы водного баланса почв.

Оценка производительной способности песчаных земель юго-востока ЕТР на основе комплексного учета всех экологических элементов среды, и особенно их водного режима, способна исправить негативные агроэкологические изменения, вызванные ненормированной хозяйственной нагрузкой. Практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты могут применяться для рационального управления водными ресурсами в хозяйственной деятельности на песках (пастбищное хозяйство, лесовосстановление, виноградарство, бахчеводство и др.), способствуя повышению почвенного плодородия и экологических качеств песчаных ландшафтов.

Conclusion. Groundwater formation in sandy areas of the southeastern European Russian region depends on the geographical and biocenotic potential of the area. Anthropogenic factors, directly or indirectly influencing the development of sandy areas, are also significant. Groundwater in sandy areas is comparable in its functional significance for plant nutrition to atmospheric precipitation, serving as a stable source of moisture during periods of insufficient moisture and increased evaporation.

It has been found that the Kalmyk, Terek-Kuma, and Dagestan sands are characterized primarily by a non-percolating water regime, while the Don sands typically exhibit percolating and periodically percolating water regimes, and the Volga sands exhibit a periodically percolating water regime. It has been established that open and sparsely vegetated sands produce the greatest runoff (40-60 % of precipitation). Fresh groundwater in open sands is formed by precipitation penetrating through the entire sand layer and accumulating above an aquiclude or a layer of mineralized groundwater. Most precipitation in the steppe and forest stands evaporates and is lost to transpiration. Consequently, runoff into groundwater is either minimal (10-22 % in the steppe and 8-9 % in forest stands) or absent altogether. Since precipitation in arid climates is highly variable, the water balance characteristics of the area also change over time. The amount of precipitation entering the soil determines the simplification or complexity of plant flora complexes, altering their species composition, productivity, stability, and longevity, which ultimately affects the elements of the soil water balance. Assessing the productive capacity of sandy soils in the southeast of the European Russian Federation based on a comprehensive assessment of all environmental elements, particularly their water regime, can ameliorate negative agroecological changes caused by unregulated agricultural pressures. The practical significance of this study lies in the fact that the results obtained can be applied to rational water resource management in agricultural activities on sandy soils (grazing, reforestation, viticulture, melon growing, etc.), contributing to increased soil fertility and the ecological quality of sandy landscapes.

Библиографический список

1. Gonzalez R. Q., Arsanjani J. J. Prediction of Groundwater Level Variations in a Changing Climate: A Danish Case Study. ISPRS International Journal of Geo-Information. 2021. V. 10. No 11.
2. Kannenberg S. A., Anderegg W. R. L., Barnes M. L. et al. Dominant role of soil moisture in mediating carbon and water fluxes in dryland ecosystems. Nature Geoscience. 2024. V. 17. Pp. 38-43.
3. Демин А. П., Зайцева А. В. Прогноз водопотребления в Российской части бассейна Дона. Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 5. С. 588-598.
4. Варенцова Н. А., Гречушникова М. Г., Повалишников Е. С. и др. Влияние климатических и антропогенных факторов на весенний сток в бассейне Дона. Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2021. № 5. С. 91-108.

5. Солодовников Д. А., Шинкаренко С. С. Гидрологические и гидрогеологические закономерности формирования речных пойм в бассейне Среднего Дона в современных условиях. Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 6. С. 719-728.
6. Kulik A. K., Kulik K. N., Balkushkin R. N. Bench Sands and Their Role in Water Recharge to Rivers in the Don Basin. Water Resources. 2020. V. 47. No. 6. Pp. 1043-1053.
7. Kulik A. K., Kulik K. N., Vlasenko M. V. et al. Water-Regime Formation in Sands of the Archeda-Don Massif with Respect to the Distribution of Plant Formations. Arid Ecosystems. 2021. V. 11. No. 4. Pp. 358-366.
8. Miguez-Macho G., Fan Y. Spatiotemporal origin of soil water taken up by vegetation. Nature. 2021. V. 598. Pp. 624-628.
9. Liu G., Wilson B. B., Bohling G. C. et al. Estimation of Specific Yield for Regional Groundwater Models: Pitfalls, Ramifications, and a Promising Path Forward. Water resources research. 2022. V. 58. No. 1.
10. Kulik A. K., Balkushkin R. N. Water Regime Types in Sand Massifs of the Don River Basin. Arid Ecosystems. 2022. V. 12. No. 4. Pp. 374-381.
11. Манаенков А. С. Подходы к улучшению состояния полей защитных лесных полос на Северном Кавказе. Лесоведение. 2023. № 4. С. 412-426.
12. Макарычев С. В. Особенности комбинированного механизма теплообмена в почве при использовании гидромелиораций Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 11 (181). С. 62-67.
13. Сагындыкова Р. К., Курбаналиев А. Ы., Дыйканова А. Т., Джусупова Г. А. Аналитическое исследование совместной задачи теплообмена в почвогрунтах. Alatau Academic Studies. 2021. № 4. С. 338-343.
14. Кулик Н. Ф. Дистилляция почвенного раствора под действием температур и возможность его использования растениями. Почвы и окружающая среда. 2018. Т. 1. № 4. С. 277-283.
15. Salugin A. N., Kulik A. K., Balkushkin R. N. Simulation of Groundwater Formation on Sand Masses of the Don Region: The Case of the Eterevskaya Mass of Sands. Arid Ecosystems. 2023. V. 13. No. 1. Pp. 115-124.
16. Манаенков А. С. Лесомелиорация арен засушливой зоны. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2018. 428 с.

References

1. Gonzalez R. Q., Arsanjani J. J. Prediction of Groundwater Level Variations in a Changing Climate: A Danish Case Study. ISPRS International Journal of Geo-Information. 2021. Vol. 10. No. 11.
2. Kannenberg S. A., Anderegg W. R. L., Barnes M. L. et al. Dominant role of soil moisture in mediating carbon and water fluxes in dryland ecosystems. Nature Geoscience. 2024. Vol. 17. Pp. 38-43.
3. Demin A. P., Zaitseva A. V. Water consumption forecast in the Russian part of the Don basin. Water Resources. 2021. Vol. 48. No. 5. Pp. 588-598.
4. Varentsova N. A., Grechushnikova M. G., Povalishnikova E. S., et al. The influence of climatic and anthropogenic factors on spring runoff in the Don River basin. Bulletin of Moscow University. Series 5: Geography. 2021. No. 5. Pp. 91-108.
5. Solodovnikov D. A., Shinkarenko S. S. Hydrological and hydrogeological patterns of river floodplain formation in the Middle Don River basin under modern conditions. Water Resources. 2020. Vol. 47. No. 6. Pp. 719-728.
6. Kulik A. K., Kulik K. N., Balkushkin R. N. Bench Sands and Their Role in Water Recharge to Rivers in the Don Basin. Water Resources. 2020. Vol. 47. No. 6. Pp. 1043-1053.
7. Kulik A. K., Kulik K. N., Vlasenko M. V. et al. Water-Regime Formation in Sands of the Archeda-Don Massif with Respect to the Distribution of Plant Formations. Arid Ecosystems. 2021. V. 11. No. 4. Pp. 358-366.
8. Miguez-Macho G., Fan Y. Spatiotemporal origin of soil water taken up by vegetation. Nature. 2021. V. 598. Pp. 624-628.
9. Liu G., Wilson B. B., Bohling G. C. et al. Estimation of Specific Yield for Regional Groundwater Models: Pitfalls, Ramifications, and a Promising Path Forward. Water resources research. 2022. V. 58. No. 1.
10. Kulik A. K., Balkushkin R. N. Water Regime Types in Sand Massifs of the Don River Basin. Arid Ecosystems. 2022. V. 12. No. 4. Pp. 374-381.
11. Manaenkov A. S. Approaches to Improving the Condition of Forest Shelterbelts in the North Caucasus. Forest Science. 2023. No. 4. Pp. 412-426.
12. Makarychev S. V. Features of the combined mechanism of heat and moisture exchange in the soil using hydromelioration. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2019. No. 11 (181). Pp. 62-67.
13. Sagyndykova R. K., Kurbanaliev A. Y., Dyikanova A. T., Dzhusupova G. A. Analytical study of the joint problem of heat and moisture transfer in soils. Alatau Academic Studies. 2021. No. 4. Pp. 338-343.
14. Kulik N. F. Distillation of soil solution under the influence of temperatures and the possibility of its use by plants. Soils and Environment. 2018. Vol. 1. No. 4. Pp. 277-283.
15. Salugin A. N., Kulik A. K., Balkushkin R. N. Simulation of Groundwater Formation on Sand Masses of the Don Region: The Case of the Eterevskaya Mass of Sands. Arid Ecosystems. 2023. Vol. 13. No. 1. Pp. 115-124.
16. Manaenkov A. S. Forest Reclamation of Arid Zone Arenas. Volgograd: Federal Scientific Center of Agroecology, Russian Academy of Sciences, 2018. 428 p.

Информация об авторах

Кулик Алексей Константинович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией, ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), ORCID: 0000-0001-5927-7336, e-mail: kulikak79@yandex.ru

Свинцов Игорь Петрович, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), ORCID: 0000-0003-2138-7390, e-mail: svintsov@yandex.ru

Власенко Марина Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории, ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6356-2225>, e-mail: vlasencomarina@mail.ru

Балкушкин Роман Николаевич, младший научный сотрудник лаборатории гидрологии агролесоландшафтов ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), ORCID: 0000-0003-0987-6263, e-mail: balkushkin_r@vifanc.ru

Authors' Information

Kulik Aleksey Konstantinovich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Head of the Laboratory, Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: 0000-0001-5927-7336, e-mail: kulikak79@yandex.ru

Svintsov Igor Petrovich, Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: 0000-0003-2138-7390, e-mail: svintsov@yandex.ru

Vlasenko Marina Vladimirovna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6356-2225>, e-mail: vlasencomarina@mail.ru

Balkushkin Roman Nikolaevich, Junior Researcher, Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: 0000-0003-0987-6263, e-mail: balkushkin_r@vifanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-17

THE WINTER WHEAT PRODUCTIVITY DEPENDING ON THE FERTILIZERS AND GROWTH STIMULANTS APPLICATION DOSES**Likholetov E. A., Bocharnikov V. S., Bocharnikova O. V., Repenko T. V.**

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: bocharnikov_vs@mail.ru

Received 15.12.2025

Submitted 28.01.2026

Summary

The article presents the results of the influence of fertilizer and growth stimulant application rates on the yield of winter wheat of the Governor of the Don variety.

Abstract

Introduction. In most countries of the world, the agricultural sector is a strategically important branch of the economy, the industrial purpose of which is to form food resources and ensure the sustainability of food supply to the population. In the conditions of the Volgograd region, grain production plays a leading role in the structure of agricultural production, with priority given to winter wheat, which rightfully belongs to the main agricultural crops. **The purpose of the research.** The purpose of our research is to study the effect of doses of fertilizers and growth stimulants on the productivity of winter wheat on light chestnut and chestnut, low-yielding, slightly and medium-humus soils of the Volgograd region, the experiment was conducted in the period from 2016 to 2019. **The object of research.** The object of the research was the varieties of winter wheat Governor of the Don. **Materials and methods.** For this purpose, two-factor experience was applied in the fields of the Bykovsky district of the Volgograd region, factor A – doses of fertilizers, factor B – growth stimulator and immune system activator. Factor A is ammonium nitrate Grade B 34,6 %. Fertilizers were applied in spring as vegetation resumed in the flag leaf phase – the beginning of earing, with standards – without fertilizers (control), 80 kg/ha, 100 kg/ha and 120 kg/ha. Factor B is a growth stimulator and an activator of the immune system. 1 – one top dressing as vegetation resumes – 10 g/ha; 2 – two top dressing, the first as vegetation resumes – 10 g/ha, and the second during the flat leaf phase – the beginning of earing – 15 g/ha; 3 – three top dressing, the first as vegetation resumes plants – 10 g/ha, the second in the period of the flag leaf – the beginning of flowering – 15 g/ha, the third in the phase of milky-waxy ripeness – 10 g/ha. The objective of the research was to study the dependence of winter wheat yield on the doses of fertilizers and growth stimulants. **Results and conclusions.** The article presents the results of experiments on the dependence of winter wheat yield on the doses of fertilizers and growth stimulants. In the experiment, three doses of fertilizers of 80, 100 and 120 kg/ha and three options for applying growth stimulants were considered. Studies have shown that, on average, over 4 years of research, the highest yield of winter wheat in the variant with three top dressing and a fertilizer dose of 120 kg/ha was 4.35 t/ha.

Keywords: *winter wheat cultivation, winter wheat cultivation technologies, plant growth regulators, winter wheat, winter wheat yield.*

Citation. Likholetov E. A., Bocharnikov V. S., Bocharnikova O. V., Repenko T. V. The winter wheat productivity depending on the fertilizers and growth stimulants application doses. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 167-174 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-17.

The authors' contribution. All the authors of this study were directly involved in the planning, execution, or analysis of this study. All the authors of this article have read and approved the submitted final version.

Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 631.816.1:633.11"324"

**ПРОДУКТИВНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗ ВНЕСЕНИЯ
УДОБРЕНИЙ И СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА**

Лихолетов Е. А., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Бочарников В. С., доктор технических наук, член-корреспондент РАН, профессор
Бочарникова О. В., доктор технических наук, профессор
Репенко Т. В., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. В большинстве стран мира аграрный сектор представляет собой стратегически важную отрасль экономики, производственное назначение которой заключается в формировании продовольственных ресурсов и обеспечении устойчивости продовольственного обеспечения населения. В условиях Волгоградской области ведущую роль в структуре сельскохозяйственного производства занимает производство зерна, приоритетное значение принадлежит озимой пшенице, которая по праву относится к основным сельскохозяйственным культурам.

Цель исследований. Целью наших исследований является изучение влияния доз внесения удобрений и стимуляторов роста на продуктивность озимой пшеницы на светло-каштановых и каштановых, маломощных, слабо и среднегумусных почвах Волгоградской области, эксперимент проводился в период с 2016 по 2019 год. **Объект исследований.** Объектом исследований являлся сорт озимой пшеницы Губернатор Дона. **Материалы и методы.** Для поставленной цели на полях Быковского района Волгоградской области был заложен двухфакторный опыт, фактор А – дозы внесения удобрений, фактор В – стимулятор роста и активатор иммунной системы.

Фактор А – селитра аммиачная Марка Б 34,6 %. Удобрения вносились весной по мере возобновления вегетации растений в фазу флаговый лист – начало колошения, нормами – без удобрений (контроль), 80 кг/га, 100 кг/га и 120 кг/га.

Фактор В – стимулятор роста и активатор иммунной системы. 1 – одна подкормка по мере возобновления вегетации растений – 10 г/га; 2 – две подкормки, первая по мере возобновления вегетации растений – 10 г/га, и вторая в фазу флаговый лист – начало колошения – 15 г/га; 3 – три подкормки, первая по мере возобновления вегетации растений – 10 г/га, вторая в период флаговый лист – начало колошения – 15 г/га, третья в фазу молочно-восковой спелости – 10 г/га. В задачу исследований входило изучение зависимости урожайности озимой пшеницы от доз внесения удобрений и стимуляторов роста. **Результаты и выводы.** В статье приведены результаты опытов по исследованию зависимости урожайности озимой пшеницы от доз внесения удобрений и стимуляторов роста. В опыте рассматривались три дозы внесения удобрений 80, 100 и 120 кг/га и три варианта внесения стимуляторов роста. Исследования показали, что в среднем за 4 года исследований наибольшая урожайность озимой пшеницы на варианте с тремя подкормками и дозой внесения удобрений 120 кг/га и составила 4,35 т/га.

Ключевые слова: возделывание озимой пшеницы, технологии возделывания озимой пшеницы, регуляторы роста растений, пшеница озимая, урожайность озимой пшеницы.

Цитирование. Лихолетов Е. А., Бочарников В. С., Бочарникова О. В., Репенко Т. В. Продуктивность озимой пшеницы в зависимости от доз внесения удобрений и стимуляторов роста. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 167-174. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-17.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Для множества стран сельское хозяйство является одним из главных направлений экономики, основной целью которого является обеспечение населения продовольствием и поддержание продовольственной стабильности [1, 2].

С каждым годом человечеству все больше требуется зерна пшеницы, при этом по оценке российских и международных аналитиков его потребление растет ежегодно как минимум на 2 %.

Стабильное снабжение страны зерновыми ресурсами и продуктами тесно связано с уровнем производства озимой пшеницы, ключевой продовольственной и товарной культуры в большинстве российских областей [3]. Возделывание сортов с высоким потенциалом урожайности, полностью реализующих преимущества интенсивной агротехники, повышает экономическую отдачу от использования удобрений, средств защиты и стимуляторов роста, являясь наиболее доступным способом нарастить объёмы сельскохозяйственного производства [4].

Зернопроизводство выступает ключевым направлением аграрного сектора Волгоградской области. В составе зерновых культур доминирующее положение занимает озимая пшеница, которая обоснованно относится к числу ведущих сельскохозяйственных растений, обеспечивающих сельхозтоваропроизводителям стабильную экономическую отдачу [5]. Формирование рациональной структуры посевных площадей с достаточной долей озимых зерновых культур в значительной мере способствует выравниванию колебаний валового производства зерна. В связи с этим при разработке схем размещения посевов на территории муниципальных образований региона целесообразно ориентироваться на принцип максимально возможного увеличения площадей под озимыми культурами [6, 7].

В течение последнего десятилетия посевные площади озимых культур в муниципальных районах Волгоградской области варьировали в пределах от 1384,8 до 1625,0 тыс. га, при этом на озимую пшеницу приходится от 1214,8 до 1452,6 тыс. га. Под урожай 2025 года общая площадь посевов озимых зерновых культур достигла 1625,0 тыс. га, из которых 1452,6 тыс. га было занято озимой пшеницей [8]. Наряду с увеличением орошаемых площадей, развитием технологий и технических средств орошения, растет валовый сбор овощной продукции [8, 9, 10].

К числу важнейших преимуществ озимой пшеницы относится ее способность эффективно использовать влагу осенне-зимнего периода, а также более раннее возобновление вегетации весной. Данное обстоятельство имеет особое значение для условий Волгоградской области, отличающейся высокими летними температурами и недостаточным уровнем атмосферных осадков в период активного роста растений. Посев в оптимальные агротехнические сроки способствует формированию развитой корневой системы, проникающей в глубокие слои почвы, что обеспечивает лучшее водо- и минеральное питание и повышает засухоустойчивость культуры [11].

Несмотря на сравнительно высокие производственные затраты при традиционной технологии возделывания, обусловленные необходимостью проведения комплекса осенних агротехнических мероприятий и ухода за предшественником, озимая пшеница характеризуется высокой рентабельностью и относится к наиболее экономически эффективным зерновым культурам. Будучи стратегически значимым объектом земледелия, она формирует основную часть валового сбора зерна, удовлетворяет потребности населения в хлебобулочных и других продовольственных продуктах и служит важным элементом обеспечения продовольственной безопасности государства, формируется устойчивая кормовая база [12, 13].

Следует отметить, что для реализации генетического потенциала современных сортов озимой пшеницы недостаточно ограничиваться внесением только макроэлементов – азота, фосфора и калия. Существенное значение имеют микроэлементы и биологически активные препараты, способствующие повышению устойчивости растений к болезням и неблагоприятным абиотическим факторам, а также росту продуктивности. Механизм действия регуляторов роста связан с их влиянием на процессы клеточной регуляции на уровне генетического аппарата и метаболических реакций [14].

В современных условиях актуальной задачей аграрного производства является совершенствование агротехнологий и повышение качественных характеристик получаемого зерна. Достижение указанных целей возможно за счет внедрения экономически доступных, но эффективных приемов возделывания озимой пшеницы [15]. Одним из таких направлений является использование регуляторов роста в сочетании с удобрениями [16]. При этом особую научную и практическую значимость имеет обоснование оптимальных доз, сроков и кратности их применения с учетом конкретных почвенно-климатических условий.

Методика опыта. Целью наших исследований является изучение влияния доз внесения удобрений и стимуляторов роста на продуктивность озимой пшеницы на каштановых и каштановых, маломощных, слабо- и среднегумусных почвах Волгоградской области, эксперимент проводился в период с 2016 по 2019 год.

Для поставленной цели на полях Быковского района Волгоградской области был заложен двухфакторный опыт, фактор А – дозы внесения удобрений, фактор В – стимулятор роста и активатор иммунной системы.

Фактор А – селитра аммиачная Марка Б 34,6 %. Удобрения вносились весной по мере возобновления вегетации растений в фазу флаговый лист – начало колошения, нормами – без удобрений (контроль), 80 кг/га, 100 кг/га и 120 кг/га.

Фактор В – стимулятор роста и активатор иммунной системы. 1 – одна подкормка по мере возобновления вегетации растений – 10 г/га; 2 – две подкормки, первая по мере возобновления вегетации растений – 10 г/га, и вторая в фазу флаговый лист – начало колошения – 15 г/га; 3 – три подкормки, первая по мере возобновления вегетации растений – 10 г/га, вторая в период флаговый лист – начало колошения – 15 г/га, третья в фазу молочно-восковой спелости – 10 г/га.

Расположение вариантов – систематическое последовательное. Площадь делянки – 115,5 м², учетной – 64 м². Норма высева – 3,5-4 млн всхожих семян на 1 м². Повторность опыта трехкратная. Предшественник – чистый пар.

Результаты исследований. Во всех природно-климатических зонах Волгоградской области наиболее эффективным предшественником для формирования высококачественного зерна озимой пшеницы является чистый пар. Его преимущество обусловлено комплексным воздействием на агроценоз, включающим накопление продуктивной влаги и элементов минерального питания в почве, снижение засорённости посевов, а также уменьшение численности возбудителей болезней и вредных организмов. Наибольшую значимость данные факторы приобретают в годы с выраженным дефицитом атмосферных осадков.

Максимальные показатели урожайности озимой пшеницы в период проведения исследований были зафиксированы именно при размещении культуры по чёрным парам. В условиях степной зоны чернозёмных почв и сухостепной зоны тёмно-каштановых почв к числу удовлетворительных и эффективных предшественников также относятся пропашные и зернобобовые культуры. В северо-западных районах области возделывание озимой пшеницы по непаровым предшественникам позволяет получать достаточно высокие урожаи, однако их уровень, как правило, уступает показателям, сформированным по чистым парам, в среднем на 10-15 ц/га. В южных районах региона в годы со средним уровнем увлажнения урожайность озимой пшеницы, размещённой по чистому пару, превышает показатели по непаровым предшественникам в два раза, тогда как в засушливые периоды разрыв в продуктивности между указанными вариантами существенно возрастает.

В наших исследованиях обработка черного пара производилась чизелеванием плугом ПЧН-4,0к. Весенний уход боронование в два следа и К-739+БГЗ-23, культивация первая на глубину 12-13 см К-744Кз+КП-12, 2-я культивация по мере отрастания сорных растений глубина 10 см, 3-я культивация глубина 9 см, 4-я культивация глубина 8 см, 5-я культивация глубина 7 см К-739ст+КПП-14,5.

Сев озимой пшеницы проводился К-739+КСКП-2,1Дх6 (сеялка-культиватор зернотуковая стерневая глубина сева 6-8 см), норма высева 3,5-4,0 млн шт. на га. В опыте выращивался сорт озимой пшеницы Губернатор Дона.

В течение всего периода проведения исследований установлено, что решающим элементом, определяющим уровень урожайности культур севооборота, являлся азот. Повышение его дозы в системе минерального питания сопровождалось статистически достоверным увеличением продуктивности. При этом даже незначительное присутствие азотных соединений в составе удобрений обеспечивало ощутимый прирост урожая.

Применение регуляторов роста в сочетании с комплексными удобрениями оказывает выраженное влияние на иммунологический статус растений, их устойчивость к фитопатогенным организмам и, как следствие, на количественные и качественные показатели урожая. Использование микробиологических препаратов, обладающих противогрибковыми свойствами, способствует подавлению развития инфекционного фона и повышению адаптационной способности растений к стрессовым абиотическим факторам.

Совместное применение регуляторов роста и азотных удобрений положительно отражается на активности и функциональном состоянии почвенной микрофлоры, что в конечном итоге играет существенную роль в повышении эффективности производства зерна озимых зерновых культур.

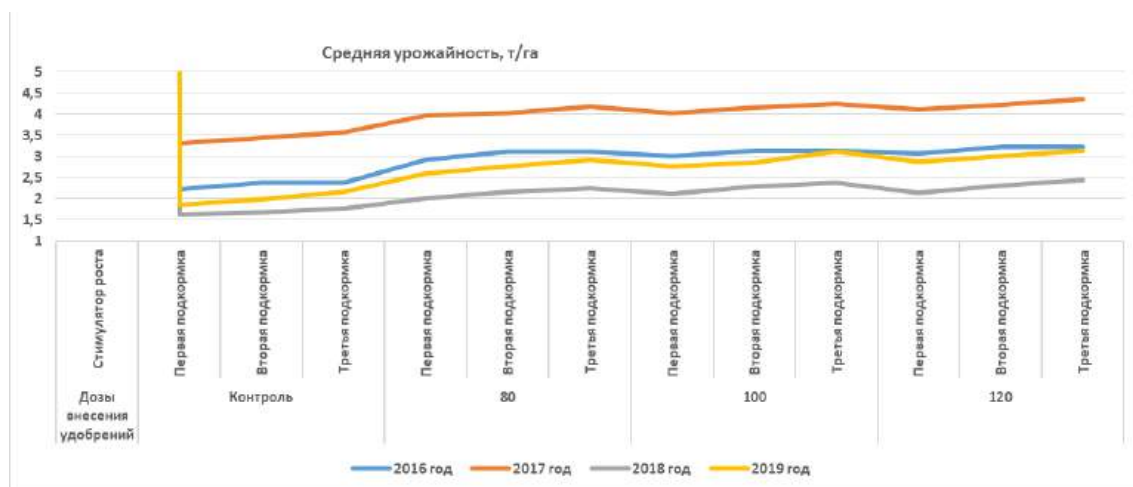
Удобрения вносились с помощью МТЗ-1025 плюс разбрасыватель удобрений Amazone ZA-M 900, стимулятор роста опрыскиватель Туман 1.

Таблица 1 – Влияние способов доз внесения удобрений и регуляторов роста на урожайность озимой пшеницы, т/га

Table 1 – The effect of fertilizer application methods and growth regulators on the yield of winter wheat, t/ha

Дозы внесения удобрений / Fertilizer application doses	Стимулятор роста / Growth Stimulator	Годы исследований / Years of research				Среднее / Average
		2016	2017	2018	2019	
Без удобрений / Without fertilizers	Первая подкормка / The first top dressing	2,23	3,32	1,61	1,86	2,26
	Вторая подкормка / The second top dressing	2,39	3,45	1,69	1,98	2,38
	Третья подкормка / the third top dressing	2,39	3,57	1,78	2,16	2,48
Селитра аммиачная 80 кг/га / Ammonium nitrate 80 kg/ha	Первая подкормка / The first top dressing	2,92	3,96	2,02	2,59	2,87
	Вторая подкормка / The second top dressing	3,11	4,04	2,16	2,77	3,02
	Третья подкормка / the third top dressing	3,11	4,18	2,26	2,93	3,12
Селитра аммиачная 100 кг/га / Ammonium nitrate 100 kg/ha	Первая подкормка / The first top dressing	3,02	4,03	2,11	2,78	2,98
	Вторая подкормка / The second top dressing	3,14	4,17	2,3	2,86	3,12
	Третья подкормка / the third top dressing	3,14	4,24	2,38	3,12	3,22
Селитра аммиачная 120 кг/га / Ammonium nitrate 120 kg/ha	Первая подкормка / The first top dressing	3,08	4,11	2,15	2,87	3,05
	Вторая подкормка / The second top dressing	3,23	4,23	2,32	3	3,19
	Третья подкормка / the third top dressing	3,23	4,35	2,44	3,13	3,28

В среднем за 4 года исследований наибольшая урожайность озимой пшеницы была на варианте с тремя подкормками и дозой внесения удобрений 120 кг/га и составила 4,35 т/га. Рассматривая каждый год исследований, мы наблюдаем, что максимальную урожайность получили в 2017 году, каждая дополнительная подкормка давала статистически значимую прибавку (3,32-3,57 т/га). Резкое снижение урожайности наблюдается в 2018 году, что связано с погодными условиями, дефицитом влаги и высокими среднесуточными температурами (1,86-2,16 т/га).

Рисунок 1 – Средняя урожайность озимой пшеницы сорт Губернатор Дона по годам исследований
Figure 1 – Average yield of winter wheat of the Don Governor variety according to the years of research

В среднем за 2016-2019 годы наибольшее количество продуктивных стеблей наблюдается на варианте с внесение селитры аммиачной 120 кг/га и трех подкормок стимулятором роста НВ и составило 335 шт. Масса 1000 зерен составила 43,6 г на том же варианте опытов.

Наибольшая биологическая урожайность также оказалась на варианте трех подкормок стимулятором роста и регулятором иммунной системы и составила 5,25 т/га. Наименьшая биологическая урожайность оказалась на варианте без удобрений с применением лишь одной подкормки стимулятором роста и составила – 3,94 т/га.

Таблица 2 – Основные показатели структуры урожая озимой пшеницы, в среднем за 2016-2019 гг.
Table 2 – Main indicators of the structure of the winter wheat harvest, on average for 2016-2019

Подкормки / Top dressing		Кол-во про- дуктивных стеблей на 1 м ² / Num- ber of produc- tive stems per 1 m ²	Число зерен в колосе, шт. / Number of grains per ear, pcs	Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g	Масса зерна в колосе, г / Grain weight per ear, g	Биологиче- ская уро- жайность, т/га / Biological yield, t/ha
Дозы внесения удобрений / Fertilizer application doses	Стимулятор роста / Growth Stimulator					
Без удобрений / Without any fertilizers	Первая подкормка / The first top dressing	315	30	41,7	1,25	3,94
	Вторая подкормка / The second top dressing	316	31	41,8	1,31	4,09
	Третья подкормка / The third top dressing	318	31	42,2	1,31	4,16
Селитра аммиачная 80 кг/га / Ammonium nitrate 80 kg/ha	Первая подкормка / The first top dressing	318	31	42,3	1,31	4,16
	Вторая подкормка / The second top dressing	320	32	42,5	1,36	4,35
	Третья подкормка / The third top dressing	321	32	42,7	1,37	4,38
Селитра аммиачная 100 кг/га / Ammonium nitrate 100 kg/ha	Первая подкормка / The first top dressing	323	33	42,9	1,42	4,57
	Вторая подкормка / The second top dressing	325	34	43,1	1,46	4,76
	Третья подкормка / The third top dressing	330	35	43,4	1,52	5,01
Селитра аммиачная 120 кг/га / Ammonium nitrate 120 kg/ha	Первая подкормка / The first top dressing	331	35	43,5	1,52	5,04
	Вторая подкормка / The second top dressing	331	36	43,6	1,57	5,19
	Третья подкормка / The third top dressing	335	36	43,6	1,57	5,25

Заключение. Применение стимуляторов роста в сочетании с удобрениями существенно повышает урожайность. При увеличении доз внесения удобрений (от одной к трем подкормкам) урожайность стабильно возрастает. Эффект повышения урожайности сохраняется во все годы исследований, включая периоды с неблагоприятными погодными условиями.

Таким образом, многократное внесение стимуляторов роста можно рассматривать как эффективную агротехнику, способствующую повышению продуктивности и устойчивости сельскохозяйственных культур.

Conclusion. The use of growth stimulants in combination with fertilizers significantly increases yields. With increasing doses of fertilizers (from one to three top dressing), the yield increases steadily. The effect of increasing yields persists throughout the research years, including periods with unfavorable weather conditions.

Thus, repeated application of growth stimulants can be considered as an effective agricultural technique that helps to increase the productivity and sustainability of crops.

Библиографический список

1. Шарипова Р. Б., Кузина Е. В. Оценка развития озимой пшеницы в погодных условиях 2016-2019 гг. в лесостепи Среднего Поволжья. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 1 (69). С. 42-50.
2. Зеленев А. В. и др. Параметры продуктивности и адаптивности сортов озимой мягкой пшеницы в Нижнем Поволжье. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 2 (66). С. 37-46.
3. Капранов В. Н. и др. Роль технологий разного уровня интенсивности в формировании урожайности и качества зерна новых сортов озимой пшеницы. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 1 (79). С. 32-43.
4. Зеленев А. В., Сухарева Е. П. Оценка эффективности сортов озимой мягкой пшеницы в условиях сухостепной зоны каштановых почв Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1 (61). С. 53-62.
5. Капранов В. Н. и др. Баланс элементов питания в технологиях возделывания сортов озимой ржи (*Secale cereale* L.) на дерново-подзолистых почвах. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 5 (77). С. 24-34.
6. Щербаков А. С., Богомазов С. В. Эффективность применения микроэлементных удобрений и регуляторов роста на озимой пшенице в лесостепном Поволжье. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 2 (70). С. 57-65.
7. Тедеева А. А., Тедеева В. В. Влияние биопрепаратов и минерального удобрения на продуктивность озимой пшеницы. Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25. № 9. С. 1352-1360.
8. Овчинников А. С., Бочарникова О. В., Бочарников В. С. Оценка рентабельности производства овощей в Нижнем Поволжье. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2007. № 1 (5). С. 49-53.
9. Овчинников А. С., Бочарникова О. В., Бочарников В. С. Регулирование водного и пищевого режимов почвы при капельном орошении в условиях Волгоградской области. Плодородие. 2012. № 3 (66). С. 35-36.
10. Овчинников А. С., Мещеряков М. П., Бочарников В. С. Конструктивные особенности систем капельного и внутрипочвенного орошения. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2007. № 1 (5). С. 54-56.
11. Gharakhanyan K. A. et al. Assessment of soil agrophysical and agrochemical changes under different tillage methods. Sustainable Development of Mountain Territories. 2025. Vol. 17. No. 2 (64). Pp. 920-928.
12. Savin I. Yu. et al. About Effect of weeds on spectral reflectance properties of winter wheat canopy. Agricultural Biology. 2020. Vol. 55. No. 1. Pp. 53-65.
13. Vinogradov D. V. et al. Productivity of winter grain crops varieties and their cultivation efficiency depending on the use of agrochemicals in the Non-Black Earth Region conditions. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2025. Vol. 17. No. 3. Pp. 268-282.
14. Kremneva O. Yu. et al. Spore-Trapping Device: An Efficient Tool to Manage Fungal Diseases in Winter Wheat Crops. Plants. 2023. Vol. 12. No. 2. P. 391.
15. Borisenko I. B. et al. Resource-saving method of chemical treatment of tilled crops. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: The proceedings of the conference AgroCON-2019. Kurgan: IOP Publishing Ltd, 2019. Vol. 341. P. 012092.
16. Volkova G. V., Kudina O. A., Matveeva I. P. Virulence and diversity of *Puccinia striiformis* in South Russia. Phytopathology Mediterranean. 2021. Vol. 60. No. 1. Pp. 119-127.

References

1. Sharipova R. B., Kuzina E. V. Assessment of the development of winter wheat in the weather conditions of 2016-2019 in the forest-steppe of the Middle Volga region. Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2025. No. 1 (69). Pp. 42-50.
2. Zelenev A.V. et al. Parameters of productivity and adaptability of winter soft wheat varieties in the Lower Volga region. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and higher professional education. 2022. No. 2 (66). Pp. 37-46.
3. Kapranov V. N. et al. The role of technologies of different intensity levels in the formation of yield and grain quality of new varieties of winter wheat. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and higher professional education. 2025. No. 1 (79). Pp. 32-43.
4. Zelenev A.V., Sukhareva E. P. Evaluation of the effectiveness of winter soft wheat varieties in the conditions of the dry-steppe zone of chestnut soils of the Volgograd region. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and higher professional education. 2021. No. 1 (61). Pp. 53-62.
5. Kapranov V. N. et al. The balance of nutrients in the cultivation technologies of winter rye varieties (*Secale cereale* L.) on sod-podzolic soils. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University complex: Science and Higher professional education. 2024. No. 5 (77). Pp. 24-34.

6. Shcherbakov A. S., Bogomazov S. V. The effectiveness of the use of microelement fertilizers and growth regulators on winter wheat in the forest-steppe region. Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2025. No. 2 (70). Pp. 57-65.
7. Tedeeva A. A., Tedeeva V. V. The effect of biological products and mineral fertilizers on the productivity of winter wheat. Agrarian Bulletin of the Urals. 2025. Vol. 25. No. 9. Pp. 1352-1360.
8. Ovchinnikov A. S., Bocharnikova O. V., Bocharnikov V. S. Assessment of the profitability of vegetable production in the Lower Volga region. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University complex: Science and Higher professional education. 2007. No. 1 (5). Pp. 49-53.
9. Ovchinnikov A. S., Bocharnikova O. V., Bocharnikov V. S. Regulation of water and nutrient regimes of soil during drip irrigation in the Volgograd region. Fertility. 2012. No. 3 (66). Pp. 35-36.
10. Ovchinnikov A. S., Meshcheryakov M. P., Bocharnikov V. S. Design features of drip and subsurface irrigation systems. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2007. No. 1 (5). Pp. 54-56.
11. Gharakhanyan K. A. et al. Assessment of soil agrophysical and agrochemical changes under different tillage methods. Sustainable Development of Mountain Territories. 2025. Vol. 17. No. 2 (64). Pp. 920-928.
12. Savin I. Yu. et al. About Effect of weeds on spectral reflectance properties of winter wheat canopy. Agricultural Biology. 2020. Vol. 55. No. 1. Pp. 53-65.
13. Vinogradov D. V. et al. Productivity of winter grain crops varieties and their cultivation efficiency depending on the use of agrochemicals in the Non-Black Earth Region conditions. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2025. Vol. 17. No. 3. Pp. 268-282.
14. Kremneva O. Yu. et al. Spore-Trapping Device: An Efficient Tool to Manage Fungal Diseases in Winter Wheat Crops. Plants. 2023. Vol. 12. No. 2. P. 391.
15. Borisenko I. B. et al. Resource-saving method of chemical treatment of tilled crops. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: The proceedings of the conference AgroCON-2019. Kurgan: IOP Publishing Ltd, 2019. Vol. 341. P. 012092.
16. Volkova G. V., Kudinova O. A., Matveeva I. P. Virulence and diversity of Puccinia striiformis in South Russia. Phytopathology Mediterranea. 2021. Vol. 60. No. 1. Pp. 119-127.

Информация об авторах

Лихолетов Евгений Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: l.evgeni.a@mail.ru
Бочарников Виктор Сергеевич, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: bocharnikov_vs@mail.ru
Бочарникова Олеся Владимировна, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: olesya.bocharnikova@mail.ru
Репенко Татьяна Васильевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: repenko1996@mail.ru

Authors' Information

Likholetov Evgeny Aleksandrovich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: l.evgeni.a@mail.ru
Bocharnikov Viktor Sergeevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: bocharnikov_vs@mail.ru
Bocharnikova Olesya Vladimirovna, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: olesya.bocharnikova@mail.ru
Repenko Tatyana Vasilyevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: repenko1996@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-18

THE ASSESSMENT OF THE INTENSITY OF USING THE DIFFERENT TYPES OF CLOVER**Lushchenko G. V., Gasiev V. I.**

The North Caucasus Scientific Research Institute of Mining and Foothill Agriculture – the branch of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences Mikhailovskoye village, Russian Federation

Corresponding author E-mail: geri4@list.ru

Received 18.06.2025

Submitted 02.12.2025

Abstract

Introduction. Clover, due to its high protein content, is one of the most important fodder crops. It is of great agricultural importance due to its ability to accumulate nitrogen in the soil, as well as to improve its physic and chemical properties. The longevity of clover in hayfields and pastures is of great importance, affecting economic efficiency in feed production. This indicator for clover depends on a number of factors, but to a greater extent, the variety of culture has a huge impact. Pink and red clovers are widespread in the Republic of North Ossetia-Alania. To increase the frequency of use of herb stands, it is necessary to study these species for longevity. **Object.** The object of research is pink and red perennial clovers. **Materials and methods.** The research was conducted in 2021-2023 at the experimental meringue of the National Research Institute of Agricultural Sciences VNC RAS. The degree of durability of pink and red clover was investigated. The accumulation of plastic substances and shoot formation in different years were studied at different phases of vegetation. In each variant, the root system was examined, bringing it to an air-dry state.

Results and conclusions. It was found that the shorter longevity of pink clover depends on its faster biological aging, due to the special nature of shoot formation. In pink clover, after cutting at a height of 5 cm, a sharp slowdown in regrowth was observed during the full flowering phase. The rapid regrowth of pink clover plants cut at a younger age and weak shoot formation at a later age show that the best harvesting period for pink clover, to prolong its life, is the budding phase – the beginning of flowering. The death of pink clover during harvesting for seeds depends on the loss of the plants' ability to grow as they pass through the phases of vegetation, i.e. as they age.

Keywords: fodder crops, clover, cultivation of clover, types of clover, root system of clover.

Citation. Lushchenko G. V., Gasiev V. I. The assessment of the intensity of using the different types of clover. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 174-180 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-18.

Authors' contribution. All authors took part in the preparation and conduct of the study and analysis of its results. The presented version of the article was agreed with all authors.

Conflict of interest. All authors declared no conflicts of interest.

УДК 549.67:633.32

ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗНЫХ ВИДОВ КЛЕВЕРА

Луценко Г. В., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
Гасиев В. И., доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного сельского хозяйства – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального научного центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук»
с. Михайловское, Российская Федерация

Актуальность. Клевер, благодаря высокому содержанию белка, является одной из важнейших кормовых культур. Он имеет большое агротехническое значение, благодаря своей способности накапливать азот в почве, а также улучшать ее физико-химические свойства. Долголетие клевера на сенокосах и пастбищах имеет большое значение, влияющее на экономическую эффективность в кормопроизводстве. Данный показатель у клевера зависит от ряда факторов, но в большей степени огромное влияние оказывает разновидность культуры. В Республике Северная Осетия-Алания широкое распространение имеют розовый и красный клевер. Для увеличения кратности использования травостоев необходимо изучить данные виды на показатель долголетия. **Объект.** Объектом исследований являются розовый и красный многолетние клевера. **Материалы и методы.** Исследования проводились в 2021-2023 гг. на экспериментальной базе СКНИИГПСХ ВЦ РАН. Исследовалась степень долговечности розового и красного клевера. При разных фазах вегетации было исследовано накопление пластичных веществ и побегообразование в разные годы. В каждом варианте исследовали корневую систему, доведя ее до воздушно-сухого состояния. **Результаты и выводы.** Было выявлено, что меньшая долговечность розового клевера зависит от его более быстрого биологического старения в связи с особым характером побегообразования. У розового клевера после среза на высоте 5 см в фазу полного цветения наблюдалось резкое замедление отрастания. Быстрое отрастание у растений розового клевера, срезанных в более молодом возрасте и слабое побегообразование в более позднем, показывают, что лучшим сроком уборки розового клевера, для продления его жизни, является фаза бутонизации – начала цветения. Гибель розового клевера при уборке на семена зависит от потери растениями способности к отрастанию по мере прохождения фаз вегетации, т.е. по мере старения.

Ключевые слова: кормовые культуры, клевер, возделывание клевера, виды клевера, корневая система клевера.

Цитирование. Луценко Г. В., Гасиев В. И. Оценка интенсивности использования разных видов клевера. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 174-180. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-18.

Авторский вклад. Все авторы принимали участие в подготовке, проведении исследования и анализе его результатов. Представленный вариант статьи согласован со всеми авторами.

Конфликт интересов. Все авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Сено и пастбищный корм, содержащие бобовые травы, весьма ценны. Поэтому долговечность бобовых трав имеет большое значение. Но нередки случаи, когда бобовые травы выпадают из травостоя уже на третий и даже на второй год жизни [1, 2].

В травосмесях, в полевых севооборотах, наряду с красным клевером, высевается и розовый клевер [3]. Некоторые исследователи указывают на большую долговечность розового клевера по сравнению с красным [4]. Однако опыт производителей разных регионов показывает, что часто розовый клевер выпадает из травостоя раньше красного и уже к концу второго года жизни значительно изреживается [5].

В ряде регионов за последние 5 лет наблюдалась гибель розового клевера второго года жизни и при уборке на сено (в фазе полного цветения) и при уборке на семена. Гибель растений наблюдалась при беспокровном посеве, а также при посеве под покров ячменя, причем в этом случае наблюдалось обрастание после укуса (в фазе полного цветения) хотя и слабое [6, 7]. При беспокровном посеве растения вначале немного отрастали (5-7 см), но вскоре полностью погибали, когда красный клевер отрастал вполне удовлетворительно [8, 9].

Розовый клевер в год посева, как при посеве без покрова, а также и под покров, в большинстве случаев цветет обильно. Красный одноукосный клевер дает лишь до 10 % цветущих растений [10, 11].

Отсюда становится понятным, что причиной меньшей долговечности розового клевера в условиях интенсивной культуры является ускоренное прохождение растением жизненного цикла. На естественных лугах розовый клевер, находясь в худших условиях (более ограниченное количество пищи, влаги и т. п.), не может мощно развиваться и давать многочисленные генеративные побеги уже в первый год жизни, и, следовательно, процесс старения у него идет медленнее, а жизненный цикл растягивается, отчего здесь он более долговечен. На пастбищах, периодически подвергаясь стравливанию, розовый клевер никогда не доходит до фазы полного цветения и созревания, и, следовательно, новые побеги, отрастающие от более молодых частей растения, остаются сами более молодыми и жизнеспособными, что также удлиняет жизненный цикл растения [12, 13].

Посевы клевера, необходимо расширить, так как он считается важной культурой для жизни человека, животных и всей окружающей среды. Для улучшения кормовых угодий, культурных сенокосов и пастбищ, необходимо использовать многолетние сорта клевера [14, 15].

Материалы и методы. Исследования проводили на экспериментальной базе СКНИИГПСХ ВЦ РАН 2021-2023 гг. Изучалось побегообразование и накопление пластических веществ розового и красного клевера с целью определения его долголетия. Было исследовано накопление пластических веществ по фазам вегетации, наблюдалось побегообразование в год посева и по возобновлению вегетации, наблюдалось побегообразование (отрастание) после укуса во второй год жизни.

Закладка опыта производилась в трехкратной повторности при рандомизированном методе размещения вариантов.

С каждой делянки на отдельных фазах вегетации выкапывались корни растений (в рядке длиной 30 см), промывались и обрабатывались. После этого их доводили до воздушно-сухого состояния, измельчали и анализировали.

Результаты и обсуждение. Некоторые ученые считают, что причиной гибели розового клевера, убранного в фазе полного цветения (второго года жизни), является недостаток запасных питательных веществ у растений, в связи с чем, они не дают побеги или отрастают очень слабо. Поэтому нами были исследованы отложения запасных питательных веществ в подземных органах запаса розового клевера по фазам вегетации.

Так как в наших опытах розовый клевер при срезании в фазу стеблевания отрастал хорошо, в фазу полного цветения – очень слабо, в фазу созревания и вовсе прекращал рост, анализировались эти три фазы.

Предполагалось, что количество запасных питательных веществ будет уменьшаться по мере прохождения фаз, дойдя до минимума в фазе созревания. Количество растворимых углеводов и сумма углеводов приведены в таблице 1.

Результаты, приведенные в таблице 1, показали, что у розового клевера количество углеводов увеличивается от фазы стеблевания к фазе созревания. Количество растворимых сахаров, хотя несколько и падает, но не настолько сильно, чтобы из-за этого растения не отрастали и затем гибли.

Следовательно, проведенные анализы не подтвердили предположения о том, что причиной отмирания розового клевера при уборке на семена и чрезвычайно слабого отрастания при укусе в фазе полного цветения является недостаток запасных питательных веществ в подземных органах растения в это время.

Очевидно, причина этого явления связана с качественными изменениями в клетках растения, происходящими с его возрастом. Это подтвердили и наши наблюдения.

Таблица 1 – Содержание запасных углеводов розового клевера второго года жизни в процентах воздушно-сухого вещества (2023 г.)

Table 1 – The content of reserve carbohydrates of pink clover in the second year of life as a percentage of air-dry matter (2023)

Показатель / Indicator	При стеблевании / When staking		При цветении / When blooming		При созревании / When maturing	
	водорастворимых углеводов / water-soluble carbohydrates	сумма углеводов / the amount of carbohydrates	водорастворимых углеводов / water-soluble carbohydrates	сумма углеводов / the amount of carbohydrates	водорастворимых углеводов / water-soluble carbohydrates	сумма углеводов / the amount of carbohydrates
Запасных углеводов в процентах воздушно-сухого вещества / Reserve carbohydrates as a percentage of air-dry matter	6,2	15,8	5,4	17,0	4,3	19,0

Наблюдения показали, что у розового клевера в первый год жизни первым цветущим побегом является центральный стебель, вокруг которого по периферии располагаются укороченные побеги. При наличии благоприятных условий, вслед за центральным стеблем идут в рост и укороченные стебли, образуя в год посева до пяти-шести удлиненных и цветonoсных стеблей.

Красный клевер в год посева при цветении не образует центрального стебля, а в рост идет один из укороченных боковых побегов.

Во второй год жизни, с начала вегетации, у розового клевера генеративные побеги образуются как от корневой шейки, так и от укороченных междоузлий прошлогодних генеративных побегов. Наблюдались случаи, когда у растений розового клевера, давших до 6–10 цветonoсных побегов в первый год жизни, в следующем году побеги появлялись лишь от старых надземных междоузлий, и совершенно не было отрастания от корневой шейки. У красного клевера побеги отрастали только от корневой шейки, т. е. от самой нижней, прикорневой части старого стебля. У клевера корневую шейку можно легко отличить лишь в первые дни жизни, после чего она становится неотличимой от остального корня.

На третий год жизни отрастание у розового клевера идет от укороченных надземных междоузлий генеративных побегов, срезанных или отмерших во второй год жизни. У красного клевера и в этом случае отрастание происходит от корневой шейки.

Следовательно, и в год посева и в дальнейшем, побегообразование у красного и розового клевера происходит различно: у красного клевера в большинстве случаев генеративные побеги не образуются, а если и образуются, то они не являются центральными; розовый клевер развивает ярко выраженный центральный стебель, у основания которого располагаются побеги. В последующие годы красный клевер продолжает отрастать от корневой шейки или от оси первого порядка, тогда как отрастание розового клевера происходит от осей высших порядков.

Наблюдения за отрастанием побегов после среза велись по отдельным фазам вегетации: во время стеблевания (когда стебель достиг высоты 20 см), бутонизации, начала цветения, полного цветения и созревания. Оказалось, что характер отрастания побегов после среза у растений клевера различен. У красного клевера побеги образуются, как и при возобновлении вегетации, от корневой шейки; у розового клевера примерно в одинаковом количестве от укороченных надземных (49,9 %) и подземных (50,1 %) междоузлий. В таблице 2 приведены результаты срезания на высоте 5 см.

Данные, приведенные в таблице 2, свидетельствуют о том, что у красного клевера быстрота отрастания почти одинакова при срезании во все фазы вегетации. У розового клевера отрастание наблюдается только при срезе в фазе созревания и резко замедляется при срезе в фазу полного цветения. Некоторые растения, срезанные в это время, совсем не отросли, остальные отросли слабо, и лишь отдельные растения через два месяца после среза достигли 20 см.

Таблица 2 – Скорость отрастания клевера после среза в различные фазы вегетации (2022-2023 гг.)
Table 2 – The rate of clover regrowth after cutting in various phases of vegetation (2022-2023)

Фазы, в которые срезались растения / The phases in which the plants were cut	Количество дней / Number of days							
	10 дней / 10 days	20 дней / 20 days	1 месяц / 1 month	2 месяца / 2 months	10 дней / 10 days	20 дней / 20 days	1 месяц / 1 month	2 месяца / 2 months
	красный клевер / red clover				розовый клевер / pink clover			
	Высота отрастаний, см / Height of growths, cm							
Стеблевание / Stemming	8	17	30	30-35	5	10	15-20	28
Бутонизация / Budding	10	18	20-25	30-40	5	10	15-20	30-35
Начало цветения / The beginning of flowering	7	16	20-25	30-35	5	10	15-20	30
Полное цветение / Full bloom	8	18	20-25	28-30	5	5-7	7-8	Отдельные до 20, остальные 7-8 / Some are up to 20, the rest are 7-8
Созревание / Maturation	4	12	15	20-25	1-2	2-5	2-5	Выпали / Dropped out

Розовый клевер, срезанный в момент созревания, отрос всего лишь на 2-5 см, у него были неестественно мелкие листочки, которые быстро подсыхали и отмирали. Следует отметить, что при срезе в момент цветения у красного клевера имелись уже новые укороченные побеги, идущие от корневой шейки. У розового клевера некоторые растения имели побеги, большая часть которых образовалась от надземных укороченных междоузлий, большинство же (до 80 %) растений их вовсе не имели.

Таким образом, у розового клевера каждое новое поколение побегов отрастает от более старых, выше лежащих по длине стебля участков, чем предшествующее поколение.

У розового клевера каждое новое поколение побегов отрастает от тканей значительно более стадийно старых, чем предшествующее поколение. Таким образом, можно полагать, что причиной быстрого выпадения розового клевера в условиях интенсивной культуры является его биологическое старение.

Хорошо обработанное поле, достаточное количество влажности почвы и тщательный уход дали возможность растениям уже в первый год жизни мощно развиваться. Растения достигали более 1 м высоты, были сильно кустисты: у них практически все побеги были генеративными.

Закключение. Розовый клевер является сравнительно недолголетним по сравнению с красным. Его требования к внешней среде сформируются в естественных условиях, поэтому, попадая в условия интенсивной агротехники, он должен реагировать на них, ускоряя или замедляя свое развитие. Наблюдения показали, что розовый клевер в условиях интенсивной культуры ускоряет свое развитие и быстрее заканчивает жизненный цикл. Для продления жизни розового клевера оптимальное время уборки – фаза бутонизации-начала цветения, в связи со слабым побегообразованием в фазах полного цветения и созревания.

Conclusions. Pink clover is relatively short-lived summer compared to red clover. His requirements for the external environment are formed in natural conditions, therefore, getting into conditions of intensive agricultural technology, he must react to them, accelerating or slowing down his development. Observations have shown that pink clover under intensive cultivation accelerates its development and completes its life cycle faster. To prolong the life of pink clover, the optimal harvesting time is the budding phase – the beginning of flowering, due to weak shoot formation in the phases of full flowering and maturation.

Библиографический список

1. Пастушок Р. Т. Подсев многолетних бобовых в дернину травостоев разного возраста. Мелиорация. 2014. № 2 (72). С. 65-71.

2. Родионова А. В., Тебердиев Д. М. Изменение общего проективного покрытия фитоценоза долголетнего. Адаптивное кормопроизводство. 2022. № 1. С. 42-48.
3. Нелюбина Ж. С., Касаткина Н. И. Питательная ценность и продуктивность агрофитоценозов многолетних трав на основе клевера лугового тетраплоидного в условиях Среднего Предуралья. Кормопроизводство. 2020. № 7. С. 18-22.
4. Скалозуб О. М. Географическое распространение и фитоценотическая приуроченность растений рода клевер в Приморском крае. Аграрный вестник Приморья. 2021. № 3 (23). С. 11-14.
5. Mercier K. M., Billman E. D., Soder K. J. et al. Managing interspecies competition to improve spring pasture maturity, nutritive value, and biomass. *Crop Science*. 2023. V. 63. No. 2. Pp. 974-986.
6. Борисова Е. Е. Роль клевера лугового в экологизации и биологизации земледелия. Символ науки: международный научный журнал. 2016. № 4-4 (16). С. 56-61.
7. Лапенко Н. Г., Лебедева Н. С. Создание новых типов продуктивных агроценозов - основы устойчивой кормовой базы. Известия Горского государственного аграрного университета. 2020. Т. 57. № 3. С. 103-109.
8. Елистратова Л., Кузнецова Н. М. Клевер гибридный (*Trifolium hybridum*) – культура с уникальными свойствами. Вестник Студенческого научного общества. 2019. Т. 10. № 3. С. 175-177.
9. Kostenko S. I., Kostenko N. Yu., Sedova E. G., Kharkov K. S. The problems of breeding new varieties of forage and other plants for improving the soil in organic farming in Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*: 2. Moscow, 2021. P. 012053.
10. Борисова Е. Е. Роль в севооборотах многолетних трав. Вестник НГИЭИ. 2015. № 8 (51). С. 12-19.
11. Janssen P. W. L., Hoekstra N. J., Van Der Schoot J. R. et al. White clover (*Trifolium repens*) population dynamics are partly dependent on timing of seminal taproot death. *Grass and Forage Science*. 2023. Vol. 78. No. 1. Pp. 173-183.
12. Зарянова З. А., Кирюхин С. В., Осин А. А. Экологическая оценка различных видов и сортов многолетних трав в условиях Орловской области. Земледелие. 2016. № 4. С. 39-42.
13. Прядыльщикова Е. Н., Калабашкин П. Н., Коновалова С. С. Формирование пастбищных фитоценозов на основе новых видов бобовых трав в условиях европейского севера России. Владимирский земледелец. 2018. № 1 (83). С. 32-35.
14. Бекузарова С. А., Гасиев В. И., Лущенко Г. В. Фитоценотическая парадигма в селекции бобовых трав на Северном Кавказе. Кормопроизводство. 2018. № 8. С. 24-29.
15. Мееровский А. С., Бирюкович А. Л., Пастушок Р. Т. Приемы использования мелиорированных земель для лугового кормопроизводства. Мелиорация. 2017. № 4 (82). С. 16-23.

References

1. Shepherdess R. T. Planting perennial legumes in the turf of grass stands of different ages. *Land reclamation*. 2014. No. 2 (72). Pp. 65-71.
2. Rodionova A.V., Teberdiev D. M. Change in the overall projective coverage of long-term phytocenosis. *Adaptive feed production*. 2022. No. 1. Pp. 42-48.
3. Nelyubina Zh. S., Kasatkina N. I. Nutritional value and productivity of agrophytocenoses of perennial grasses based on meadow tetraploid clover in the conditions of the Middle Urals. *Feed Production*. 2020. No. 7. Pp. 18-22.
4. Skalozub O. M. Geographical distribution and phytocenotic occurrence of clover plants in Primorsky region. *Agrarian Bulletin of Primorye*. 2021. No. 3 (23). Pp. 11-14.
5. Mercier K. M., Billman E. D., Soder K. J. et al. Managing interspecies competition to improve spring pasture maturity, nutritive value, and biomass. *Crop Science*. 2023. V. 63. No 2. Pp. 974-986.
6. Borisova E. E. The role of meadow clover in the ecologization and biologization of agriculture. *Symbol of Science: an international scientific journal*. 2016. No 4-4 (16). Pp. 56-61.
7. Lapenko N. G., Lebedeva N. S. Creation of new types of productive agrocnoses - the foundations of a sustainable food base. *Proceedings of the Gorsky State Agrarian University*. 2020. Vol. 57. No. 3. Pp. 103-109.
8. Elistratova L., Kuznetsova N. M. Hybrid clover (*Trifolium hybridum*) is a culture with unique properties. *Bulletin of the Student Scientific Society*. 2019. V. 10. No. 3. Pp. 175-177.
9. Kostenko S. I., Kostenko N. Yu., Sedova E. G., Kharkov K. S. The problems of breeding new varieties of forage and other plants for improving the soil in organic farming in Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*: 2. Moscow, 2021. P. 012053.
10. Borisova E. E. The role of perennial grasses in crop rotations. *Bulletin of the NGIEI*. 2015. No. 8 (51). Pp. 12-19.
11. Janssen P. W. L., Hoekstra N. J., Van Der Schoot J. R. et al. White clover (*Trifolium repens*) population dynamics are partly dependent on timing of seminal taproot death. *Grass and Forage Science*. 2023. V. 78. No. 1. Pp. 173-183.
12. Zarianova Z. A., Kiryukhin S. V., Osin A. A. Ecological assessment of various types and varieties of perennial grasses in the conditions of the Orel region. *Agriculture*. 2016. No. 4. Pp. 39-42.
13. Pryadilshchikova E. N., Kalabashkin P. N., Konvalova S. S. Formation of pasture phytocenoses based on new species of leguminous grasses in the conditions of the European north of Russia. *Vladimirsky husbandman*. 2018. No. 1 (83). Pp. 32-35.
14. Bekuzarova S. A., Gasiev V. I., Lushchenko G. V. Phytocenotic paradigm in legume breeding in the North Caucasus. *Feed production*. 2018. No. 8. Pp. 24-29.
15. Meerovsky A. S., Biryukovich A. L., Pastukhok R. T. Methods of using reclaimed lands for meadow fodder production. *Land reclamation*. 2017. No. 4 (82). Pp. 16-23.

Информация об авторах

Лущенко Герасим Викторович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного сельского хозяйства – филиал ФГБНУН Федерального научного центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук» (Российская Федерация, 363110, с. Михайловское, ул. Вильямса, 9), ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-3935-1962>, e-mail: geri4@list.ru

Гасиев Вадим Ирбекович, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного сельского хозяйства – филиал ФГБНУН Федерального научного центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук» (Российская Федерация, 363110, с. Михайловское, ул. Вильямса, 9), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2728-626X>, e-mail: gasiev77@mail.ru

Authors' Information

Lushchenko Gerasim Viktorovich, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, North Caucasus Research Institute of Mountain and Foothill Agriculture – the branch of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 363110, Mikhailovskoye village, Williams St., 9), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3935-1962>, e-mail: geri4@list.ru

Gasiev Vadim Irbekovich, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher, North Caucasus Research Institute of Mountain and Foothill Agriculture – the branch of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 363110, Mikhailovskoye village, Williams St., 9), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2728-626X>, e-mail: gasiev77@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-19

TO THE STUDY THE SOIL PROTECTION RESOURCE- SAVING TECHNOLOGY FOR SESAME CROPS IN THE NORTHERN REGIONS OF THE REPUBLIC OF KARAKALPAKSTAN

¹Mambetnazarov A. B., ²Mambetnazarov A. B., ³Aybergenov B. A., ³Quwanishbaeva Sh. D.,
⁴Mambetnazarov B. B., ⁵Shamsiyev A. S., ⁶Bekbanov B. A.

¹*Plant protection and quarantine scientific research institute
Tashkent region, Qibray district, Republic of Uzbekistan*

²*Nukus branch of the Samarkand state university of veterinary medicine, livestock and bio-technology
Nukus, Republic of Karakalpakstan, Uzbekistan*

³*Karakalpak state university
Nukus, Republic of Karakalpakstan, Uzbekistan*

⁴*University of Innovation technologies
Khodjeyli district, Republic of Karakalpakstan, Uzbekistan*

⁵*Tashkent State Agrarian University
Tashkent region, Qibray district, Republic of Uzbekistan*

⁶*Karakalpak Scientific Research Institute of Agriculture
Chimboy district, Republic of Karakalpakstan, Uzbekistan*

Corresponding author E-mail: mambetnazarov@mail.ru

Received 31.07.2025

Submitted 27.11.2025

The research was carried out within the framework of the project IZ-202012256 "Development of resource-saving agricultural technology for growing sesame varieties and organization of primary seed production in conditions of soil salinization and water shortage in the Aral Sea region" of the grant funding program for 2023-2025. Agency for Innovative Development under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan.

Abstract

Introduction. As a result of the use of the herbicide Zeldek extra (active ingredient Haloxypop-p-methyl a.e. Bentosan 48 % w.p.), about 70 % of the death of cereal weeds and the destruction of the aerial parts of field grasses were observed. Restoration of weed roots was observed 10-15 days after spraying. The highest sesame yields using soil-protective resource-saving technology were obtained in the experimental variant with a seed sowing rate of 5 kg per 1 hectare. **The object of the study** is sesame varieties that are grown in the northern regions of Karakalpakstan, as well as in the Khorezm region. **Materials and methods.** Field experiments were conducted on irrigated lands of the experimental farm of the Chimbai district of the Republic of Karakalpakstan. The experiments were repeated three times. To determine the density of plants, as well as weeds, a method of laying out a test plot was used, where the number of plants per 1 m² was calculated. Structural analysis of vegetation was carried out by laying out test areas on each experimental site. For this, plants were pulled out with roots and stems were removed. Selected nets are tied with tape and marked. In laboratory conditions, the roots were cut, and the remaining mass was weighed. In this case, the height of the plants from the base of the elongated leaf to the top was determined. The number of pods and the number of seeds in each pod were counted and the average yield was determined. **Results and conclusions.** At the beginning of sesame growth, weed contamination of crops prevents the growth and development of young plants. As a result of using the herbicide Zeldek Extra (active ingredient Galoxypop-p-methyl a.e. Bentosan 48 % w.r.), about 70 % of cereal weeds were lost and the above-ground part of field grasses was destroyed. Weed roots were restored 10-15 days after spraying. The highest sesame yields when using soil-protective resource-saving technology were obtained in the experimental variant with a seeding rate of 5 kg per 1 hectare.

Keywords: sesame, soil-protecting resource-saving technologies, drought-resistant sesame varieties, sesame yields.

Citation. Mambetnazarov A. B., Mambetnazarov A. B., Aybergenov B. A., Quwanishbaeva Sh. D., Mambetnazarov B. B., Shamsiyev A. S., Bekbanov B. A. To the study the soil protection resource-saving technology for sesame crops in the northern regions of the Republic of Karakalpakstan. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 180-187 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-19.

Authors' contribution. All authors took part in the preparation and conduct of the study and analysis of its results. The presented version of the article was agreed with all authors.

Conflict of interest. All authors declared no conflicts of interest.

УДК 631.5:633.85

К ИЗУЧЕНИЮ ПОЧВОЗАЩИТНОЙ РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОСЕВОВ КУНЖУТА В СЕВЕРНЫХ РАЙОНАХ РЕСПУБЛИКИ КАРАКАЛПАКСТАН

¹**Мамбетназаров А. Б.**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

²**Мамбетназаров А. Б.**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент

³**Айбергенов Б. А.**, независимый исследователь

³**Кууанышбаева Ш. Д.**, докторант

⁴**Мамбетназаров Б. Б.**, кандидат экономических наук, доцент

⁵**Шамсиев А. С.**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

⁶**Бекбанов Б. А.**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

¹ Научно-исследовательский институт по карантину и защите растений

Кибрайский район, Ташкентская область, Узбекистан

² Нукусский филиал Самаркандского государственного университета ветеринарной медицины, животноводства и биотехнологии

г. Нукус, Республика Каракалпакстан, Узбекистан

³ Каракалпакский государственный университет

г. Нукус, Республика Каракалпакстан, Узбекистан

⁴ Нукусский инновационный университет

Ходжейлийский район, Республика Каракалпакстан, Узбекистан

⁵ Ташкентский государственный аграрный университет

Кибрайский район Ташкентская область, Узбекистан

⁶ Каракалпакский научно-исследовательский институт сельского хозяйства

Чимбайский район, Республика Каракалпакстан, Узбекистан

Исследования проведены в рамках выполнения проекта ИЗ-202012256 «Разработка ресурсосберегающей агротехнологии выращивания сортов кунжута и организация первичного семеноводства в условиях засоления почв и дефицита воды в регионе Приаралья» программы грантового финансирования на 2023-2025 гг. Агентство инновационного развития при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан.

Аннотация. В результате применения гербицида Зельдек экстра (действующее вещество Галоксифоп-п-метил а.э. Бентозан 48 % в.р) наблюдалось около 70 % гибели злаковых сорняков и уничтожение надземной части полевых трав. Восстановление корней сорняков наблюдалось через 10-15 дней после опрыскивания. Наибольшая урожайность кунжута при использовании приемов почвозащитной ресурсосберегающей технологии была получены в варианте опыта с нормой высева семян 5 кг на 1 гектар.

Актуальность. В последние годы в связи с усыханием большей части Аральского моря, а также изменением климата, засушливость земледельческой зоны, особенно северных районов Каракалпакстана, усиливается. Вдобавок к этому год за годом уменьшается сток реки Амударья, что привело к крайнему дефициту водных ресурсов в нижнем течении реки. Фермеры и дехкане вынужденно приспосабливаются к нынешним неблагоприятным условиям и постепенно переходят к выращиванию менее влагопотребляемых культур. Одной из таких культур является кунжут, посевные площади которого в связи с дефицитом воды увеличиваются. В сохранении влаги и повышении плодородия почвы важная роль отводится почвозащитной ресурсосберегающей технологии. В связи с этим нами проводятся исследования по разработке технологии выращивания кунжута в условиях северных районов Каракалпакстана, используя приемы почвозащитной ресурсосберегающей технологии.

Общеизвестно, что применение почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия позволяет производить сельскохозяйственную продукцию, бережно используя и экономя природные ресурсы, тем самым получая высокую и устойчивую прибыль от земледельческой деятельности. Технологии основаны на улучшении естественных биологических процессов на земной поверхности и в глубинных ее слоях. Активное вмешательство человека в естественно протекающие природные процессы, как например, механическая обработка почвы, приводит к абсолютному минимуму воспроизводства плодородия почвы. Нулевая обработка, которая включает прямые методы посева без предварительной обработки почвы, позволяет сохранить остатки растений от предыдущих посевов на поверхности почвы, что имеет существенное значение в восполнении потерь органического вещества почвы и сохранения почвенной влаги. **Объектом** исследования являются сорта кунжута, которые выращиваются в северных районах Каракалпакстана, а также в Хорезмской области. **Материал**

и методы. Полевые опыты проводились на орошаемых землях опытного хозяйства Чимбайского района Республики Каракалпакстан. Повторность опытов трехкратная. Для определения густоты растений, а также сорных растений использовали метод закладки пробного участка, где рассчитывали количество растений на 1 м². Структурный анализ растительности проводился путем закладки тестовых площадей на каждой опытной площадке. Для этого растения выдергивали с корнями и удаляли стебли, формируя снопы. Выбранные снопы обвязывали скотчем и маркировали. В лабораторных условиях корни отрезали, а оставшуюся массу взвешивали. При этом определяли высоту растений от основания удлинённого листа до верхушки. Подсчитывали количество стручков и количество семян в каждом стручке и определяли среднюю урожайность. **Результаты и выводы.** В начале роста кунжута засорение посевов сорняками препятствует росту и развитию молодых растений. В результате применения гербицида «Зельдек экстр» (действующее вещество: Галоксифоп-п-метил а.э. Бентозан 48 % в.р) наблюдалась около 70 % гибели злаковых сорняков и уничтожение надземной части полевых трав. Восстановление корней сорняков наблюдалось через 10-15 дней после опрыскивания.

Наибольшая урожайность кунжута при использовании приемов почвозащитной ресурсосберегающей технологии была получена в варианте опыта с нормой высева семян 5 кг на 1 гектар.

Ключевые слова: кунжут, почвозащитные ресурсосберегающие технологии, засухоустойчивые сорта кунжута, урожайность кунжута.

Цитирование. Мамбетназаров А. Б., Мамбетназаров А. Б., Айбергенов Б. А., Кууанышбаева Ш. Д., Мамбетназаров Б. Б., Шамсиев А. С., Бекбанов Б. А. К изучению почвозащитной ресурсосберегающей технологии для посевов кунжута в северных районах Республики Каракалпакстан. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 180-187. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-19.

Авторский вклад. Все авторы принимали участие в подготовке, проведении исследования и анализе его результатов. Представленный вариант статьи согласован со всеми авторами.

Конфликт интересов. Все авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Главной проблемой сельского хозяйства в Каракалпакстане, особенно северных районах, является дефицит водных ресурсов. Из-за нехватки водных ресурсов в период вегетации, земледельцы вынуждены выращивать более засухоустойчивые сельскохозяйственные культуры – кунжут, подсолнечник и сорго.

Почвозащитная ресурсосберегающая технология является одной из самых эффективных технологий выращивания сельскохозяйственных культур, направленной на снижение затрат на производство сельскохозяйственной продукции, защиту почв от водной и ветровой эрозии, а также на повышение плодородия почвы.

Хотя урожайность при нулевой обработке почвы в первые годы применения зачастую ниже, чем при традиционном земледелии, отсутствие основной обработки почвы перед посевом позволяет существенно снизить затраты на топливо и рабочую силу, что приводит к снижению себестоимости продукции и, как следствие, повышению рентабельности производства. Нулевая обработка почвы основана на принципах сохранения и улучшения почвенных организмов и органического вещества почвы, что обеспечивает устойчивое ведение сельского хозяйства. Посадка сельскохозяйственных культур без обработки почвы, одновременный посев сельскохозяйственных культур с внесением удобрений осуществляется специальной сеялкой прямого посева. В последние годы из-за резкого роста цен на топливные продукты стало экономически неэффективно обрабатывать землю для выращивания сельскохозяйственных культур традиционным способом.

Нами с 2022 года проводятся исследования по использованию почвозащитной ресурсосберегающей технологии для выращивания кунжута.

Материал и методы. Полевые опыты проводились на орошаемых землях опытного хозяйства Чимбайского района Республики Каракалпакстан. Климат района, как и других северных районов Республики Каракалпакстан, резко континентальный, отличается сухостью воздуха, малым количеством осадков. Зима холодная, лето жаркое и сухое, минимальная температура зимой достигает -34°C, а максимальная летом достигает до 45°C. Рельеф равнинный, что способствует беспрепятственному проходу ветров с севера и северо-запада. Территория относится к полупустынной зоне с годовым количеством осадков около 100 мм. Поэтому осадки здесь не способствуют увлажнению почв и для выращивания сельскохозяйственных культур необходимо искусственное орошение.

Почвы Чимбайского района представлены в виде лугово-аллювиальных, лугово-пустынных, лугово-такырных, лугово-болотных почв. Особенностью этих почв является малая мощность гумусового горизонта (0,2-0,6 м), низкое содержание гумуса (0,5-1 %), высо-

кая карбонатность и наличие водно-растворимых солей. Почва опытного участка представлена в виде среднесуглинистых светлых сероземов. Повторность опытов трехкратная. Для определения густоты растений, а также сорных растений использовали метод закладки пробного участка, где рассчитывали количество растений на 1 м². Структурный анализ растительности проводился путем закладки тестовых площадей на каждой опытной площадке. Для этого растения выдергивали с корнями и удаляли стебли, формируя снопы. Выбранные снопы обвязывали скотчем и маркировали. В лабораторных условиях корни отрезали, а оставшуюся массу взвешивали. При этом определяли высоту растений от основания удлинённого листа до верхушки. Подсчитывали количество стручков и количество семян в каждом стручке и определяли среднюю урожайность.

В связи с тем, что во время уборки урожая были неблагоприятные погодные условия, что препятствовало применению сплошного метода учета. Поэтому применяли метод пробного снопа. Обмолачивали пробные снопы в лабораторных условиях вручную, затем определяли массу зерна и биомассы.

Полученные данные обрабатывали статистически по методике полевого опыта Б. А. Доспехова [1].

Результат и обсуждения. В последнее время население Республики Каракалпакстан периодически испытывает значительные трудности в связи с часто повторяющимися маловодьями в реке Амударья, так как основными видами деятельности являются орошаемое земледелие и животноводство.

В результате дельта Амударьи стала зоной экологического бедствия. Попытки искусственного обводнения свелись лишь к поддержанию продуктивности имеющихся сообществ. Изменения в почвенном покрове исследуемой территории по космическим снимкам 1980-1985 гг. свидетельствовали о том, что ведущим стал автоморфный почвообразовательный процесс, способствующий развитию солончаков [2].

Речной сток Амударьи, поступавший в дельту с 1944 по 1989 гг. включительно, являлся основной составляющей водного фактора, влияющего на видовое богатство дельты, в том числе и кормовых растений. Вклад атмосферных осадков в формирование ресурсов поверхностных вод дельты крайне незначителен, так как их количество было минимально даже по сравнению с другими районами Узбекистана, а испаряемость с открытых водных поверхностей, тростниковых зарослей, орошаемых земель высока [3].

Основными факторами, снижающими плодородие почвы в условиях Республики Каракалпакстан являются повсеместное засоление почв, высокий уровень залегания грунтовых вод и их минерализация, малая мощность гумусового горизонта (0,2-0,4 м) и низкое (0,4-1,0 %) содержание гумуса. В регионах, расположенных в нижнем течении Амударьи 95 % земель засолены. Засоление почвы является причиной снижения урожая хлопка: на 20-30 % на слабо засоленных землях, на 40-60 % на средне засоленных землях и на 80 % и выше на сильно засоленных землях [4].

Ныне используемые в земледелии Каракалпакстана агротехнологии во многих случаях не обеспечивают рационального использования природных ресурсов, расширенного воспроизводства плодородия почв, экологической сбалансированности в агробиоценозе, что в итоге неизбежно приводит к неустойчивости ведения земледелия в этом крайне засушливом регионе. В то же время применяемая в мировой практике технология почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия (Conservation Agriculture) в последнее время вызывает большой интерес у ученых-агров и земледельцев как наиболее устойчивая, ресурсосберегающая, обеспечивающая устойчивое воспроизводство плодородия почв технология. Хотя эта технология обычно дает положительные результаты только после длительного применения, нами уже после двухлетнего применения получены некоторые обнадеживающие результаты, которые показывают, что приемы и элементы нулевой и минимальной обработки почвы приемлемы в экстремальных условиях Каракалпакстана, и их применение должно улучшить плодородие почвы и снизить уровень ныне прогрессирующей деградации почв и земель [5].

Возделывание сельскохозяйственных культур в тяжелых условиях Каракалпакстана имеет свои особенности, и требует глубоких знаний о почве, о физиологических потребностях растений в воде и питательных веществах, биологических и экологических особенностях возделываемых растений, а также навыков ведения устойчивого земледелия в рискованной зоне земледелия. Технология нулевой обработки почвы – современная технология

земледелия, при которой почва не обрабатывается, а ее поверхность покрывается растительными и пожнивными остатками – мульчей. Стерневые остатки полностью предотвращают ветровую и водную эрозию, также способствуют сохранению влаги в почве за счет снижения испаряемости влаги с поверхности почвы [6].

Экологические выгоды от применения технологии нулевой обработки заключаются в сокращении выбросов парниковых газов за счет связывания углерода и азота в почве, увеличении почвенной флоры и фауны, сокращении расходов воды на поливы. Экономический анализ показывает, что затраты фермеров на возделывание пропашных культур сокращается на 70-75 % [7].



Рисунок 1 – Посев кунжута на сеялке «АТМАСА-17» без обработки почвы
Figure 1 – Sowing sesame on the ATMASA-17 seeder without soil cultivation



Рисунок 2 – Капельное орошение кунжута
Figure 2 – Drip irrigation of the sesame crop

Таблица 1 – Эффективность препаратов для протравливания семян против фузариоза кунжута, 2022-2024 гг.

Table 1 – Efficiency of seed treatment products against sesame fusarium wilt, 2022-2024

№	Название препарата / Name of the drug	Расход, л/т / Consumption, l/t	Заболеваемость, % / Morbidity, %	Развитие заболеваний, % / Development of diseases, %	Биологическая эффективность, % / Biological efficiency, %
1.	Контроль / Control	-	37,33	1,6	0
2.	Витавакс 200 ФФ 34 % сус.к. (Эталон) / Vitavax 200 FF 34 % SC (Reference)	2,5	0	0	100
3.	Гуркулес 6 % с.э.сус / Gurcules 6 % EC	0,4	1,53	0	95,9
4.	Гуркулес 6 % с.э.сус / Gurcules 6 % EC	0,5	1,00	0	97,3
5.	Делтабу ФС 6 % с.э.сус / Deltabu FS 6 % EC	0,4	1,77	0	95,3
6.	Делтабу ФС 6 % с.э.сус / Deltabu FS 6 % EC	0,5	0,77	0	97,9
7.	Ессензалил 27 % сус.к / Essenzalil 27 % SC	1,5	2,50	0	93,3
8.	Ессензалил 27 % сус.к / Essenzalil 27 % SC	2	1,57	0	95,8
9.	Максим ХЛ 035 ФС, 3,5 % сус.к. / Maxim XL 035 FS, 3.5 % SC	0,75	2,03	0	94,6
10.	Максим ХЛ 035 ФС, 3,5 % сус.к. / Maxim XL 035 FS, 3.5 % SC	2	1,30	0	96,5

Семена кунжута высевали в необработанную почву сеялкой АТМАСА 17, а также в пахотное поле (стандарт), где орошение осуществлялось по бороздкам.

В стандартных вариантах полив осуществлялся из расчета 500 м³/га. На участке нулевой обработки почвы была установлена система самотечного капельного орошения.

В борьбе с сорняками использовали гербицид «Зельдек экстра» (действующее вещество галоксифоп-п-метил а.э. Бентозан 48 % в.р) для борьбы со злаковыми и двудольными сорняками в стадии 5-7 листьев кунжута в норме 1 л/га. Опрыскивание проводилось с помощью опрыскивателя ОВХ-28, прицепленного к трактору Т-28. В результате применения гербицида наблюдалась около 70 % гибели злаковых сорняков и уничтожение надземной части полевых трав. Восстановление корней сорняков наблюдалось через 10-15 дней после опрыскивания.

Согласно результатам опытов, в контрольном варианте (без обработки) распространение заболевания составило 37,33 %, а развитие болезни – 1,6 %. Препарат «Витавакс 200 ФФ» (эталон) продемонстрировал 100 % биологическую эффективность, полностью остановил развитие и распространение инфекции.

Остальные исследуемые препараты также показали высокую эффективность. Так, применение «Делтабу ФС 6 %» (0,5 л/т) обеспечило максимальный результат – 97,9 % эффективности. Препараты «Гуркулес 6 %» (0,5 л/т) и «Максим ХЛ 035 ФС» (2 л/т) показали эффективность на уровне около 97 %. В тоже время препарат «Ессензалил 27 %» (1,5 л/т) продемонстрировал относительно низкий показатель – 93,3 %, что свидетельствует о несколько меньшей степени защиты по сравнению с другими вариантами.

В целом все испытанные препараты полностью подавили развитие болезни, однако уровень их биологической эффективности варьировал.

При определении структуры урожайности установлено, что по мере увеличения скорости посева количество стручков и семян на растении уменьшалось. Наибольшая урожайность с опытной площади получена на варианте с нормой посева 5 кг, или средняя урожайность составила 12,5 ц/га. Так, с расширением кунжутных полей населению будет поставляться качественное экологически чистое растительное масло. Пока ни одна масличная культура не дала с одного гектара столько растительного масла, сколько кунжутное. Кунжут – одна из масличных культур с высоким содержанием масла в семенах при норме посева 5 кг.

Выводы. В начале роста кунжута засорение посевов сорняками препятствует росту и развитию молодых растений. В результате применения гербицида «Зельдек экстра» (действующее вещество галоксифоп-п-метил а.э. Бентозан 48 % в.р) наблюдалась около 70 % гибели злаковых сорняков и уничтожение надземной части полевых трав. Восстановление корней сорняков наблюдалось через 10-15 дней после опрыскивания.

Наибольшая урожайность кунжута при использовании приемов почвозащитной ресурсосберегающей технологии были получены в варианте опыта с нормой высева семян 5 кг/га. Исследования в этом направлении продолжаются.

Conclusions. At the beginning of sesame growth, weed infestation prevents the growth and development of young plants. As a result of the application of the herbicide Zeldek extra (active ingredient Haloxypoph-p-methyl a.e. Bentosan 48 % bp), about 70 % of the death of cereal weeds and the destruction of the aboveground part of field grasses were observed. The restoration of weed roots was observed 10-15 days after spraying. The highest yield of sesame seeds using soil-protective resource-saving technology was obtained in an experimental variant with a seed sowing rate of 5 kg per 1 hectare. Research in this direction is ongoing.

Библиографический список

1. Айбергенов Б. А. Почвозащитное земледелие на подверженных засолению орошаемых землях Каракалпакстана. Адаптация к изменению климата: Примеры из Узбекистана и Казахстана. Ташкент, 2012.
2. Айбергенов Б. А. Нулевая обработка почвы на подверженных засолению орошаемых землях Южного Приаралья. Инновационные процессы в АПК. Инновационные процессы в АПК: сборник статей III Международной научно-практической конференции. Москва: Издательство Российского Университета Дружбы народов, 2011. 3 с.
3. Амонов Ш. Б. Совершенствование комплекса мер по борьбе с вредителями масличных культур, выращиваемых на богарных землях: автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора сельскохозяйственных наук. Ташкент, 2016. 26 с.
4. Нурбеков А., Айбергенов Б. Рекомендации по применению почвозащитной ресурсосберегающей технологии в Каракалпакстане. Ташкент, 2015.
5. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат, 1985.
6. План интегрированного управления водными ресурсами и водосбережения для бассейна реки Зарафшан: проектный документ проекта ПРООН (IWRM).
7. Кузнецов Н. Т. Актуальные географические аспекты современного состояния проблемы Аральского моря и Приаралья. Проблемы освоения пустынь. 1991. № 2.
8. Түйчиев Н. Х., Акрмов Б. А., Имомова М. Х., Эркинов Х. Э. Эффективность протравителей семян против вредителей кунжута. Научно-практический журнал «Агрохимия, защита растений и карантин». 2025. № 1. С. 1.

9. Хожаев Ш. Х. Инсектициды, акарициды, биологически активные вещества и фунгициды. Ташкент: ҚХИТИ, 2004. 112 с.
10. Mambetnazarov B. S., Bekbanov B. A., Mambetnazarov A. B., Aybergenov B., Quwanishbaeva Sh. D., Mambetnazarov B. B. Irrigation and production of seeds of various sesame varieties in the conditions of Karakalpakstan. E3S Web of Conferences. 2023. V. 420. 01029. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342001029>
11. Mambetnazarov B. S., Bekbanov B. A., Mambetnazarov A. B., Aybergenov B. A., Quwanishbaeva Sh. D., Mambetnazarov B. B. To the study of conservation agriculture for sesame production in the northern areas of the republic of Karakalpakstan. E3S Web of Conferences. 2023. V. 420. 01029. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342001029>
12. Mambetnazarov B., Bekbanov B., Mambetnazarov A. B., Aybergenov A., Mambetnazarov A., Kuanishbaeva Sh., Mambetnazarov. Sesame Cultivation in Water-Deficit Conditions. Journal of Global Innovations in Agricultural Sciences, 2026, 14, (2) Pp. 729-735. DOI: <https://doi.org/10.22194/JGIAS/26.1731>
13. Manjeet R. A., Kumar A., Sheoran R. K., Verma P. K. Screening of sesames. Electronic Journal of Plant Breeding. 2020. Vol. 11 (4). Pp. 1227-1232.
14. Юсупов Б. О. Изучение влияния норм и сроков посева на продуктивность сорта кунжута в почвенно-климатических условиях Республики Каракалпакстан. American Journal of Applied Science and Technology. 2025. Т. 5. № 3. С. 78-80.
15. Zhang H. et al. Genomic evolution and insights into agronomic trait innovations of Sesamum species. Plant Communications. 2024. V. 5. I. 1. 100729.
16. Kefale Y., Azanaw A., Worku M., Gelaye M. Assessment of Major Insect Pests and Diseases of Sesame (Sesamum orientale L) in West Gondar Zone, Ethiopia. Abyssinia Journal of Science and Technology. 2021. V. 6. No 1. Pp. 6-11.
17. Sesame technology for maximizing production. All India Coordinated Research Project on Sesame and Nigella, Indian Council of Agricultural Research, JNKVV Campus, Jabalpur-482004. 2013. <https://icar-iior.org>
18. Hailu E. K., YD Urga Y. D., Sori N. A., Borona F. R., Tufa K. N. Sesame Yield Response to Deficit Irrigation and Water Application Techniques in Irrigated Agriculture, Ethiopia. International Journal of Agronomy. 2018. I. 1. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1155/2018/5084056>
19. Boydak Erkan et al. Effect of Irrigation Methods and Irrigation Intervals on Yield and Some Yield Components of Sesame Growing in the Semi-arid Area. Journal of Agronomy. 2007. No 6. Pp. 439-443. <https://scialert.net/abstract/?doi=ja.2007.439.443>

References

1. Aybergenov B. A. Soil-protective agriculture on irrigated saline soils of Karakalpakstan. Adaptation to Climate Change: Examples from Uzbekistan and Kazakhstan. Tashkent, 2012.
2. Aybergenov B. A. Zero tillage on irrigated saline soils of the Southern Aral Sea region. Innovative Processes in Agro-industrial Complex: Proceedings of the 3rd International Scientific-Practical Conference. Moscow: RUDN University Press, 2011. 3 p.
3. Amonov Sh. B. Improving the complex of measures against pests of oil crops grown on rainfed lands: abstract of dissertation. Tashkent, 2016. 26 p.
4. Nurbekov A., Aybergenov B. Recommendations on the application of soil-protective resource-saving technology in Karakalpakstan. Tashkent, 2015.
5. Dospekhov B. A. Methods of field experiment. Moscow: Agropromizdat, 1985.
6. Integrated Water Resources Management and Water Saving Plan for the Zarafshan River Basin: UNDP Project Document (IWRM).
7. Kuznetsov N. T. Actual geographical aspects of the current state of the Aral Sea and Priaralie problem. Problems of Desert Development. 1991. No 2.
8. Tuychiev N. Kh., Akromov B. A., Imomova M. Kh., Erkinov Kh. E. Efficiency of seed protectants against sesame pests. Agrochemistry, Plant Protection and Quarantine Scientific-Practical Journal. 2025. No 1. P. 1.
9. Khojaev Sh. Kh. Methodological guidelines for testing insecticides, acaricides, biologically active substances and fungicides. Tashkent: UzR KHITI, 2004. 112 p.
10. Mambetnazarov B. S., Bekbanov B. A., Mambetnazarov A. B., Aybergenov B., Quwanishbaeva Sh. D., Mambetnazarov B. B. Irrigation and production of seeds of various sesame varieties in the conditions of Karakalpakstan. E3S Web of Conferences. 2023. V. 420. 01029. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342001029>
11. Mambetnazarov B. S., Bekbanov B. A., Mambetnazarov A. B., Aybergenov B. A., Quwanishbaeva Sh. D., Mambetnazarov B. B. To the study of conservation agriculture for sesame production in the northern areas of the republic of Karakalpakstan. E3S Web of Conferences. 2023. V. 420. 01029. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342001029>
12. Mambetnazarov B., Bekbanov B., Mambetnazarov A. B., Aybergenov A., Mambetnazarov A., Kuanishbaeva Sh., Mambetnazarov. Sesame Cultivation in Water-Deficit Conditions. Journal of Global Innovations in Agricultural Sciences, 2026, 14, (2) Pp. 729-735. <https://doi.org/10.22194/JGIAS/26.1731>
13. Manjeet R. A., Kumar A., Sheoran R. K., Verma P. K. Screening of sesames. Electronic Journal of Plant Breeding. 2020. Vol. 11 (4). Pp. 1227-1232.
14. Yusupov B. O. Studying the effect of sowing norms and times on the productivity of the sesame variety in the soil-climate conditions of the Republic of Karakalpakstan. American Journal of Applied Science and Technology. 2025. No 5 (3). Pp. 78-80.
15. Zhang H. et al. Genomic evolution and insights into agronomic trait innovations of Sesamum species. Plant Communications. 2024. V. 5. I. 1. 100729.
16. Kefale Y., Azanaw A., Worku M., Gelaye M. Assessment of Major Insect Pests and Diseases of Sesame (Sesamum orientale L) in West Gondar Zone, Ethiopia. Abyssinia Journal of Science and Technology. 2021. V. 6. No 1. Pp. 6-11.
17. Sesame technology for maximizing production. All India Coordinated Research Project on Sesame and Nigella, Indian Council of Agricultural Research, JNKVV Campus, Jabalpur-482004. 2013. <https://icar-iior.org>
18. Hailu E. K., YD Urga Y. D., Sori N. A., Borona F. R., Tufa K. N. Sesame Yield Response to Deficit Irrigation and Water Application Techniques in Irrigated Agriculture, Ethiopia. International Journal of Agronomy. 2018. I. 1. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1155/2018/5084056>
19. Boydak Erkan et al. Effect of Irrigation Methods and Irrigation Intervals on Yield and Some Yield Components of Sesame Growing in the Semi-arid Area. Journal of Agronomy. 2007. No 6. Pp. 439-443. <https://scialert.net/abstract/?doi=ja.2007.439.443>

Информация об авторах

Мамбетназаров Асан Бисенбаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией, Научно-исследовательский институт по карантину и защите растений (Республика Узбекистан, 111215, Ташкентская область, Кибрайский район, улица Бобура, 4), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1186-7059>, e-mail: ilmivmarkaz@karantin.uz

Мамбетназаров Амангелди Бисенбаевич, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, руководитель отдела, Нукусский филиал Самаркандского государственного университета ветеринарной медицины, животноводства и биотехнологии (Узбекистан, 230102, Республика Каракалпакстан, г. Нукус, ул. А. Утепов, 31), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8109-9828>, e-mail: samvminf@edu.uz

Айбергенов Бахит Абыллаевич, независимый исследователь, Каракалпакский государственный университет (Узбекистан, 230112, Республика Каракалпакстан, г. Нукус, ул. Ч. Абдилова, 1), ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1415-5328>, e-mail: aybahit@rambler.ru

Кууанышбаева Шахзада Дарибаевна, докторант, Каракалпакский государственный университет (Узбекистан, 230112, Республика Каракалпакстан, г. Нукус, ул. Ч. Абдилова, 1), ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4588-4910>, e-mail: shakhzada@karsu.uz

Мамбетназаров Бахит Бисенбаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Нукусский инновационный университет (Узбекистан, Республика Каракалпакстан, Ходжейлийский район, ул. Тахияташская, 28), ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1648-2230>, e-mail: mambetnazarov@qmail.com

Шамсиев Акмал Садирдинович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Ташкентский государственный аграрный университет (Республика Узбекистан, Кибрайский район, ул. Университетский, 1), ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0724-3435>, e-mail: mambetnazarov@qmail.com

Бекбанов Бисенбай Арепович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией, Каракалпакский научно-исследовательский институт земледелия (Республика Каракалпакстан, Узбекистан, 231400, Чимбайский район, улица Х.Ахмедов, 1), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0881-3009>, e-mail: qqditi@uamail.uz

Authors' Information

Mambetnazarov Asan Bisenbaevich, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Head of the Laboratory, Research Institute for Plant Quarantine and Protection (Uzbekistan, 111215, Tashkent region, Kibray district, Bobur str., 4), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1186-7059>, e-mail: ilmivmarkaz@karantin.uz

Mambetnazarov Amangeldi Bisenbaevich, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Nukus branch of the Samarkand State University of Veterinary Medicine, Animal Husbandry and Biotechnology (Uzbekistan, 230102, Republic of Karakalpakstan, Nukus, A. Uteпов str., 31), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8109-9828>, e-mail: samvminf@edu.uz

Aybergenov Bakhit Abillaevich, Independent Researcher, Karakalpak State University, (Uzbekistan, 230112, Republic of Karakalpakstan, Nukus, Ch. Abdirova str., 1), ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1415-5328>, e-mail: aybahit@rambler.ru

Kuwanishbaeva Shahzada Daribayevna, doctoral student, Karakalpak State University, (Uzbekistan, 230112, Republic of Karakalpakstan, Nukus, Ch. Abdirova str., 1), ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4588-4910>, e-mail: shakhzada@karsu.uz

Mambetnazarov Baxit Bisenbaevich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor Nukus Innovation University (Uzbekistan, Republic of Karakalpakstan, Khojeyli district, Takhiyatashskaya str., 28), ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1648-2230>, e-mail: mambetnazarov@qmail.com

Shamsiev Akmal Sadirdinovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Tashkent State Agrarian University (Republic of Uzbekistan, Kibray district, Universitetsky street, 1), ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0724-3435>, e-mail: mambetnazarov@qmail.com

Bekbanov Bisenbay Arepovich, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Head of the Laboratory, Karakalpak Scientific Research Institute of Agriculture (Republic of Karakalpakstan, Uzbekistan, 231400, Chimboy district, X. Axmedov str., 1), Tashkent region, Kibray district, Bobur str., 4), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0881-3009>, e-mail: qqditi@uamail.uz

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-20

THE FEATURES OF THE BLACKBERRY MICRO PLANTS GROWTH AT THE ADAPTATION STAGE UNDER LED SUPPLEMENTARY LIGHTING**Papikhin R. V., Dubrovsky M. L., Muratova S. A., Kruzhkov A. V., Churikova N. L.***Michurinsk State Agrarian University
Michurinsk, Russian Federation*Corresponding author E-mail: element68@mail.ru

Received 10.10.2025

Submitted 02.12.2025

The work was carried out within the framework of the State Assignment No. 1023050500002-6-4.4.1 «Development of innovative biotechnologies for obtaining high-quality planting material for promising berry and ornamental crops» with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation at the expense of the federal budget using the equipment of the Collective Use Center of Michurinsk State Agrarian University «Breeding of Agricultural Crops and Technologies of Production, Storage and Processing of Functional and Medicinal-Prophylactic Food Products».

Summary

The article presents the results of the study of growth biometric characteristics of blackberry micro plants of the Black Satin variety during the adaptation stage under LED supplementary lighting. In variant 5 (PPFD = 191.43±14.13 μmol/m²/s; light intensity 13035.2±998.0 lux; R:G:B = 34.5:44.6:20.9 %) an significant acceleration in the rate of plant development was detected, their organs and the whole plant had a maximum dry mass compared to the control.

Abstract

Introduction. For producing large-scale batches of high-quality blackberry plants, clonal micropropagation offers significant advantages over open-field cultivation methods. The final stage of the biotechnological process for producing planting material is the adaptation of micro plants to non-sterile greenhouse conditions, the effectiveness of which can be improved through targeted control of physical cultivation conditions. The objective of this study was to analyze quantitative indicators of blackberry plant during the adaptation

stage following clonal micropropagation under artificial illumination with LED sources of varying spectral compositions. **Object.** Research objects were blackberry plants of the Black Satin variety previously obtained by clonal micropropagation and planted in 54-cell plastic cassettes. Neutralized peat «Agrobalt-S» with a complex of macro- and microelements was used as the substrate. **Materials and methods.** The studies were conducted in 2024-2025 at the Michurinsk State Agricultural University. The plant cassettes were placed on the shelves of a metal rack equipped with LED lamps as sources of additional artificial lighting at 7 variants (lamps were not used in the control). Additional lighting of the cultivated plants was carried out for four weeks – daily for two periods of 4 hours: from 6:00 to 10:00 and from 16:00 to 20:00. In the variants with LED lighting, an increase in the following parameters relative to the control was noted: PAR – in the range from 1.6 to 4.1 times; PPFD – by 1.7-5.1 times; light intensity – by 2.0-6.2 times. In cassette plants, the following parameters were studied: leaf apparatus parameters (total area and number of leaves, area, length and width of leaf plate, leaf index, concentration of pigments in leaves – the sum of chlorophylls *a* and *b*, carotenoids on the 14th and 28th days), dry mass of organs (leaves, stem part of shoot, roots, total mass), specific proportions of leaves and roots in the total mass of the plant, ratio of mass of leaves and roots. **Results and conclusions.** Artificial supplementary lighting of blackberry micro plants during the adaptation stage promotes to 1.1-2.5 times increase in their main biometric parameters (plant height and dry mass, total leaf area, linear dimensions and leaf plate area) and 1.1-1.5 times decrease in the coefficient of variation in leaf number relative to the control. Under the most uniform supplementary lighting with minimal coefficients of variation of the energy parameters (PAR, PPFD, light intensity), high positive correlations were established between these parameters and the dry weight of the plant, its leaves and the stem of the shoot ($R = 0.92...0.95$), as well as the weight of the root system ($R = 0.84...0.90$). High positive correlations ($R = 0.84...0.86$) were observed between the plant leaf area and the average leaf plate area, its length, width, and leaf ratio; however, no significant relationship with the leaf number was established ($R = -0.25$). In the middle of the experiment (on the 14th day), the plants in all variants of LED supplementary lighting showed an increase in the total chlorophyll concentration by 1.1-1.5 times relative to the control, and in carotenoids by 1.3-2.3 times. By the end of the experiment (after 2 weeks), the control, variants 1 and 7 showed an increase in the total chlorophyll content by 7.9-22.3 % and carotenoids by 9.6-28.8 %, while the remaining variants showed a significant decrease in pigment accumulation in the leaves. The difference in the mass fraction of leaves under supplementary lighting conditions was 1.1 times; stems – 3.4 times; root system – 2.0 times, while a negative correlation of the average level was noted between the values of the mass fraction of leaves and roots ($R = -0.60$). A significant increase in plant dry mass relative to the control was detected in variants 4, 5, and 7. With an increase in the proportion of the blue range of the spectrum, a decrease in plant height was noted ($R = -0.74$). In variant 5 (PPFD = $191.43 \pm 14.13 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$; light intensity $13035.2 \pm 998.0 \text{ lux}$; R:G:B = 34.5:44.6:20.9 %), the plants had the maximum dry mass in comparison with the control: total mass – 2.7 times more; leaves – 2.2 times; stem part of shoots – 3.4 times; roots – 3.9 times. More one-dimensional blackberry plants were noted in variants 1, 6, 7.

Keywords: blackberries, clonal micro-propagation of blackberries, adaptation of micro plants, artificial illumination of plants, LED lighting sources.

Citation. Papikhin R. V., Dubrovsky M. L., Muratova S. A., Kruzhkov A. V., Churikova N. L. The features of the blackberry micro plants growth at the adaptation stage under led supplementary lighting. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 187-197 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-20.

Authors' contribution. All the authors mentioned in this article were directly involved in the research and processing of the data obtained. All authors are familiar with the submitted final version and approved it.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 634.717:635.03:58.035

ОСОБЕННОСТИ РОСТА МИКРОРАСТЕНИЙ ЕЖЕВИКИ НА ЭТАПЕ АДАПТАЦИИ ПРИ СВЕТОДИОДНОМ ДОСВЕЧИВАНИИ

Папихин Р. В., кандидат сельскохозяйственных наук
Дубровский М. Л., кандидат сельскохозяйственных наук
Муратова С. А., кандидат биологических наук
Кружков А. В., кандидат сельскохозяйственных наук
Чурикова Н. Л., кандидат сельскохозяйственных наук

ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»
г. Мичуринск, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках государственного задания № 1023050500002-6-4.4.1 «Разработка инновационных биотехнологий получения высококачественного посадочного материала перспективных ягодных и декоративных культур» при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ за счет средств федерального бюджета с использованием оборудования ЦКП Мичуринского ГАУ «Селекция сельскохозяйственных культур и технологии производства, хранения и переработки продуктов питания функционального и лечебно-профилактического назначения».

Актуальность. Для получения крупномасштабных партий высококачественных саженцев ежевики метод клонального микроразмножения имеет существенные преимущества в сравнении с традиционными методами питомниководства. Завершающим этапом биотехнологического процесса

производства посадочного материала является адаптация микрорастений к нестерильным условиям в теплице, повысить эффективность которой можно с помощью направленного контроля физических условий культивирования. Цель исследований – анализ биометрических показателей растений ежевики на этапе адаптации в условиях искусственного досвечивания светодиодами различного спектрального состава. **Объект.** Объектом исследований служили растений ежевики сорта Black Satin, предварительно полученные методом клонального микроразмножения и высаженные в пластиковые кассеты с 54 ячейками. В качестве субстрата использовали нейтрализованный торф «Агробалт-С». **Материалы и методы.** Исследования были проведены в 2024-2025 гг. в ФГБОУ ВО «Мичуринский ГАУ». Кассеты с растениями размещали на полках металлического стеллажа, оснащенного светодиодными светильниками в качестве источников дополнительного освещения. Досвечивание культивируемых растений осуществляли в 7 вариантах: ежедневно с 6:00 до 10:00 и с 16:00 до 20:00 в течение четырех недель. В контроле лампы не использовали. В вариантах с искусственным освещением увеличение уровня ФАР относительно контроля составило 1,6-4,1 раза; PPFD – в 1,7-5,1 раза; освещенности – в 2,0-6,2 раза. У растений ежевики на 14-е и 28-е сутки определяли концентрацию пигментов в листьях (суммы хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов), а по окончании эксперимента проводили анализ биометрических показателей листового аппарата, сухой массы органов (листьев, стеблевой части побега, корней, общей массы), рассчитывая удельные доли листьев и корней в общей массе растения, соотношение массы листьев и корней. **Результаты и выводы.** Искусственное досвечивание микрорастений ежевики на этапе адаптации приводит к увеличению их основных биометрических показателей в 1,1-2,5 раза (высоты и сухой массы растений, общей площади листьев, линейных размеров и площади листовой пластинки) и снижению в 1,1-1,5 раза коэффициента вариации количества листьев относительно контроля. При наиболее равномерном освещении с минимальными коэффициентами вариации энергетических параметров освещения (ФАР, PPFD, уровня освещенности), установлены их положительные корреляции высокого уровня с высотой растений ($R = 0,84...0,87$), массой всего растения, его листьев и стеблевой части побега ($R = 0,92...0,95$), массой корневой системы ($R = 0,84...0,90$). Отмечены высокие положительные корреляции ($R = 0,84...0,86$) площади листьев растения со средней площадью листовой пластинки, ее длиной, шириной и листовым индексом, однако не установлено существенной взаимосвязи с количеством листьев ($R = -0,25$). В середине эксперимента (на 14-е сутки) у растений во всех вариантах светодиодного досвечивания отмечено увеличение концентрации суммы хлорофиллов в 1,1-1,5 раза относительно контроля, каротиноидов – в 1,3-2,3 раза. К окончанию эксперимента (спустя 2 недели) в контроле, вариантах 1 и 7 установлено увеличение концентраций суммы хлорофиллов на 7,9-22,3 % и каротиноидов на 9,6-28,8 %, а в остальных вариантах отмечено существенное снижение накопления пигментов в листьях. Различие доли листьев в общей массе растения в условиях досвечивания составило 1,1 раза; стеблей – 3,4 раза; корневой системы – 2,0 раза, при этом между значениями массовой доли листьев и корней отмечена отрицательная корреляция среднего уровня ($R = -0,60$). В вариантах 4, 5, 7 отмечено существенное увеличение сухой массы растений относительно контроля. При увеличении доли синего диапазона спектра отмечено снижение высоты растений ($R = -0,74$). В варианте 5 (PPFD = $191,43 \pm 14,13$ мкмоль/м²/с; уровень освещенности 13035,2 $\pm$ 998,0 люкс; R:G:B = 34,5:44,6:20,9 %) растения имели максимальную сухую массу в сравнении с контролем: общую – в 2,7 раза больше; листьев – в 2,2 раза; стеблевой части побегов – в 3,4 раза; корней – в 3,9 раза. Наиболее одномерные растения ежевики отмечены в вариантах 1, 6, 7.

Ключевые слова: ежевика, клональное микроразмножение ежевики, адаптация микрорастений, искусственное досвечивание растений, светодиодные источники освещения.

Цитирование. Папихин Р. В., Дубровский М. Л., Муратова С. А., Кружков А. В., Чурикова Н. Л. Особенности роста микрорастений ежевики на этапе адаптации при светодиодном досвечивании. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 187-197. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-20.

Авторский вклад. Все авторы, указанные в настоящей статье, принимали непосредственное участие в проведении исследований и обработке полученных данных. Все авторы ознакомлены с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Растения рода *Rubus* L., возделываемые человеком, характеризуются широкой экологической пластичностью в различных природно-климатических регионах возделывания, относительной неприхотливостью и высоким регенерационным потенциалом [1-4]. В настоящее время повышенным спросом пользуется ежевика, сорта которой положительно зарекомендовали себя в производстве, в связи с чем требуется значительное количество высококачественного посадочного материала. Для получения крупномасштабных партий саженцев ежевики метод клонального микроразмножения имеет существенные преимущества в сравнении с традиционными методами вегетативного размножения [5-8]. Размножение и укоренение микрорастений в оптимальных условиях культуральных комнат позволяет проводить несколько производственных циклов в год и получать генетически однородный материал, свободный от бактериальных и грибных фитопатогенов. Завершающим этапом биотехнологического процесса производства посадочного материала является адаптация микрорастений к нестерильным условиям в теплице [9].

Возможность круглогодичного получения посадочного материала может быть ограничена существенным различием продолжительности светового периода суток в разные месяцы и связанным с этим изменением параметров естественного освещения. В настоящее время актуальной альтернативой является использование энергоэффективных источников искусственного освещения на основе светодиодов (LED), которые характеризуются увеличенным сроком службы, различными спектральными характеристиками и позволяют производить светильники для выращивания растений в условиях защищенного грунта. С помощью искусственного досвечивания становится возможным создать оптимальные условия освещения для культивируемых растений, а также продлить продолжительность светового периода.

При клональном микроразмножении растений рода *Rubus* L. отмечено положительное влияние светодиодного освещения различного спектрального состава. Так, сочетание синих и красных светодиодов в соотношении 1:2 способствовало росту корней в условиях *in vitro*, а их баланс 2:1 приводил к увеличению концентрации пигментов в листьях и микропобегах [10]. Синие светодиоды с максимумом 444 нм и белые с люминофором (623 нм) способствовали увеличению коэффициента размножения микропобегов малины и ежевики в сравнении с белыми люминесцентными лампами в контроле, при этом была отмечена и специфичность реакции различных генотипов на светодиодное освещение [11]. При полно-спектральном светодиодном досвечивании (локальные максимумы в области 453 и 598 нм) в течение 31 суток по 8 ч растений ежевики и ежевично-малиновых гибридов на этапе адаптации *ex vitro* отмечено увеличение листовой поверхности и сухой массы корней, а в условиях красно-синего спектра (460 и 630 нм) установлена максимальная концентрация фотосинтетических пигментов [12].

Целью наших исследований являлся анализ основных биометрических показателей растений ежевики сорта Black Satin на этапе адаптации в условиях искусственного досвечивания светодиодами различного спектрального состава.

Материалы и методы. Исследования были проведены в 2024-2025 гг. в структурных подразделениях ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ – Учебно-исследовательском тепличном комплексе и учебно-исследовательской лаборатории биотехнологии.

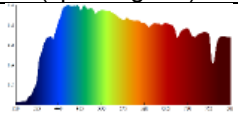
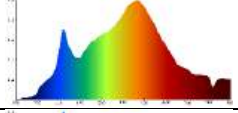
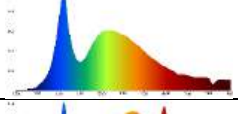
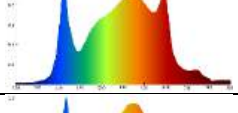
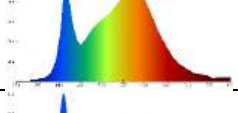
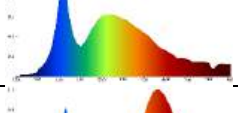
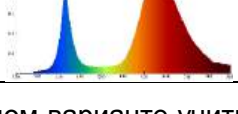
Объектом исследований служили растения ежевики сорта Black Satin, предварительно полученные методом клонального микроразмножения. Микрорастения длиной 3-3,5 см высаживали в субстрат на основе нейтрального минерализованного верхового сфагнового торфа марки "Агробалт-С" в пластиковые кассеты на 54 ячейки (объем ячейки 80 мл).

Кассеты размещали на полках металлического стеллажа, установленного под пленочный каркас для поддержания высокой влажности воздуха, и оснащенного светодиодными светильниками в качестве источников дополнительного искусственного освещения. Досвечивание культивируемых растений осуществляли на протяжении четырех недель – ежедневно по 4 часа в течение двух периодов: с 6:00 до 10:00 и с 16:00 до 20:00. Для оценки равномерности показателей освещения на каждой полке стеллажа в режиме досвечивания проводили измерения на 15 участках с помощью спектрометра Horoscolor HPCS310P (Китай). Учитывали спектрограммы, параметры фотосинтетически активной радиации (PAR, ФАР), плотности потока фотосинтетически активных фотонов (PPFD), уровень освещенности и процентное соотношение диапазонов видимого участка спектра (красного, желто-зеленого и синего – RGB), вычисляя их средние значения и коэффициент вариации (таблица 1).

Измерения спектральных и энергетических характеристик светодиодных источников освещения проводили 27 февраля 2025 г., за сутки до начала эксперимента. На полках стеллажа показатели ФАР изменялись в 4,1 раза – от $1,05 \pm 0,07$ до $4,35 \pm 0,31$ мВт/см²; PPFD – в 5,1 раза: от $37,57 \pm 2,56$ до $192,82 \pm 9,06$ мкмоль/м²/с; уровня освещенности – в 6,2 раза: от $2098,5 \pm 138,8$ до $13035,2 \pm 998,0$ люкс; при этом все минимальные значения данных параметров отмечены на контрольной полке, где не использовали светодиодное досвечивание. В вариантах с искусственным освещением отмечено увеличение показателей относительно контроля: ФАР – в интервале от 1,6 до 4,1 раза; PPFD – в 1,7-5,1 раза; освещенности – в 2,0-6,2 раза. Коэффициенты вариации параметров освещения при использовании светодиодных источников были значительно ниже контрольных значений во всех вариантах, кроме пятого, в котором использовали два светильника с менее равномерно распределенным в пространстве световым пучком. Отмечены положительные корреляции высокого уровня

между соответствующими значениями ФАР/ PPFD и уровня освещенности ($R = 0,85...0,87$), показателей ФАР и PPFD ($R = 0,99$). Доля красного диапазона спектра в эксперименте изменялась в 2,5 раза – от 28,8 до 73,3 %; желто-зеленого – в 5,1 раза (8,7...44,6 %); синего – в 1,6 раза (17,8...29,0 %).

Таблица 1 – Спектральные и энергетические характеристики светодиодных источников освещения, используемых для досвечивания растений
Table 1 – Spectral and energy characteristics of LED light sources used for plant supplementary lighting

Вариант опыта / An experimental version	Спектральная кривая (спектрограмма) / Spectral curve (spectrogram)	ФАР (PAR), мВт/см ² / MW/cm ² (Cv, %)	PPFD, мкмоль/м ² /с / mmol/m ² /s (Cv, %)	Освещенность, люкс (Cv, %) / Illumination, lux (Cv, %)	Соотношение диапазонов RGB, % / RGB range Ratio, %
Контроль / Control		1,05±0,07 (27,1)	37,57±2,56 (26,4)	2098,5±138,8 (25,6)	42,9/ 32,2/ 24,8
Вариант 1 / Option 1		1,83±0,07 (14,5)	74,32±2,52 (13,1)	4673,2±151,8 (12,6)	43,1/ 39,1/ 17,8
Вариант 2 / Option 2		1,69±0,07 (15,6)	67,83±2,35 (13,4)	4406,7±131,9 (11,6)	35,7/ 41,9/ 22,4
Вариант 3 / Option 3		1,66±0,06 (13,3)	66,05±2,00 (11,7)	4232,2±114,5 (10,5)	28,8/ 42,1/ 29,0
Вариант 4 / Option 4		4,31±0,20 (17,6)	192,82±9,06 (18,2)	12304,6±585,3 (18,4)	40,2/ 41,3/ 18,5
Вариант 5 / Option 5		4,35±0,31 (27,3)	191,43±14,13 (28,6)	13035,2±998,0 (29,7)	34,5/ 44,6/ 20,9
Вариант 6 / Option 6		1,63±0,06 (14,9)	65,04±2,35 (14,0)	4184,0±133,8 (12,4)	44,3/ 31,7/ 24,0
Вариант 7 / Option 7		3,97±0,18 (17,9)	166,22±7,88 (18,4)	4886,1±228,6 (18,1)	73,3/ 8,7/ 18,0

В каждом варианте учитывали по 30 растений одной кассеты, проводя измерения и анализ соответствующих морфологических показателей каждого растения.

На 14-е и 28-е сутки для определения концентрации основных пигментов – суммы хлорофиллов и каротиноидов с 15 предварительно отобранных растений срезали по две листовых пластинки одного возраста. В дальнейшем эти растения не использовали для проведения других измерений. Оптическую плотность полученных в трехкратной повторности вытяжек пигментов в 96 %-ном растворе этанола определяли с помощью двулучевого спектрофотометра VWR UV-6300PC (США), при длине волны 665 нм анализировали содержание хлорофилла *a*, 649 нм – хлорофилла *b*, 440 нм – каротиноидов [13]. Итоговую концентрацию каждого из пигментов выражали на единицу сухой массы листьев.

Через четыре недели культивирования у растений анализировали морфологические показатели – общую площадь и количество листьев; длину, ширину и площадь листовой пластинки, листовой индекс; суммарную площадь листьев; сухую массу листьев, стеблевой части побегов, корней. Взвешивания проводили на аналитический весах с точностью до 0,0001 г. Площадь листового аппарата определяли с помощью планшетного сканера, во

всех вариантах опыта сканируя листья каждого из 30 растений отдельно, затем изображения открывали в графическом редакторе ImageJ и в результате бинаризации полученных фигур анализировали площадь листовой пластинки и всех листьев растения.

Все полученные значения количественных показателей обрабатывали общепринятыми методами математической статистики [14] с использованием программной вычислительной среды Microsoft Office Excel 2016 и Statistica 10.0, а затем представляли в табличной форме.

Результаты и обсуждение. Проведенные исследования позволили установить значительное влияние искусственного досвечивания светодиодными источниками различного спектрального состава на количественные показатели роста и развития кассетных растений ежевики.

Адаптация укорененных микрорастений после клонального микроразмножения к нестерильным условиям защищенного грунта сопровождается их полным переходом на автотрофный способ питания в результате фотосинтеза, в связи с чем решающее значение имеет степень развития ассимилирующей листовой поверхности побегов [15].

Искусственное досвечивание кассетных растений ежевики способствовало увеличению ряда важных количественных показателей листового аппарата относительно контроля: общей площади листьев – в 1,2-1,6 раза; средней площади листовой пластинки – в 1,2-1,9 раза; длины и ширины листовой пластинки – соответственно в 1,1-1,6 и 1,1-1,5 раза (таблица 2). В качестве наиболее стабильного показателя листового аппарата определен листовой индекс, который у досвечиваемых растений превышал значения контроля всего на 2,3-13,0 %, при коэффициенте вариации в диапазоне 1,4-4,5 %. В вариантах досвечивания коэффициент вариации количества листьев оказался в 1,1-3,4 раза меньше уровня контроля. Вариант 4 с наиболее высокими энергетическими характеристиками светодиодного источника освещения характеризовался минимальными значениями коэффициентов вариации большинства изученных показателей листового аппарата растений.

Таблица 2 – Морфометрические показатели листового аппарата растений ежевики сорта Black Satin на этапе адаптации

Table 2 – Morphometric indicators of the leaf apparatus of the blackberry plants of the variety Black Satin at the adaptation stage

Вариант опыта / An experimental version	Площадь листьев, см ² / Leaf area, cm ²	Количество листьев, шт. / Number of leaves, pcs.	Площадь листовой пластинки, см ² / The area of the leaf blade, cm ²	Длина листовой пластинки, см / Length of the leaf blade, cm	Ширина листовой пластинки, см / Width of the leaf blade, cm	Листовой индекс (длина / ширина) / Leaf index (length/width)
Контроль / Control	115,5	11,0	10,6	4,1	3,0	1,31
Вариант 1 / Option 1	168,5	11,1	15,5	5,2	3,8	1,41
Вариант 2 / Option 2	133,7	10,2	13,1	4,8	3,4	1,39
Вариант 3 / Option 3	136,3	11,2	12,9	4,6	3,4	1,34
Вариант 4 / Option 4	176,5	11,6	15,2	5,3	3,7	1,48
Вариант 5 / Option 5	183,2	9,4	20,3	6,4	4,5	1,42
Вариант 6 / Option 6	163,8	8,4	19,7	6,1	4,3	1,39
Вариант 7 / Option 7	141,3	10,4	13,7	5,0	3,6	1,37
НСР ₀₅	12,6	0,4	1,2	0,3	0,2	0,02

У экспериментальных кассетных растений ежевики отмечены высокие положительные корреляции ($R = 0,84 \dots 0,86$) площади листьев с такими морфологическими показателями, как средняя площадь листовой пластинки, ее длина, ширина и листовой индекс; при этом с количеством листьев не установлено существенной взаимосвязи ($R = -0,25$). Между значениями площади листовой пластинки и количества листьев растения выявлена отрицательная корреляция среднего уровня ($R = -0,72$).

Установлены положительные корреляции среднего уровня каждого из соответствующих показателей энергетических параметров вариантов искусственного освещения стеллажа (ФАР, PPFD, уровня освещенности) с площадью листьев ($R = 0,63...0,79$) и листовым индексом ($R = 0,67...0,80$).

В связи с отмеченными различиями развития листовой поверхности растений ежевики сорта Black Satin на этапе адаптации была изучена динамика накопления пигментов в листьях в середине опыта и к моменту его окончания. На 14-е сутки у растений во всех вариантах светодиодного досвечивания отмечено увеличение концентрации суммы хлорофиллов в 1,1-1,5 раза относительно контроля, каротиноидов – в 1,3-2,3 раза (таблица 3). Спустя две недели в контроле, в вариантах 1 и 7 установлено увеличение концентраций суммы хлорофиллов и каротиноидов соответственно на 7,9-22,3 % и 9,6-28,8 %, в то время как в остальных вариантах отмечено существенное снижение накопления пигментов в листьях, что косвенно свидетельствует о длительном постоянном действии высокого уровня освещенности на листовой аппарат. В научных источниках есть данные, что в условиях недостаточной интенсивности солнечного света у растений происходит повышенное накопление хлорофилла, каротиноидов, аминокислот и ароматических соединений. Так, с целью повышения качества листьев зеленого чая применяют искусственное затенение его растений, при этом синтез хлорофилла в листьях регулируется фоторецепторами в ответ на уровень освещенности и спектральный состав – яркий свет вызывает фотоингибирование и как правило подавляет синтез хлорофилла, желтый и синий диапазоны способствуют образованию хлорофилла *b*, а красный свет стимулирует синтез хлорофилла *a* [16, 17].

Таблица 3 – Накопление пигментов в листьях растений ежевики сорта Black Satin на этапе адаптации
Table 3 – Accumulation of pigments in leaves of the blackberry plants of the variety Black Satin at the adaptation stage

Вариант опыта / An experimental version	Концентрация пигментов в листьях, мг/г сухой массы / Concentration of pigments in leaves, mg/g dry weight					
	суммы хлорофиллов (a+b) / amounts of chlorophylls (a+b)			каротиноидов / carotenoids		
	на 14-е сутки / on the 14th day	на 28-е сутки / on the 28th day	изменение, % / change, %	на 14-е сутки / on the 14th day	на 28-е сутки / on the 28th day	изменение, % / change, %
Контроль / Control	0,61	0,66	7,9	0,08	0,10	28,8
Вариант 1 / Option 1	0,78	0,95	22,3	0,16	0,17	9,6
Вариант 2 / Option 2	0,82	0,71	-13,8	0,16	0,09	-42,9
Вариант 3 / Option 3	0,67	0,67	-0,9	0,10	0,07	-31,3
Вариант 4 / Option 4	0,73	0,44	-39,8	0,12	0,07	-40,3
Вариант 5 / Option 5	0,91	0,63	-30,0	0,17	0,06	-65,5
Вариант 6 / Option 6	0,93	0,86	-7,7	0,18	0,17	-3,9
Вариант 7 / Option 7	0,76	0,88	16,1	0,18	0,19	9,7
HCP ₀₅	0,06	0,08	–	0,03	0,02	–

Между каждым из морфометрических показателей листового аппарата растений ежевики к окончанию опыта и накоплением фотосинтетических пигментов выявлены разнонаправленные корреляции среднего и высокого уровня, причем наибольшие величины отмечены для концентрации пигментов на 14-е сутки опыта. Между концентрациями суммы хлорофиллов и каротиноидов в середине эксперимента и площадью листьев установлены коэффициенты корреляций на уровне 0,65 и 0,50 соответственно; с площадью листовой пластинки – 0,89 и 0,68. При сопоставлении значений концентрации хлорофиллов/ каротиноидов и количества листьев растения получены отрицательные корреляции ($R = -0,84$ и $-0,69$ соответственно).

По окончании четырех недель адаптации микрорастений ежевики в вариантах 4, 5, 7 светодиодного досвечивания имело место существенное увеличение средних значений сухой массы, суммированной из массы листьев, стеблевой части побегов и корней. В варианте 5 растения и их органы имели максимальную сухую массу в сравнении с контролем: общую – в 2,7 раза; листьев – в 2,2 раза; стеблевой части побегов – в 3,4 раза; корней – в 3,9 раза. Большинство минимальных коэффициентов вариации массы растений и их органов отмечены в вариантах 1, 6 и 7, что свидетельствует о наименьшей гетерогенности данных морфометрических показателей и способствует повышению хозяйственно-потребительских качеств посадочного материала вследствие его одномерности.

Во всех вариантах светодиодного досвечивания высота растений оказалась выше уровня контроля в 1,2-2,5 раз, установлены положительные корреляции высокого уровня ее значений с параметрами освещения – ФАР, PPFD, освещенности ($R = 0,84...0,87$), площадью листьев ($R = 0,86$) и сухой массой растения ($R = 0,80$) (таблица 4). При увеличении доли синего диапазона спектра отмечено снижение высоты растений ($R = -0,74$). Различие массовой доли листьев на растении между вариантами составило 1,1 раза; стеблей – 3,4 раза; корней – 2,0 раза. В контроле и всех вариантах наблюдалась отрицательная корреляция среднего уровня ($R = -0,60$) значений доли листьев и корней в общей массе растения. Установлены слабые корреляции разного знака между энергетическими параметрами вариантов искусственного освещения стеллажа (ФАР, PPFD, уровня освещенности) и массовой долей органов изучаемых растений ежевики – листьев ($R = -0,28...-0,30$) и корней ($R = 0,33...0,36$).

Таблица 4 – Морфометрические показатели кассетных растений ежевики сорта Black Satin по окончании 4 недель адаптации

Table 4 – Morphometric indicators of the cassette plants of the blackberry variety Black Satin after 4 weeks of adaptation

Вариант опыта / An experimental version	Высота растений, см / Height of plants, cm	Сухая масса листьев, г / Dry weight of leaves, g	Сухая масса корней, г / Dry weight of roots, g	Сухая масса растения, г / Dry weight of the plant, g	Доля органов, % сухой массы растения / The proportion of organs, % the dry mass of the plant	
					листьев / leaves	корней / roots
Контроль / Control	4,2	0,347	0,096	0,514	61,9	22,5
Вариант 1 / Option 1	7,9	0,358	0,104	0,608	58,8	16,8
Вариант 2 / Option 2	6,0	0,333	0,115	0,580	56,8	18,9
Вариант 3 / Option 3	5,2	0,350	0,152	0,612	58,0	22,1
Вариант 4 / Option 4	10,4	0,655	0,243	1,112	60,0	19,8
Вариант 5 / Option 5	8,9	0,780	0,374	1,400	57,5	24,5
Вариант 6 / Option 6	6,1	0,330	0,065	0,511	64,8	12,4
Вариант 7 / Option 7	7,3	0,521	0,172	0,873	59,5	19,5
НСП ₀₅	0,8	0,068	0,023	0,087	–	–

Между соответствующими значениями коэффициентов вариации каждого из рассматриваемых энергетических параметров освещения (ФАР, PPFD, уровня освещенности), массой всего растения, его листьев и стеблевой части побега установлены положительные корреляции очень высокого уровня: $R = 0,92...0,95$; коэффициенты корреляции показателей спектра с массой корневой системы оказались незначительно ниже: $R = 0,84...0,90$. Между значениями ФАР, PPFD и соотношением сухой массы листьев и корней экспериментальных растений ежевики отмечены отрицательные корреляции среднего уровня ($R = -0,45...-0,46$). Установлены отрицательные корреляции среднего уровня соответствующих значений сухой массы листьев, корней, целого растения и концентрацией фотосинтетических пигментов к окончанию эксперимента: суммы хлорофиллов $R = -0,48...-0,52$; каротиноидов $R = -0,40...-0,56$.

Заключение. Искусственное досвечивание микрорастений ежевики на этапе адаптации приводит к увеличению их основных биометрических показателей в 1,1-2,5 раза (высоты и сухой массы растений, общей площади листьев, линейных размеров и площади листовой пластинки) и снижению в 1,1-1,5 раза коэффициента вариации количества листьев относительно контроля. Во всех опытных вариантах через две недели культивирования растений происходит увеличение суммы концентраций хлорофиллов и каротиноидов. К окончанию опыта этот показатель вырос в контроле, вариантах 1 и 7, в остальных вариантах существенно снизилось накопление пигментов в листьях, что вызвано повышенной интенсивностью света. Высота растений прямо пропорционально зависела от параметров освещения – ФАР, PPFD, уровня освещенности ($R = 0,84...0,87$), от площади листьев ($R = 0,86$) и сухой массы растения ($R = 0,80$). Различия между вариантами досвечивания показателей доли листьев в общей массе растения составило 1,1 раза; стеблей – 3,4 раза; корневой системы – 2,0 раза. Установлена отрицательная корреляция среднего уровня ($R = -0,60$) массовой доли листьев и корней. Существенное увеличение сухой массы адаптируемых растений ежевики получено в вариантах 4, 5, 7, высоты побегов – в вариантах 4, 5. При увеличении доли синего диапазона спектра отмечено снижение высоты растений ($R = -0,74$). Максимально развитые растения отмечены в варианте 5 (PPFD = $191,43 \pm 14,13$ мкмоль/м²/с; уровень освещенности $13035,2 \pm 998,0$ люкс; R:G:B = 34,5:44,6:20,9 %), сухая масса которых превышала контроль в 2,7 раза; листьев – в 2,2 раза; стеблевой части побегов – в 3,4 раза; корней – в 3,9 раза. Наиболее одномерные растения ежевики получены в вариантах 1, 6, 7.

Conclusion. Artificial supplementary lighting of blackberry microplants during the adaptation stage promotes to 1.1-2.5 times increase in their main biometric parameters (plant height and dry mass, total leaf area, linear dimensions and leaf plate area) and 1.1-1.5 times decrease in the coefficient of variation in leaf number relative to the control. In all LED supplementary lighting variants, after two weeks of plant cultivation, an increase in the total chlorophylls and carotenoid concentrations occurs. By the end of the experiment, this parameter increased in the control, variants 1, and 7; in the remaining variants, pigment accumulation in the leaves significantly decreased, which is caused by increased light intensity. Plant height was directly proportional to the lighting parameters – PAR, PPFD, illuminance level ($R = 0.84...0.87$), leaf area ($R = 0.86$), and plant dry mass ($R = 0.80$). The difference in the mass fraction of leaves in the total plant dry weight between the LED variants was 1.1 times; stems – 3.4 times; root system – 2.0 times. A negative average correlation ($R = -0.60$) between the mass fraction of leaves and roots was noted. A significant increase in the dry mass of the adapted blackberry plants was obtained in variants 4, 5, 7, and the height of the shoots in variants 4 and 5. The negative correlation ($R = -0.74$) between the proportion of the blue range of the spectrum and the height of the plants was noted. In variant 5 (PPFD = 191.43 ± 14.13 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$; light intensity 13035.2 ± 998.0 lux; R:G:B = 34.5:44.6:20.9 %) an acceleration in the rate of plant development was detected, their organs had a maximum dry mass compared to the control: the whole plant – 2.7 times; leaves – 2.2 times; stem of shoots – 3.4 times; roots – 3.9 times. The most one-dimensional blackberry plants are noted in variants 1, 6, 7.

Библиографический список

1. Shah H. M. S., Singh Z., Kaur J., Hasan M. U., Woodward A., Afrifa-Yamoah E. Trends in maintaining post-harvest freshness and quality of *Rubus* berries. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2023. V. 22. Is. 6. Pp. 4600-4643.
2. Das J., Sharma U., Sharma S. Exploration of the descriptive phyto-geography of genus *Rubus*: A systematic review with global and Indian perspectives. Plant Science Today. 2025. V. 12(2). Pp. 1-12.
3. Sochor M., Trávníček B., Manning J. C. Bio systematic revision of the native and naturalized species of *Rubus* L. (*Rosaceae*) in the Cape Floristic Region, South Africa. S. Afr. J. Bot. 2018. V. 118. Pp. 241-259.
4. Gevrenova R., Zheleva-Dimitrova D., Balabanova V. The genus *Rubus* L.: An insight into phytochemicals and pharmacological studies of leaves from the most promising species. Pharmacia. 2024. V. 71. Pp. 1-12.
5. Ладыженская О. В., Симахин М. В., Крючкова В. А. Размножение ежевики Black Gem корневыми черенками. Вестник КрасГАУ. 2023. № 9. С. 33-39.
6. Ладыженская О. В., Самощенко Е. Г. Размножение сортов ежевики Thornfree, Evergreen Thornless, Sasanska Bestna методом зеленого черенкования с помощью различных регуляторов роста в кокосовом и торфяном субстратах. Вестник ландшафтной архитектуры. 2020. № 22. С. 23-26.
7. Regni L., Cesarini A., Micheli M., Proietti P. A bibliometric analysis of research on blackberry micropropagation. Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2025. V. 160. No. 33. Pp. 1-21.
8. Fathy H., El-Leel O., Amin M., AbuEl-Leel O. Micropropagation and biomass production of *Rubus fruticosus* L. (Blackberry) plant. Middle East Journal of Applied Sciences. 2018. V. 8. Is. 4. Pp. 1215-1228.
9. Titenkov A. V., Lushpin M. N., Lushpina T. N., Kotsareva N. V., Kryukov A. N. Adaptation of micro clones of blackberries to *in vivo* conditions. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021. V. 845. No. 012022. Pp. 1-4.
10. Dewir Y. H., Al-Ali A. M., Rihan H. Z. et al. Effects of artificial light spectra and sucrose on the leaf pigments, growth, and rooting of blackberry (*Rubus fruticosus*) microshoots. Agronomy. 2022. V. 13. Is. 1. No. 89. Pp. 1-13.

11. Гудь Л. А., Калашникова Е. А., Тараканов И. Г. Влияние света разного спектрального диапазона на морфогенез ежевики и малины *in vitro*. Лесохозяйственная информация: электронный сетевой журнал. 2019. № 2. С. 97-102. https://lhi.vniilm.ru/PDF/2019/2/LHI_2019_02-09-Gud.pdf
12. Дубровский М. Л., Папихин Р. В., Муратова С. А., Кружков А. В., Чурикова Н. Л. Влияние спектрального состава светодиодного досвечивания на рост и развитие микрорастений рода *Rubus* L. на этапе адаптации. Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38. № 9. С. 17-24.
13. Winternans J. E. G., De Mots A. Spectrophotometric Characteristics of Chlorophyll *a* and *b* and Their Phaeophytins in Ethanol. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1965. V. 109. Pp. 448-453.
14. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
15. Matskevych V., Yukhnovskiy V., Filipova L., Kravchenko N., Tupchii O., Matskevych Y. Photoautotrophic microclonal propagation of raspberry (*Rubus idaeus* L.) variety Delniwa. *Folia Forestalia Polonica. Series A. Forestry*. 2024. V. 66. Is. 3. Pp. 183-194.
16. Elango T., Jeyaraj A., Dayalan H., Arul S., Govindasamy R., Prathap K., Li X. Influence of shading intensity on chlorophyll, carotenoid and metabolites biosynthesis to improve the quality of green tea: A review. *Energy Nexus*. 2023. V. 12. No. 100241.
17. Wang F., Yan J., Chen X., Jiang C., Meng S., Liu Y., Xu T., Qi M., Li R. Light regulation of chlorophyll biosynthesis in plants. *Acta Hortic. Sin.* 2019. V. 46. Pp. 975-994.

References

1. Shah H. M. S., Singh Z., Kaur J., Hasan M.U., Woodward A., Afrifa-Yamoah E. Trends in maintaining post-harvest freshness and quality of *Rubus* berries. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2023. V. 22. Is. 6. Pp. 4600-4643.
2. Das J., Sharma U., Sharma S. Exploration of the descriptive phyto-geography of genus *Rubus*: A systematic review with global and Indian perspectives. *Plant Science Today*. 2025. V. 12 (2). Pp. 1-12.
3. Sochor M., Trávníček B., Manning J. C. Bio systematic revision of the native and naturalized species of *Rubus* L. (*Rosaceae*) in the Cape Floristic Region, South Africa. *S. Afr. J. Bot.* 2018. V. 118. Pp. 241-259.
4. Gevrenova R., Zheleva-Dimitrova D., Balabanova V. The genus *Rubus* L.: An insight into phytochemicals and pharmacological studies of leaves from the most promising species. *Pharmacia*. 2024. V. 71. Pp. 1-12.
5. Ladyzhenskaya O. V., Simakhin M. V., Kruchkova V. A. Propagating blackberry Black Gem by root cuttings. *Bulliten KrasSAU*. 2023. No. 9. Pp. 33-39.
6. Ladyzhenskaya O. V., Samoshchenkov E. G. Propagation of the blackberry varieties Thornfree, Evergreen Thornless, and Cacanska Bestrna by green cuttings using various growth regulators in coconut and peat substrates. *Landscape Architecture Bulletin*. 2020. No. 22. Pp. 23-26.
7. Regni L., Cesarini A., Micheli M., Proietti P. A bibliometric analysis of research on blackberry micropropagation. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2025. V. 160. No. 33. Pp. 1-21.
8. Fathy H., El-Leel O., Amin M., AbuEl-Leel O. Micropropagation and biomass production of *Rubus fruticosus* L. (Blackberry) plant. *Middle East Journal of Applied Sciences*. 2018. V. 8. Is. 4. Pp. 1215-1228.
9. Titenkov A. V., Lushpin M. N., Lushpina T. N., Kotsareva N. V., Kryukov A. N. Adaptation of micro clones of blackberries to *in vivo* conditions. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2021. V. 845. No. 012022. Pp. 1-4.
10. Dewir Y. H., Al-Ali A. M., Rihan H. Z. et al. Effects of artificial light spectra and sucrose on the leaf pigments, growth, and rooting of blackberry (*Rubus fruticosus*) microshoots. *Agronomy*. 2022. V. 13. Is. 1. No. 89. Pp. 1-13.
11. Good L. A., Kalashnikova E. A., Tarakanov I. G. Effect of light of different spectral range on the morphogenesis of blackberries and raspberries *in vitro*. *Forestry information: electronic online journal*. 2019. No. 2. Pp. 97-102. https://lhi.vniilm.ru/PDF/2019/2/LHI_2019_02-09-Gud.pdf
12. Dubrovsky M. L., Papikhin R. V., Muratova S. A., Kruzhkov A. V., Churikova N. L. Influence of the spectral composition of LED supplementary lighting on the growth and development of micro plants of the genus *Rubus* L. at the adaptation stage. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2024. V. 38. No. 9. Pp. 17-24.
13. Winternans J. E. G., De Mots A. Spectrophotometric Characteristics of Chlorophyll *a* and *b* and Their Phaeophytins in Ethanol. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1965. V. 109. Pp. 448-453.
14. Dospekhov B. A. Methodology of field trial. M.: Agropromizdat, 1985. 351 p.
15. Matskevych V., Yukhnovskiy V., Filipova L., Kravchenko N., Tupchii O., Matskevych Y. Photoautotrophic microclonal propagation of raspberry (*Rubus idaeus* L.) variety Delniwa. *Folia Forestalia Polonica. Series A. Forestry*. 2024. V. 66. Is. 3. Pp. 183-194.
16. Elango T., Jeyaraj A., Dayalan H., Arul S., Govindasamy R., Prathap K., Li X. Influence of shading intensity on chlorophyll, carotenoid and metabolites biosynthesis to improve the quality of green tea: review. *Energy Nexus*. 2023. V. 12. No. 100241.
17. Wang F., Yan J., Chen X., Jiang C., Meng S., Liu Y., Xu T., Qi M., Li R. Light regulation of chlorophyll biosynthesis in plants. *Acta Hortic. Sin.* 2019. V. 46. Pp. 975-994.

Информация об авторах

Папихин Роман Валериевич, кандидат сельскохозяйственных наук, проректор по научной и инновационной работе, ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ (Российская Федерация, 393760, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101), ORCID 0000-0001-8015-4242, e-mail: parom10@mail.ru

Дубровский Максим Леонидович, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией, ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ (Российская Федерация, 393760, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101), ORCID 0000-0003-0883-2867, e-mail: element68@mail.ru

Муратова Светлана Александровна, кандидат биологических наук, заведующий учебно-исследовательской лабораторией, ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ (Российская Федерация, 393760, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101), ORCID 0000-0003-0783-5927, e-mail: smuratova@yandex.ru

Кружков Андрей Викторович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории, ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ (Российская Федерация, 393760, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101), ORCID 0009-0005-7777-3305, e-mail: crujckov@yandex.ru

Чурикова Наталия Леонидовна, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник, ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ (Российская Федерация, 393760, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101), ORCID 0009-0006-0264-2682, e-mail: ch.natali19@mail.ru

Authors' Information

Папихин Роман Валериевич, Candidate of Agricultural Sciences, Vice-Rector for Research and Innovation Work, Michurinsk State Agrarian University (Russian Federation, 393760, Michurinsk, Internatziional'naya str., 101), ORCID 0000-0001-8015-4242, e-mail: parom10@mail.ru

Dubrovsky Maksim Leonidovich, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory, Michurinsk State Agrarian University (Russian Federation, 393760, Michurinsk, Internatziional'naya str., 101), ORCID 0000-0003-0883-2867, e-mail: element68@mail.ru

Muratova Svetlana Aleksandrovna, Candidate of Biological Sciences, Head of the Biotechnology Teaching and Research Laboratory, Michurinsk State Agrarian University (Russian Federation, 393760, Michurinsk, Internatziional'naya str., 101), ORCID 0000-0003-0783-5927, e-mail: smuratova@yandex.ru

Kruzikov Andrey Viktorovich, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Michurinsk State Agrarian University (Russian Federation, 393760, Michurinsk, Internatziional'naya str., 101), ORCID 0009-0005-7777-3305, e-mail: crujckov@yandex.ru

Churikova Nataliya Leonidovna, Candidate of Agricultural Sciences, Junior Researcher, Michurinsk State Agrarian University (Russian Federation, 393760, Michurinsk, Internatziional'naya str., 101), ORCID 0009-0006-0264-2682, e-mail: ch.natali19@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-21

THE STUDY OF THE INTERACTION OF *SERRATIA FICARIA* TP3 WITH PLANTS (PHYTOTOXICITY, PHYTOSTIMULATION AND COLONIZING ABILITY) AND PHYTOPATHOGENIC ORGANISMS

Starikova T. S., Belaya M. M.

Federal Research Center Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences" (SSC RAS)
Rostov-on-Don, Russian Federation

Corresponding author E-mail: tania-p@list.ru

Received 22.09.2025

Submitted 21.12.2025

The study was conducted as part of the project "Development of Integrated Industrial Biotechnological Methods of Aquaculture to Reduce the Pressure on Natural Aquatic Populations, Conservation of Biodiversity, Production of Ecologically Clean Products, and Restoration of Biological Aquatic Resources" FMRE-2025-0077.

Abstract

Introduction. Microorganisms play a crucial role in the ecology and functioning of agroecosystems. They participate in the biochemical cycles of essential elements, maintain soil fertility and structure, and directly or indirectly interact with plants. Plant resistance to diseases is largely determined by the interaction between the plant root system and the microorganisms that inhabit it. Microorganisms with antagonistic activity against pathogens are used to protect plants from phytopathogenic fungi and bacteria. Therefore, the development of new biopreparations for the control of phytopathogenic microorganisms is highly relevant for agricultural biotechnology and agroecology. **Object.** The aim of this study was to investigate the interactions of the *Serratia ficaria* TP3 strain with plants and phytopathogenic fungi for use in agricultural technology. **Materials and methods.** Microbiological methods were used during the study, including the isolation and counting of microorganisms, examination of their morphological, cultural, and physiological-biochemical properties, determination of the fungicidal activity of strains, and determination of their phytotoxicity and phytostimulating activity. Preliminary identification of microorganisms was conducted based on cultural, morphological, physiological, and biochemical characteristics. **Results and conclusion.** It was established that the *Serratia ficaria* TP3 strain exhibits both phytostimulating and fungicidal activity, which is most pronounced at a suspension concentration of 10^9 CFU/ml. The strain colonizes the surface of tomato roots, forming microcolonies. The inhibition zone ranges from 15 mm to 32 mm. This microorganism exhibits antagonistic and phytopathogenic properties and is promising for further research.

Keywords: microbial communities, microscopic fungi, antagonistic bacteria, biological protection of plants.

Citation. Starikova T. S., Belaya M. M. The study of the interaction of *Serratia ficaria* TP3 with plants (phytotoxicity, phytostimulation and colonizing ability) and phytopathogenic organisms. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 197-203 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-21.

Authors' contribution. All authors took part in the preparation and conduct of the study and analysis of its results. The presented version of the article was agreed with all authors.

Conflict of interest. All authors declared no conflicts of interest.

УДК 579.64

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ *Serratia ficaria* TP3 С РАСТЕНИЯМИ
(ФИТОТОКСИЧНОСТЬ, ФИТОСТИМУЛЯЦИЯ, КОЛОНИЗИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ)
И ФИТОПАТОГЕННЫМИ ОРГАНИЗМАМИ****Старикова Т. С., кандидат сельскохозяйственных наук****Белая М. М., кандидат биологических наук***Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный
исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук» (ЮНЦ РАН)
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация*

**Исследования проведены в рамках выполнения проекта «Разработка интегрированных
индустриальных биотехнологических методов аквакультуры для снижения нагрузки на при-
родные популяции гидробионтов, сохранения биоразнообразия, получения экологически чистой
продукции и восстановления биологического акваторесурса» FMRE-2025-0077.**

Актуальность. Роль микроорганизмов в экологии и жизнедеятельности агроэкосистемы чрезвычайно высока. Они участвуют в биохимических циклах важнейших элементов, поддерживают плодородие и структуру почвы, а также непосредственно или косвенно взаимодействуют с растениями. Устойчивость растений к заболеваниям во многом определяется результатом взаимодействия между корневой системой растений и населяющими ее микроорганизмами. Для защиты растений от фитопатогенных грибов и бактерий используют микроорганизмы с антагонистической активностью в отношении возбудителей заболеваний. Поэтому проблема создания новых биопрепаратов для борьбы с фитопатогенными микроорганизмами является весьма актуальной для сельскохозяйственной биотехнологии и агроэкологии. **Цель работы** – исследование особенностей взаимодействия штамма *Serratia ficaria* TP3 с растениями и фитопатогенными грибами для использования в агротехнологиях. **Материалы и методы.** В ходе проведения исследований были использованы: микробиологические методы, которые включают выделение и учет численности микроорганизмов; исследование морфологических, культуральных и физиолого-биохимических свойств микроорганизмов; определение фунгицидной активности штаммов; определение фитотоксичности и фитостимулирующей активности микроорганизмов. Предварительную идентификацию микроорганизмов проводили по культурально-морфологическим и физиолого-биохимическим признакам. **Результаты и выводы.** Установлено, что штамм *Serratia ficaria* TP3 проявляет одновременно фитостимулирующую и фунгицидную активность, которая наиболее выражена при концентрации суспензии 10^6 КОЕ/мл. Штамм заселяет поверхность корня томата, образуя микроколонии. Спектр зон ингибирования колеблется от 15 мм до 32 мм. Данный микроорганизм проявляет антагонистические и фитопатогенные свойства, и является перспективным для дальнейших исследований.

Ключевые слова: микробные сообщества, микроскопические грибы, бактерии-антагонисты, биологическая защита растений.

Цитирование. Старикова Т. С., Белая М. М. Исследование взаимодействия *Serratia ficaria* TP3 с растениями (фитотоксичность, фитостимуляция, колонизирующая способность) и фитопатогенными организмами. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 197-203. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-21.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Растения в настоящее время рассматриваются как холобионты, т.е. организмы, состоящие в тесном контакте с микроорганизмами, простейшими, во взаимовыгодном сообществе [1].

Организмы, которые обитают в большом количестве на растениях и внутри их, составляют фитобиом растений, который представлен, как правило, бактериями и микроскопическими грибами (Leach et al., 2017).

Фитобиом оказывает прямое влияние на функционирование растений, в том числе и на урожайность, поэтому исследование его состава и свойств является актуальным направлением в области изучения агроэкосистем [2].

Микробные сообщества почвы и ассоциаты растений демонстрируют все известные типы взаимодействия, из которых наиболее важными в агроэкологии являются симбиоз и антагонизм. Растения поставляют продукты питания бактериям. Микроорганизмы в свою очередь осуществляют возврат питательных элементов для растений, разлагая и потребляя в качестве субстратов отмершие растения. Симбиотические взаимоотношения способствуют фитостимуляции роста и развития растений.

Также существуют фитопатогенные микроорганизмы, которые наносят значительный ущерб сельскому хозяйству, что составляет 30 % потерь урожая, а в отдельные годы – до 60 %. Для борьбы с ними часто используют бактерии-антагонисты, которые подавляют фитопатогены и поддерживают иммунитет растений (Акимова, 2009). На основе бактерий-антагонистов изготавливают биопрепараты для защиты сельскохозяйственных культур от наиболее опасных заболеваний [3-7].

Биопрепараты на основе микроорганизмов безопасны или малотоксичны для человека и окружающей среды, не нарушают природных связей в биоценозе, обладают избирательным действием [8]. Использование биопрепаратов является неотъемлемой частью экологического земледелия, которое стремится к сокращению применения пестицидов и удобрений при выращивании сельскохозяйственных культур, сохраняя при этом высокую урожайность.

Органическое производство растений практикуется в 179 странах мира. В России работают 70 сертифицированных органических сельхозпроизводителей, которые используют около 0,1 % от общей площади сельскохозяйственных угодий страны. Количество зарегистрированных для использования биопрепаратов в мире – 300, в России всего 50 [9, 10]. Все это указывает на высокую актуальность разработки новых биопрепаратов на основе микроорганизмов для защиты растений и повышения урожайности выращиваемых культур.

В связи с этим, целью исследований являлось изучение взаимодействия штамма *Serratia ficaria* TP3 с растениями и фитопатогенными организмами для использования в агротехнологиях.

Материалы и методы. В ходе проведения исследований были использованы микробиологические методы, которые включают выделение и учет численности микроорганизмов [11, 12], исследование морфологических, культуральных и физиолого-биохимических свойств микроорганизмов, определение фунгицидной активности штаммов [6, 13], определение фитотоксичности и фитостимулирующей активности микроорганизмов [3, 4]. Предварительную идентификацию микроорганизмов проводили по культурально-морфологическим и физиолого-биохимическим признакам, используя определитель бактерий Д. Х. Берджи (1980).

Фитостимулирующие и фунгицидные свойства были изучены на культуре *Serratia ficaria* TP3. Видовую идентификацию данного штамма проводили путем секвенирования фрагментов гена 16S рРНК в ФГУП «ГосНИИГенетика». Раствор готовили на жидкой питательной среде (картофельный агар). Концентрацию клеток в культуральной среде определяли нефелометрически. Оптическая плотность каждой суспензии измерялась на ФЭКе (Практикум по микробиологии, 2005). Определение колонизирующей активности изучали по И. К. Курдишу и др. (2009). Взаимодействие с фитопатогенными грибами было изучено методом лунок. Фитопатогенные грибы были взяты из коллекции лаборатории ЮНЦ РАН.

Фунгицидную активность в различные фазы роста культуры определяли методом лунок на среде Чапека (Теппер, 2004).

Суспензию получали путем внесения 2-х петлей биомассы трехсуточной культуры *Serratia ficaria* TP3 со скошенного картофельного агара и вносили в 200 мл картофельного отвара. Культивировали на качалке при непрерывном перемешивании (120 об/мин) в течение 24 ч при температуре 28°C. Для приготвления рабочего раствора 50 мл суспензии вносили в 1 л картофельного отвара и культивировали на качалке в том же режиме. Титр клеток в готовом рабочем растворе составлял 10^9 КОЕ/мл. Подсчет количества клеток проводили методом посева разведений на картофельный агар (Теппер, 2004).

Для исследования взаимодействия *Serratia ficaria* TP3 с растениями использовали методы определения фитотоксичности и фитостимуляции. Токсичными считают культуры, вызывающие снижение всхожести семян или угнетение роста проростков и корней более чем на 30 % по сравнению с контролем.

Для выращивания были взяты следующие сельскохозяйственные культуры: томат (*Solanum lycopersicum* L., 1753), перец (*Capsicum annuum* subsp. *Grosum*), баклажан (*Solanum melongena* L., 1753), тыква (*Cucurbita pepo* L., 1753), кабачок (*Cucurbita pepo* subsp. *pepo*).

Семена тест-объектов по 100 шт. замачивали в рабочем растворе суспензии штамма. Часть семян замачивали в дистиллированной воде (контроль № 1), в картофельном отваре (контроль № 2), применяемом для приготвления рабочего раствора. Изучение картофельного отвара связано с определением его возможной фитотоксичности и роли в фитостимуляции роста и развития растений. Количество проросших семян, а также длина корня и стебля были приняты за 100 % (контроль № 1).

Фитостимулирующее воздействие штамма *Serratia ficaria* TP3 на растения исследовали на томате сорта «Победитель». Колонизирующую способность оценивали визуально после выращивания растений в установке и микроскопически по образованию микроколоний вокруг корней через 3, 6, 9 и 14 суток.

После 14 дней инкубации отбирали по одному растению в каждом варианте, стерильно отбирали корни и исследовали их на наличие микроколоний. Корни фиксировали и окрашивали смесью красителей (виктории голубой (1 %) и акридинового оранжевого (1:10000) в соотношении 1:40). Анализировали содержание микроколоний в различных участках корня.

Для определения фунгицидной активности были проведены исследования по изучению взаимодействия *Serratia ficaria* TP3 с фитопатогенными грибами. Использовали метод лунок (Методы выделения..., 2005), рабочий раствор *Serratia ficaria* TP3 с титром клеток 10^9 КОЕ/мл, и тест-культуры, выделенные из пораженного плода томата – *Penicillium restrictum* и *Penicillium citrinum*, из коллекции лаборатории ЮНЦ РАН – *Fusarium graminearum*, *Fusarium chlamydosporum*, *Gliocladium sp.*, *Verticillium sp.*, *Alternaria sp.*

Результаты и обсуждение. Фитотоксичность – это свойство веществ оказывать токсическое (ядовитое) действие на растения. Оно может проявляться в разных формах и влиять на здоровье и развитие растений на разных этапах их жизненного цикла. При создании биопрепаратов на основе микроорганизмов также необходимо проводить тестирование их токсичности по отношению к растениям. Данные по исследованию фитотоксичности штамма *Serratia ficaria* TP3 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Определение фитотоксичности по всхожести семян

Table 1 – Determination of phytotoxicity based on seed germination

Семена / Seeds	Томат / Tomato	Перец / Sweet pepper	Баклажан / Eggplant	Тыква / Pumpkin	Кабачок / Zucchini
Вариант / Option	Количество пророщенных семян, % / Number of germinated seeds, %				
Опыт / Test	95±1,7	92,1±0,5	91,2±1,3	97,3±1,6	96,1±0,5
Контроль 1 / Control 1	98,5±3,1	94,3±1,9	91,7±0,5	95,4±0,8	97,8±0,7
Контроль 2 / Control 2	96,1±0,2	91,2±0,3	93,1±0,4	98,1±0,2	94,2±0,2

Анализ полученных данных показывает, что всхожесть семян в опыте, контроле № 1 и № 2 определяется на уровне 91,2-98,5 %, что указывает на нетоксичность рабочего раствора *Serratia ficaria* TP3 и картофельного отвара для исследуемых объектов.

При дальнейшем проращивании семян измеряли длину корня и стебля для определения возможной фитостимуляции роста и развития семян при воздействии *Serratia ficaria* TP3. На рисунке 1 показана длина корня проростков в опыте и в контроле № 1 и № 2.

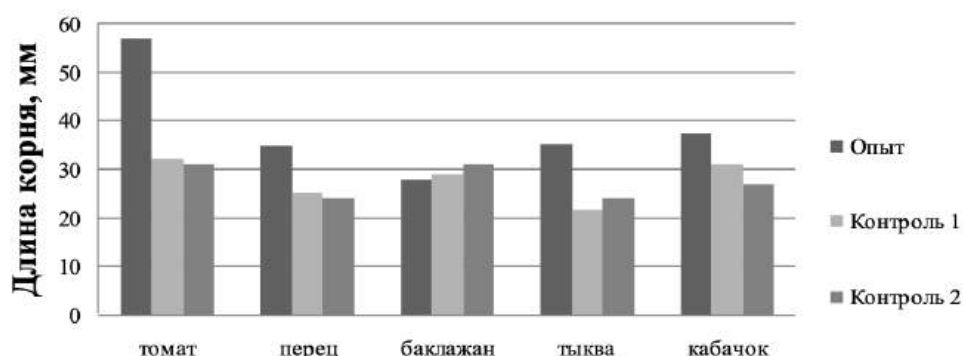


Рисунок 1 – Средняя длина корня проростков в опыте и контроле
Figure 1 – Average root length of the seedlings in the experiment and control

Анализ полученных данных показал, что средняя длина корня исследуемых тест-объектов в контроле № 1 варьирует от 24 мм до 31 мм и находится на одном уровне с контролем № 2 (23-31 мм). При обработке рабочим раствором *Serratia ficaria* TP3 ростовые

показатели значительно увеличиваются до 27-57 мм. Следовательно, картофельный отвар не оказывает фитостимулирующего влияния на исследуемые растения, в то время как рабочий раствор *Serratia ficaria* TP3 стимулирует их рост и развитие, особенно томатов (57,7 %).

Фитостимулирующее воздействие микроорганизмов на растения проявляется при заселении или колонизации ими ризопланы. При исследовании влияния различных концентраций штамма *Serratia ficaria* TP3 на интенсивность развития микроколоний на корнях томата получены следующие результаты (таблица 2).

Таблица 2 – Интенсивность развития микроколоний *Serratia ficaria* TP3 на корнях проростков томата
Table 2 – Intensity of development of *Serratia ficaria* TP3 microcolonies on the roots of tomato seedlings

Концентрация, КОЕ/мл / Concentration, CFU/ml	Сутки / Day			
	3	6	9	14
10^7	–	–	+	+
10^8	–	+	++	++
10^9	++	+++	+++	+++
10^{10}	–	+	++	++

Примечание – «+» слабое развитие; «++» умеренное развитие; «+++» интенсивное развитие; «–» отсутствие признака.

Развитие микроколоний наблюдалось при всех исследованных концентрациях, особенно интенсивно и в меньшие сроки (на 3 день) при концентрации *Serratia ficaria* TP3 10^9 КОЕ/мл (таблица 2).

При концентрации рабочего раствора 10^7 КОЕ/мл развитие микроколоний незначительное по всей поверхности корня. При концентрации 10^8 КОЕ/мл развитие колонии наблюдали с прикорневой до апикальной зоны. По всей поверхности корня, начиная с базальной части, затем апикальной и кончике наблюдали колонии *Serratia ficaria* TP3 при концентрации 10^9 КОЕ/мл с наибольшим развитием в средней зоне. Установлено, что при концентрации 10^{10} КОЕ/мл наблюдается небольшая численность микроколоний по всей поверхности и у основания корня томата.

Таким образом, заселение штаммом *Serratia ficaria* TP3 корня экспериментальных растений происходило при всех исследованных концентрациях рабочего раствора от 10^7 до 10^{10} КОЕ/мл. Наибольшая эффективность заселения наблюдается при внесении клеток *Serratia ficaria* TP3 в концентрации 10^9 КОЕ/мл.

Результаты исследования фунгицидной активности штамма *Serratia ficaria* TP3 представлены на рисунке 2.

Диаметр зоны ингибирования, мм

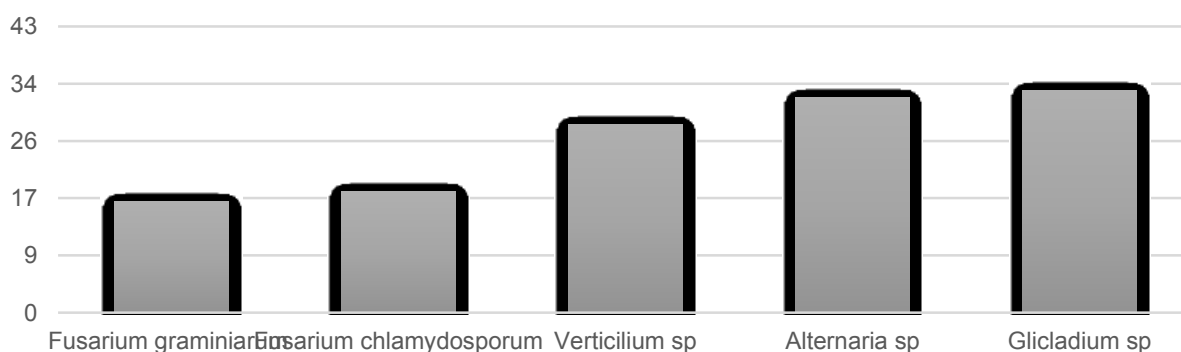


Рисунок 2 – Фунгицидная активность *Serratia ficaria* TP3 по отношению к тест-объектам
Figure 2 – Fungicidal activity of *Serratia ficaria* TP3 against test objects

Анализ полученных данных показал, что *Serratia ficaria* TP3 обладает фунгицидной активностью ко всем исследуемым тест-объектам. Спектр зон ингибирования колеблется от 15 мм до 32 мм. При микроскопировании отмечено, что у *Penicillium restrictum* наблюдается лизис мицелия и усиленное спороношение. У *Alternaria sp.* – аутолизис мицелия, у

Gliocladium sp. – усиленное спороношение. Особенный интерес представляет аутолизис мицелия *Alternaria* sp., так как при заболевании томатов альтернариозной пятнистостью, поражаются все наземные части растения: листья, черешки, плодоножки, чашелистики, плоды, стебли.

Штамм *Serratia ficaria* TP3 проявляет одновременно фитостимулирующую и фунгицидную активность, которая наиболее выражена при концентрации суспензии 10^9 КОЕ/мл. Штамм заселяет поверхность корня томата, образуя микроколонию.

Заключение. В ходе проведения исследований было установлено, что штамм *Serratia ficaria* TP3 проявляет одновременно фитостимулирующую и фунгицидную активность, которая наиболее выражена при концентрации суспензии 10^9 КОЕ/мл. Штамм заселяет поверхность корня томата, образуя микроколонию. Анализ полученных данных показал, что *Serratia ficaria* TP3 обладает фунгицидной активностью ко всем исследуемым тест-объектам. Спектр зон ингибирования колеблется от 15 мм до 32 мм. Данный микроорганизм проявляет антагонистические и фитопатогенные свойства, и является перспективным для дальнейших исследований с целью использования в агробиосистемах.

Conclusion. During the study, it was established that the *Serratia ficaria* TP3 strain exhibits both phytostimulating (49 %) and fungicidal activity, which is most pronounced at a suspension concentration of 10^9 CFU/ml. The strain colonizes the surface of tomato roots, forming microcolonies. Analysis of the obtained data showed that *Serratia ficaria* TP3 exhibits fungicidal activity against all test subjects. The inhibition zone ranges from 15 to 32 mm. This microorganism exhibits antagonistic and phytopathogenic properties and is promising for further research.

Библиографический список

1. Compant S., Samad A., Faist H., Sessitsch A. A review on the plant microbiome: Ecology, functions, and emerging trends in microbial application. J. Adv. Res. 2019. V. 19. Pp. 29-37.
2. Галиева Г. Ш., Галицкая П. Ю., Селивановская С. Ю. Растительный микробиом: происхождение, состав и функции. Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2023. Т. 165. № 2. С. 231-262.
3. Коротких А. И., Забубенина Ю. С., Домрачева Л. И., Шешегова Т. К. Бактерии р. *Bacillus* как антагонисты фитопатогенных грибов. Экология родного края: проблемы и пути их решения: материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Киров, 2021. Кн. 2. С. 26-29.
4. Бульмакова Д. С., Сокольников Л. В., Сулейманова А. Д. Бактериальные штаммы *Pantoea brenneri* в качестве биопрепаратов для защиты растений. Биохимия – основа наук о жизни: сборник тезисов 3-й Всероссийской школы-конференции. Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2024. С. 74-75.
5. Бульмакова Д. С., Шагиева Г. И., Иткина Д. Л., Ленина О. А., Шарипова М. Р., Сулейманова А. Д. Антагонистические штаммы *Pantoea brenneri* как средства защиты растений. Микология и фитопатология. 2023. Т. 57. № 5. С. 352-361.
6. Ямскова О. В., Курилов Д. В., Щуклина О. А. Водные дисперсии фуллера C60 и фуллереновых смесей как биопрепараты для ростостимуляции растений. Биотехнология. 2024. Т. 40. № 4. С. 84-95.
7. Домрачева Л. И., Ковина А. Л. Цианобактерии рода *Fischerella* как объект биотехнологии. Трансформация экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов: материалы международной научной конференции. Киров, 2019. С. 108-111.
8. Короткова А. В., Коротких А. И., Ковина А. Л. Использование различных биоагентов для подавления грибных инфекций *Lupinus angustifolius*. Развитие научной, творческой и инновационной деятельности молодежи: сборник статей по материалам XI Всероссийской (национальной) научно-практической конференции молодых ученых. Курган, 2019. С. 28-33.
9. Титова Ю. А., Краснобаева И. Л. Мультиконверсионные биопрепараты для защиты растений и возможности их использования в органическом земледелии. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2019. № 2 (99). С. 164-183.
10. Трефилова Л. В. Биопрепараты для бобовых растений. Развитие отраслей АПК на основе формирования эффективного механизма хозяйствования: сборник научных трудов V Международной научно-практической конференции. Киров: Вятский государственный агротехнологический университет (Киров), 2023. С. 278-284.
11. Черемисинов М. В., Метелёва А. О., Машковцева В. В. Влияние биологических препаратов на всхожесть и зараженность семян ячменя. Микроорганизмы и плодородие почвы: материалы I Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Киров, 2022. С. 167-171.
12. Феклистова П. А., Русских И. А. Оценка эффективности применения комплексных биопрепаратов для повышения урожайности растений. Актуальные проблемы науки и техники: сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. Уфа: ООО Научно-издательский центр «Вестник науки», 2020. С. 12-18.
13. Лысов А. К., Корнилов Т. В., Краснобаева И. Л. Совершенствование технологии применения биопрепаратов для защиты растений. Агрохимия. 2023. № 11. С. 71-77.

References

1. Compant S., Samad A., Faist H., Sessitsch A. A review on the plant microbiome: Ecology, functions, and emerging trends in microbial application. J. Adv. Res. 2019. Vol. 19. Pp. 29-37.
2. Galieva G. Sh., Galitskaya P. Yu., Selivanovskaya S. Yu. Plant microbiome: origin, composition, and functions. Scientific Notes of Kazan University. Series: Natural Sciences. 2023. Vol. 165. No. 2. Pp. 231-262.

3. Korotkikh A. I., Zabubenina Yu. S., Domracheva L. I., Sheshegova T. K. Bacteria of the genus *Bacillus* as antagonists of phytopathogenic fungi. Ecology of the Native Land: Problems and Solutions: Proceedings of the XVI All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. Kirov, 2021. V. 2. Pp. 26-29.
4. Bulmakova D. S., Sokolnikova L. V., Suleimanova A. D. Bacterial Strains of *Pantoea brenneri* as Biopreparations for Plant Protection. Biochemistry – the Foundation of Life Sciences: Collection of Abstracts of the 3rd All-Russian School-Conference. Kazan: Kazan (Volga Region) Federal University, 2024. Pp. 74-75.
5. Bulmakova D. S., Shagieva G. I., Itkina D. L., Lenina O. A., Sharipova M. R., Suleimanova A. D. Antagonistic strains of *Pantoea brenneri* as plant protection products. Mycology and Phytopathology. 2023. Vol. 57. No 5. Pp. 352-361.
6. Yamskova O. V., Kurilov D. V., Shchulina O. A. Aqueous dispersions of fullerene C60 and fullerene mixtures as biopreparations for plant growth stimulation. Biotechnology. 2024. Vol. 40. No 4. Pp. 84-95.
7. Domracheva L. I., Kovina A. L. Cyanobacteria of the genus *Fischerella* as an object of biotechnology. Transformation of ecosystems under the influence of natural and anthropogenic factors: Proceedings of the international scientific conference. Kirov, 2019. Pp. 108-111.
8. Korotkova A. V., Korotkikh A. I., Kovina A. L. Use of various biological agents to suppress fungal infections of *Lupinus angustifolius*. Development of scientific, creative and innovative activities of young people: a collection of articles based on the materials of the XI All-Russian (National) Scientific and Practical Conference of Young Scientists. Kurgan, 2019. Pp. 28-33.
9. Titova Yu. A., Krasnobaeva I. L. Multiconversion biopreparations for plant protection and the possibilities of their use in organic farming. Technologies and technical means of mechanized production of crop and livestock products. 2019. No 2 (99). Pp. 164-183.
10. Trefilova L. V. Biopreparations for leguminous plants. Development of agro-industrial complex branches based on the formation of an effective management mechanism: Collection of scientific papers of the V International Scientific and Practical Conference. Kirov: Vyatka State Agrotechnological University (Kirov), 2023. Pp. 278-284.
11. Cheremisinov M. V., Metelyova A. O., Mashkovtseva V. V. Effect of Biological Products on Germination and Infection of Barley Seeds. Microorganisms and Soil Fertility: Proceedings of the 1st All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. Kirov, 2022. Pp. 167-171.
12. Feklistova P. A., Russkikh I. A. Evaluation of the Efficiency of Using Complex Biological Products to Increase Plant Yields. Current Issues in Science and Technology: Collection of Articles Based on the Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Ufa: Scientific Publishing Center "Bulletin of Science", 2020. Pp. 12-18.
13. Lysov A. K., Kornilov T. V., Krasnobaeva I. L. Improving the Technology of Using Biological Products for Plant Protection. Agricultural chemistry. 2023. No 11. Pp. 71-77.

Информация об авторах

Старикова Татьяна Сергеевна, старший научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук» (Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41), ORCID 0000-0002-5985-5279, e-mail: tania-p@list.ru

Белая Мария Михайловна, старший научный сотрудник, кандидат биологических наук ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук» (Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41), ORCID 0000-0002-9875-4470, e-mail: mashabelaya83@yandex.ru

Authors' Information

Starikova Tatyana Sergeevna, Senior Researcher, Candidate of Agricultural Sciences, Federal Research Center Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 344006, Rostov-on-Don, Chekhov Ave., 41), ORCID 0000-0002-5985-5279, e-mail: tania-p@list.ru

Belaya Maria Mikhailovna, Senior Researcher, Candidate of Agricultural Sciences, Federal Research Center Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 344006, Rostov-on-Don, Chekhov Ave., 41), ORCID 0000-0002-9875-4470, e-mail: mashabelaya83@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-22

THE ECOLOGICAL GARDEN CREATING CONCEPT ON THE ESTATE TERRITORY TO PRESERVE BIODIVERSITY AND ECOSYSTEM SUSTAINABILITY¹Khamitova S. M., ¹Khamitov R. S., ²Fedchenko E. I.¹Russian State Agrarian University, Moscow Timiryazev Agricultural Academy
Moscow, Russian Federation²All-Russian Research Institute of Phytopathology
Bolshie Vyazemy, Moscow region, Russian Federation

Corresponding author E-mail: xamitowa.sveta@yandex.ru

Received 14.10.2025

Submitted 04.02.2026

Summary

The article presents the results of the study is the woody, shrubby and herbaceous vegetation of the parterre area of the estate "Khvalevskoye" in the Vologda region. All woody-shrub and herbaceous plants used in the landscaping are perennials, frost-resistant, requiring minimal maintenance, and are suitable for landscaping in the conditions of the middle zone. The use of evergreen coniferous trees and shrubs allows for maintaining the attractiveness of the estate's territory throughout the year. The flower compositions from the presented assortment are expressive, harmonious, and attract attention. When landscaping the estate territory, the main principles of creating an ecological garden were taken into account, which made it possible to preserve the biodiversity and sustainability of the ecosystem.

Abstract

Introduction. Landscaping of cultural and historical sites has its own characteristics. On the one hand, the preservation of the historical appearance of the territory, on the other, the emergence of new plant varieties, which, taking into account ecological and biological features, are best suited for landscaping, determine the range of plants used. **The object** of the study is the woody, shrubby and herbaceous vegetation of the parterre area of the estate "Khvalevskoye" in the Vologda region. **Materials and methods.** The study has been conducted on the territory of the Khvalevskoye estate in the Vologda region since 2015. When selecting the assortment of woody-shrub and herbaceous vegetation, natural-climatic and historical conditions, as well as ecological and biological features of plants were considered, including flowering periods and duration, longevity in plantings, stability in maintaining decorativeness, and ensuring continuous flowering. Plants were planted in mixed borders, flower beds, and strips. **Results and conclusion.** As a result of the study, the species composition of vegetation in the "Khvalevskoye" estate in the Vologda region was determined. All woody-shrub and herbaceous plants used in the landscaping are perennials, frost-resistant, requiring minimal maintenance, and are suitable for landscaping in the conditions of the middle zone. The use of evergreen coniferous trees and shrubs allows for maintaining the attractiveness of the estate's territory throughout the year. The flower compositions from the presented assortment are expressive, harmonious, and attract attention. When landscaping the estate territory, the main principles of creating an ecological garden were taken into account, which made it possible to preserve the biodiversity and sustainability of the ecosystem.

Keywords: landscaping, creation of park areas, park areas, ecological gardens, landscape architecture.

Citation. Khamitova S. M., Khamitov R. S., Fedchenko E. I. The ecological garden creating concept on the estate territory to preserve biodiversity and ecosystem sustainability. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 203-225 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-22.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 712.3+574

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО САДА НА ТЕРРИТОРИИ УСАДЬБЫ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ И УСТОЙЧИВОСТИ ЭКОСИСТЕМЫ

¹**Хамитова С. М.**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

¹**Хамитов Р. С.**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент

²**Федченко Е. И.**, младший научный сотрудник

¹ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»
г. Москва, Российская Федерация

²ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии»
р. п. Большие Вяземы, Московская область, Российская Федерация

Актуальность. Озеленение культурных и исторических объектов имеет свои особенности. С одной стороны, сохранение исторического облика территории, с другой, появление новых сортов растений, которые, учитывая эколого-биологические особенности, наилучшим образом подойдут для озеленения, определяют ассортимент используемых растений. **Объект.** Объектом исследования является древесно-кустарниковая и травянистая растительность партерной зоны усадьбы «Хвалевское» Вологодской области. **Материалы и методы.** Исследование проводили на территории усадьбы «Хвалевское» Вологодской области с 2015 года. При подборе ассортимента древесно-кустарниковой и травянистой растительности учитывали природно-климатические и исторические условия и эколого-биологические особенности растений, в том числе сроки и продолжительность цветения, долговечность в посадках, стабильность сохранения декоративности, обеспечение непрерывности цветения. Растения высаживали в миксбордеры, цветочные клумбы и рабатки. **Результаты и выводы.** В результате исследования определен видовой состав растительности усадьбы «Хвалевское» Вологодской области. Все древесно-кустарниковые и травянистые растения, использованные в озеленении, являются многолетними, морозостойкими, не требующими сложного ухода, подходят для озеленения в условиях средней полосы. Использование вечнозеленых хвойных деревьев и кустарников позволяет сохранить привлекательность территории усадьбы круглый год. Цветочные композиции из представленного ассортимента достаточно выразительные, гармоничные, привлекают внимание. При озеленении усадебной территории учтены главные принципы создания экологического сада, что позволило сохранить биоразнообразие и устойчивость экосистемы.

Ключевые слова: озеленение территорий, создание парковых зон, парковые зоны, экологические сады, ландшафтная архитектура.

Цитирование. Хамитова С. М., Хамитов Р. С., Федченко Е. И. Концепция создания экологического сада на территории усадьбы для сохранения биоразнообразия и устойчивости экосистемы. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 203-225. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-22.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Современное озеленение исторических объектов ландшафтной архитектуры является весьма сложной специфической задачей. Возникает необходимость приспособить историческую территорию к современным задачам и потребностям, не нарушив исторический облик объекта [1, 2].

При благоустройстве и озеленении исторических объектов особое внимание уделяется архитектурному оформлению, парковым территориям, садам, аллеям [3, 4].

Современные исследования включают изучение исторического состава древесных насаждений, их современное фитосанитарное состояние, выявление утраченных видов, возможности замены на современные аналоги [5-7]. При реконструкции и благоустройстве усадеб основной задачей является сохранение исторического облика территории, в том числе при обустройстве партерной зоны [8].

Как правило, партерная зона многих усадеб занята цветниками и декоративными кустарниками. Ассортимент растительности, используемый при озеленении, должен быть подобран в соответствии с особенностями каждого растения. Некоторые ученые отмечают недостаточное знание ландшафтными архитекторами эколого-биологических особенностей дендрологических объектов и принадлежности их к определенным зонам; использование в ландшафтных композициях декоративных растений с коротким периодом онтогенеза; недостаточное привлечение в озеленение позднелетне- и осеннецветущих многолетних растений [9, 10]. Необходимо знание ассортимента древесных, кустарниковых и травянистых видов, форм и сортов, перспективного для эколого-географических условий конкретного населенного пункта.

Многие ученые [11-21] провели исследования по изучению цветочного оформления отдельных городов, находящихся в разных климатических зонах. В цветочном оформлении городских территорий наиболее широко применяются культуры односезонного использования, в первую очередь красивоцветущие и декоративно-лиственные однолетние растения. В цветочно-декоративном оформлении рекреационных территорий преобладают многолетние культуры с выраженными объемными характеристиками, в том числе древесно-кустарниковые растения.

Важно правильно подобрать ассортимент цветов, соответствующих как эстетическим требованиям, так и условиям предполагаемого места выращивания. Наилучшие результаты цветочного оформления получаются при широком использовании многолетних цветущих декоративных растений. Подобранный соответствующий ассортимент, учитывая сроки цветения, мы получаем продолжительное цветение с ранней весны до поздней осени [22-26].

Карписонова Р. А. и другие исследователи [26] провели экологическое обоснование отбора декоративных многолетников для городского озеленения и выделили девять правил:

1. Растения должны соответствовать климатическим особенностям данного региона.
2. Предпочтение отдается настоящим многолетникам.
3. Рекомендуются многолетники, устойчивые к болезням и вредителям.
4. Основу ассортимента должны составлять стабильно декоративные виды и сорта.
5. Предпочтение отдается трудно выкапываемым, быстро разрастающимся растениям.
6. Не рекомендуется использовать эксклюзивные виды и сорта.
7. Не рекомендуются опасные для здоровья растения.
8. Количество почвопокровных, трудозатратных, плохо противостоящих сорнякам растений должно быть ограничено.
9. Не рекомендуется в городских цветниках общего пользования выращивать растения, нуждающиеся в ежегодном выкапывании.

Данные правила можно применять не только к городскому озеленению, но и к озеленению парков, садов, скверов малых населенных пунктов, придомовых территорий, санаториев, усадеб. При озеленении усадебной территории важным является правильный подбор ассортимента кустарниковой и травянистой растительности, а также качественное и своевременное проведение агротехнических мероприятий.

Кулик К. Н. и другие [27] исследовали объекты садово-паркового наследия – территории старинных усадебных садов и парков, расположенных на Приволжской возвышенности. Более высокий эстетико-рекреационный балл получили объекты озеленения населенных пунктов, которые имели художественно-декоративную растительность, размещенные на живописном рельефе с участием рек и прудов, сохранившие разное историческое наследие все то, что притягивает рекреантов и создает условия для их правильной охраны и использования.

Экологический сад – это устойчивый стиль ландшафтного дизайна, который основывается на принципах гармонии с природой. Современные тренды в озеленении участков подчеркивают важность гармонии с окружающей средой, минимального воздействия на природу и создания устойчивых экосистем.

Целью исследования является подбор растений для создания экологического сада на территории усадьбы «Хвалевское» с учетом экологических принципов, для сохранения биоразнообразия и устойчивости экосистем.

Главными принципами экологического сада являются:

1. Природные сады. Акцент на создание сада, максимально приближенного к природным условиям. Минимизация строгих форм и упор на естественную красоту растений.
2. Сохранение биоразнообразия. Выбор растений, которые привлекают насекомых-опылителей, птиц и полезных микроорганизмов, поддерживая локальную экосистему.
3. Устойчивые растения. Предпочтение отдается многолетникам и засухоустойчивым видам, снижающим потребление воды и уход.
4. Отказ от химии. Использование натуральных удобрений, органической мульчи и биопрепаратов для защиты растений.

Материалы и методы. Объектом исследования является древесно-кустарниковая и травянистая растительность партерной зоны усадьбы «Хвалевское» Вологодской области. Исследование проводили с 2015 года.

Усадьба «Хвалевское» расположена на северо-западе Вологодской области, в селе Борисово-Судское. Она является одним из памятников русской дворянской усадьбы Вологодской области. Усадьба – главный родовой дом представителей древних русских дворянских родов Качаловых и Долгово-Сабуровых. Она построена в 1854-1856 годах Н. А. Качаловым, тайным советником, губернатором города Архангельска в 1869-1870 годах, главой Таможни Российской империи. С 2009 года потомки семьи Качаловых начали реставрацию и реконструкцию усадьбы и прилегающей территории. Нами было проведено озеленение садово-парковой территории и партерной зоны усадьбы, с сохранением элементов классического ландшафтного дизайна и исторического вида партерной зоны. Подобранный ассортимент древесно-кустарниковой и травянистой растительности для экологической устойчивости территории и повышения биоразнообразия.

При озеленении усадьбы было необходимо учитывать ее историческое значение и оформление. В усадьбе «Хвалевское» сохранились исторические сведения только о высаживаемых деревьях. Например, 170-летний дуб черешчатый (лат. *Quercus robur*), произрастающий в усадьбе.

В то же время об обустройстве партерной зоны кустарниками и цветниками сведений нет, либо они представлены лишь частичным описанием или фотографиями. Поэтому при озеленении возникают сложности с подбором видов и сортов древесно-кустарниковой и травянистой растительности, вписывающихся в историческую концепцию усадьбы. Появляется возможность использования новых видов и сортов деревьев, кустарников и цветов в растительных композициях.

Целью озеленения партерной зоны усадьбы «Хвалевское» стало создание клумб непрерывного цветения. При подборе ассортимента учитывали природно-климатические условия и эколого-биологические особенности кустарниковой и травянистой растительности, в том числе сроки и продолжительность цветения, долговечность в посадках, стабильность сохранения декоративности, обеспечение непрерывности цветения и др. Растения высаживали в миксбордеры, цветочные клумбы и рабатки.

Перед посадкой растений были проведены исследования почвы. С помощью тест-системы «Агрохимик» определяли кислотность почв. На территории усадьбы почвы близкие к нейтральным или нейтральные (рН = 6,5), пригодные для создания большинства цветочных композиций из подобранного ассортимента растительности.

Результаты и обсуждение. В результате проведенного исследования определен видовой состав древесно-кустарниковой и травянистой растительности усадьбы «Хвалевское» Вологодской области. При озеленении использовали хвойные деревья и кустарники, декоративные кустарники и многолетние травянистые растения. Основными характеристиками для выбора того или иного вида и сорта растений являлись эколого-биологические особенности, декоративные свойства, фенология цветения, требования к агротехническому обслуживанию, а также потенциальная восприимчивость к болезням и вредителям.

Хвойные деревья и кустарники очень часто используют в озеленении в качестве акцента. Главным качеством хвойных является их декоративность круглый год, так как они относятся к вечнозеленым многолетним растениям. Они не сложные в уходе, хорошо переносят обрезку, морозостойки, долговечны. Существуют сорта разных размеров: от карликовых до больших деревьев, и форм: пирамидальные, шаровидные, конусовидные, узкие, раскидистые. Также могут иметь несколько цветов и оттенков. Хорошо сочетаются с декоративными кустарниками и цветами (рисунок 1).



Рисунок 1 – Сочетание хвойных и декоративных кустарников в усадьбе «Хвалевское»
Figure 1 – The combination of coniferous and decorative shrubs at the Khvalevskoe estate

В озеленении усадьбы были использованы такие хвойные деревья и кустарники, как *Picea pungens* Koster, *Thuja occidentalis* Rheingold, *Pinus mugo* Mops, *Pinus mugo* Mughus, *Pinus mugo* Winter Gold, *Juniperus horizontalis* Golden Carpet, *Juniperus squamata* Blue Spider, *Thuja occidentalis* Globosa (таблица 1).

Таблица 1 – Ассортимент хвойных деревьев и кустарников усадьбы «Хвалевское»
Table 1 – The assortment of coniferous trees and shrubs at the Khvalevskoe estate

Культура / Tree crops	Декоративные свойства / Decorative properties	Уход за растениями / Plant care	Болезни и вредители / Diseases and pests
Ель колючая Костер / <i>Picea pungens</i> Koster	- Вечнозелёное растение. - Голубоватый цвет хвои с серебристым, белым или зеленым подтоном. - Высокорослая, правильная коническая форма густой кроны. - Незрелые шишки фиолетового, зеленого, синего, красного или розового цвета. С возрастом становятся коричневыми. - Декоративность на протяжении всего года. / - An evergreen plant. - Bluish color of the needles with a silvery, white or green undertone. - Tall, regular horse shape of dense crown. - Immature cones of purple, green, blue, red or pink color. They turn brown with age. - Decorative throughout the year	- Солнечная сторона. - Умеренный полив (1 раз в 2 недели) первый год, затем только в периоды засухи. - Не нуждается в подкормках. - Санитарная обрезка два раза в течение года / - The sunny side. - Moderate watering (once every 2 weeks) for the first year, then only during periods of drought. - Does not need any top dressing. - Sanitary circumcision twice a year.	- Шютте; - Корневая гниль; - Еловая тля; - Еловый паутинный клещ / - Schutte - Root rot Spruce aphid Spruce spider mite

Культура / Tree crops	Декоративные свойства / Decorative properties	Уход за растениями / Plant care	Болезни и вредители / Diseases and pests
Туя западная Рейнгольд / <i>Thuja occidentalis Rheingold</i>	- Вечнозелёное растение. - Низкорослая. - Молодые растения имеют шаро-видную крону, с возрастом становится широко конусовидная или яйцевидная крона. - Золотисто-желтый цвет хвои, зимой с бронзовым оттенком. - Декоративность на протяжении всего года / - An evergreen plant. - short. - Young plants have a spherical crown; with age, a broadly conical or ovoid crown becomes - the golden yellow color of the needles, zee-mine with a bronze tint - Decorative throughout the year	- Солнечное место. - Умеренный полив (1 раз в 2 недели). - Подкормка при посадке, затем через 4 года 2 раза в сезон: весной спец-средства для семейства Кипарисовые, в июле органические удобрения. - Периодическая санитарная обрезка / - A sunny place. - Moderate watering (1 time in 2 weeks). - Top dressing during planting, then after 4 years 2 times a season: in spring, special means for the Cypress family, in July, organic fertilizers. - Periodic sanitary pruning	Грибное поражение; Туевая тля; Туевая ложнощитовка; Моль-пестрянка / Fungal infection Thuja aphids Thuja false shield Moth
Сосна горная Мопс / <i>Pinus mugo Mops</i>	- Вечнозелёное карликовое растение. - Плотная шаровидная зеленая крона. - Шишки от светло-коричневого до темно-коричневого оттенка в зависимости от времени года. - Декоративность на протяжении всего года / - An evergreen dwarf plant. - Dense spherical green crown - Cones from light brown to dark brown shade depending on the time of the year - Decorative throughout the year	- Солнечное место. - Регулярный полив молодым растениям, взрослое в дополнительных поливах не нуждается. - Подкормка первые 2 года минеральным удобрением. - Не требует обрезки / - A sunny place. - Regular watering of young plants, adults do not need additional watering. - Top dressing for the first 2 years with mineral fertilizer. - Does not require pruning	Склеродерриоз; Шютте; Тля; Щитовка сосновая / Scleroderriosis Schutte Aphid Scab pine
Сосна горная Мугус / <i>Pinus mugo Mughus</i>	- Вечнозелёное карликовое растение. - Крона в молодом возрасте стелющаяся подушковидная, позже пирамидальная, ветви направлены вверх. - Шишки сначала желто-коричневые, по мере созревания приобретают оттенок корицы. - Декоративность на протяжении всего года / - An evergreen dwarf plant. - The crown is cushion-shaped at a young age, later pyramidal, the branches are directed upwards. - The cones are yellow-brown at first, and as they mature, they turn cinnamon-colored. - Decorative throughout the year	- Солнечное место. - Регулярный полив молодым растениям, взрослое в дополнительных поливах не нуждается. - Подкормка первые 2 года минеральным удобрением. - Не требует обрезки / - A sunny place. - Regular watering of young plants, adults do not need additional watering. - Top dressing for the first 2 years with mineral fertilizer. - Does not require pruning	Склеродерриоз; Шютте; Тля; Щитовка сосновая / Scleroderriosis Schutte Aphid Scab pine

Культура / Tree crops	Декоративные свойства / Decorative properties	Уход за растениями / Plant care	Болезни и вредители / Diseases and pests
Сосна горная Винтер голд / <i>Pinus mugo</i> Winter Gold	- Вечнозелёное карликовое растение. - Плотная шаровидная крона, летом светло-зеленая, зимой – золотисто-желтая. - Коричнево-красные шишки. - Декоративность на протяжении всего года. / - An evergreen dwarf plant. - Dense spherical crown, light green foliage, golden yellow in winter. - Brown-red cones. - Decorative throughout the year.	- Солнечное место. - Регулярный полив молодым растениям, взрослое в дополнительных поливах не нуждается. - Подкормка первые 2 года минеральным удобрением. - Не требует обрезки. / - A sunny place. - Regular watering of young plants, adults do not need additional watering. - Top dressing for the first 2 years with mineral fertilizer. - Does not require pruning.	Склеродерриоз; Шютте; Тля; Щитовка сосновая / Scleroderriosis Schutte Pine shield
Можжевельник горизонтальный Голден Карпет / <i>Juniperus horizontalis</i> Golden Carpet	- Вечнозелёное карликовое растение. - Плотная стелющаяся крона, почвопокровный. - Хвоя ярко-желтая сверху и зелено-вато-желтая в глубине кроны. - Шишковые темно-синие. - Декоративность на протяжении всего года. / - An evergreen dwarf plant. - Dense creeping crown, ground cover. The needles are bright yellow above and greenish-yellow in the depths of the crown. - The cones are dark blue. - Decorative throughout the year.	- Солнечное место, легкая полутень. - Умеренный полив молодым растениям, взрослое в дополнительных поливах не нуждается. - Подкормка весной минеральным удобрением. / - Sunny location, light partial shade. - Moderate watering for young plants, adults does not need additional watering. - Fertilizing in spring with mineral fertilizer.	Ржавчина; Шютте; Биаторелловый рак; Тля; Еловый паутинный клещ; Галлицы; Пилильщик; Побеговая моль / Rust, schutte Biorellular cancer Spruce spider mite Gallica Pimpernel
Можжевельник чешуйчатый Блю Карпет / <i>Juniperus squamata</i> Blue Spider	- Вечнозелёное карликовое растение. - плотная широкая крона, почвопокровный. - Хвоя яркая, серебристо-голубого цвета. - Шишковые темно-синие. - Декоративность на протяжении всего года / - An evergreen dwarf plant. - Dense wide crown, ground cover. - The needles are bright, silver-blue in color. - The cones are dark blue. - Decorative throughout the year.	- Солнечное место, легкая полутень. - Умеренный полив молодым растениям, взрослое в период засухи. - Подкормка весной минеральным удобрением, осенью – калийно-фосфорная подкормка / - Sunny location, light partial shade. - Moderate watering of young plants, adults during the drought period. - Top dressing in spring with mineral fertilizer, in autumn – potassium-phosphorus top dressing	Ржавчина; Трахимиоз; Паутинный клещ; Щитовка; Тля; Минирующая моль / Rust Trachiomycosis Spider Mite Shield Mining moth

Культура / Tree crops	Декоративные свойства / Decorative properties	Уход за растениями / Plant care	Болезни и вредители / Diseases and pests
Туя шаровидная Глобоза / <i>Thuja occidentalis Globosa</i>	- Вечнозеленый карликовый кустарник. - Шаровидная форма. - Плотная хвоя в виде мелких чешуек меняет цвет в течение года от светло-зеленого весной до коричневого зимой. - Летом кустарник имеет темно-зеленый цвет. - Декоративность на протяжении всего года / - An evergreen dwarf shrub. - Spherical shape. - Dense needles in the form of small scales change color throughout the year from light green in spring to brown in winter. - In summer, the shrub has a dark green color. - Decorative throughout the year.	- Солнечные места, полутень. - Регулярный полив (1 раз в неделю). - Подкормка 1 раз в год с 3 года после посадки. - Обрезка весной / - Sunny places, partial shade. - Regular watering (1 time per week). - Top dressing once a year from 3 years after planting. - Pruning in spring.	- Фитофтора; - Туевая ложнощитовка; - Ржавчина; - Шютте / - Phytophthora - Thuja false shield - Rust - Schutte

Декоративные кустарники широко применяют при озеленении придомовой территории. Они неприхотливы в содержании, внешне привлекательны, красиво цветут и отличаются большим разнообразием, также достаточно морозостойки. Их применяют для оформления живых изгородей, в качестве одиночных посадок и групповых композиций. Агротехнический уход заключается в своевременном поливе, рыхлении, мульчировании, подкормке удобрениями, формовочной и санитарной обрезке, что способствует профилактике болезней и устойчивости к вредителям.

В озеленении партерной зоны усадьбы были использованы *Spiraea bumalda* Froebelii, *Berberis Berberis thunbergii* Admiration, *Philadelphus tenuifolius*, *Cornus alba* *Crataegus sanguinea*, *Rosa rugosa* «Hansa» (таблица 2).

Rosa rugosa высажена в ряд перед крыльцом дома и благодаря пышному и длительному цветению остается декоративной все лето и часть осени. Остальные кустарники высажены в миксбордерах около дома, *Spiraea bumalda* Froebelii также высажена вдоль тропинок, *Philadelphus tenuifolius* – вдоль забора (рисунок 2). Цветение кустарников начинается с мая и продолжается все лето. После завершения цветения они остаются декоративными за счет окраски листьев (*Cornus alba*, *Berberis Berberis thunbergii* Admiration), либо становятся зеленым фоном для многолетних цветов.



Рисунок 2 – Декоративные кустарники в усадьбе «Хвалевское»
Figure 2 – Ornamental shrubs at the Khvalevskoe estate

Таблица 2 – Ассортимент декоративных кустарников усадьбы «Хвалевское»
Table 2 – Assortment of ornamental shrubs at the Khvalevskoe estate

Культура / Tree crops	Декоративные свойства / Decorative properties	Уход за растениями / Plant care	Болезни и вредители / Diseases and pests
Спирея бумальда Фробели / <i>Spiraea bumalda Froebelii</i>	- Густая шаровидная формы куста. - Изгибающиеся ветви. - Листья темно-зеленые. - Насыщенно-малиновая окраска соцветий / - Thick spherical shape of the bush. - Bending branches. - The leaves are dark green. - Rich crimson color of the inflorescences.	- Солнечные места, полутень. - Умеренный полив. - Удобрения при посадке. - Весенняя обрезка для формирования кроны / - Sunny places, partial shade. - Moderate watering. - Fertilizers during planting. - Spring pruning to form the crown.	- Пятнистость листьев; - Мучнистая роса; - Вертициллёз; - Паутинный клещ; - Тля / Leaf spotting Powdery mildew Verticilliosis Spider mite
Барбарис Тунберга Адмирейшен / <i>Berberis thunbergii Admiration</i>	- Низкорослый кустарник. - Густая шаровидная формы куста. - Мелкие желтые с красным оттенком цветки. - Окраска листьев: весной – оранжевая, летом – красная, осенью – красно-оранжевая. - Ярко-красные ягоды остаются до середины зимы / - Low-growing shrub. - Thick spherical shape of the bush. - Small yellow flowers with a red shade. - Leaf color: orange in spring, red in summer, red-orange in autumn. - Bright red berries remain until the middle of winter.	- Солнечные места. - Регулярный полив. - Подкормка 1 раз в 3-4 года. - Санитарная обрезка / - Sunny places. - Regular watering. - Top dressing once every 3-4 years. - Sanitary pruning.	- Мучнистая роса; - Ржавчина; - Трахеомикозное увядание; - Усыхание побегов; Барбарисовая тля / - Powdery mildew Rust - Tracheomycosis withering - Drying of shoots - Barberry aphids
Чубушник тонколиственный / <i>Philadelphus tenuifolius</i>	- Пышные белые цветки собраны в обильные кистевидные соцветия. - Душистый запах / - Lush white flowers are gathered in abundant racemose inflorescences. - Fragrant smell.	- Солнечные места. - Регулярный полив. - Подкормка 2 раза в год. - Санитарная обрезка / - Sunny places. - Regular watering. - Top dressing 2 times a year. - Sanitary pruning.	- Паутинный клещ; Бобовая тля; Зеленый листовой долгоносик / - Spider mite, Bean aphid, Green leaf weevil
Дерен белый / <i>Cornus alba</i>	- Пышный кустарник с густой объемной кроной. - Большие зеленые листья со светлыми краями в осенний период становятся бордовыми. - Красная кора выглядит ярко зимой / - A lush shrub with a thick, voluminous crown. - Large green leaves with light edges turn maroon in autumn. - Red bark looks bright in winter.	- Полутень, тень. - Умеренный полив. - Подкормка 1 раз в год. - Обрезка 1 раз в год с 4 года / - Penumbra, shadow. - Moderate watering. - Top dressing once a year. - Pruning once a year from the age of 4.	- Тля; - Запядовидная щитовка; - Мучнистая роса / - Aphid scab - Powdery mildew
Боярышник крово-красный / <i>Crataegus sanguinea</i>	- Зеленая листва осенью становится с красным оттенком. - Белые цветки, собранные в соцветия. - Плоды красные, остаются на зиму / - The green foliage turns red in autumn. - White flowers gathered in inflorescences - The fruits are red, they stay for the winter.	- Солнечное место. - Не требует полива. - Подкормка 2 раза в год: весной, в начале формирования бутонов – настой коровяка, в начале осени – фосфорно-калийное удобрение, не содержащее азота / - A sunny place. - Does not require watering.	- Мучнистая роса; - Ржавчина; - Пятнистости листьев; - Филлостиктоз; - Яблоневая тля; - Листовертка; - Плодовые долгоносики; - Боярышница / - Powdery mildew

Культура / Tree crops	Декоративные свойства / Decorative properties	Уход за растениями / Plant care	Болезни и вредители / Diseases and pests
		- Top dressing 2 times a year: in spring, at the beginning of bud formation, mullein infusion, in early autumn, phosphorus-potassium fertilizer, which does not contain nitrogen.	Rust Leaf Spotting Phylostictosis Apple aphid Leafworm Fruit weevils Hawthorn
Шиповник морщинистый / <i>Rosa rugosa</i> Hansa	- Обильное цветение. - Большие бутоны розово-фиолетового оттенка. - Аромат насыщенный с ярко выраженными гвоздичными нотками. - Декоративность с весны до поздней осени / - Abundant flowering - Large pink-purple buds - The fragrance is rich with pronounced clove notes - Decorative from spring to late autumn	- Солнечное место, полутень. - Не требует дополнительного полива. - Подкормки 2 раза в год весной и осенью органические удобрения / - Sunny place, partial shade. - Does not require additional watering. - Top dressing 2 times a year in spring and autumn with organic fertilizers.	Тля; Цикадки; Мучнистая роса / Cicada Aphids Powdery mildew

Многолетники непрерывного цветения не часто используют в озеленении парков и скверов городов, однако они прекрасно подходят для озеленения придомовых территорий, садов, а также создания миксбордеров и клумб непрерывного цветения.

Для создания цветников из многолетних травянистых растений необходимо учитывать многие факторы. Во-первых, размер цветущих растений: низкорослые (до 30 см), среднерослые (30-80 см) и высокорослые (более 80 см), и ширину куста при разрастании. Во-вторых, сроки и продолжительность цветения: раннецветущие, среднецветущие и поздноцветущие. У одного вида могут быть сорта с разными сроками цветения. В-третьих, форму, размер и окраску листьев и цветков.

Среди многолетников выделяют декоративно-лиственные и красивоцветущие. Основными декоративными характеристиками декоративно-лиственных растений являются форма, фактура и окраска листьев. Помимо растений, листья которых окрашены в зеленый цвет различной тональности, имеются растения, для которых характерны листья сизоголубые, желтые, серебристые или иной окраски. Такие растения дают возможность создавать яркие декоративные композиции на фоне зелени однородных посадок. Наиболее распространен декоративно-лиственным растением является *Hosta*.

Красивоцветущие растения отличаются яркой окраской цветков, большим числом соцветий. У цветочных культур цветки в соцветиях могут быть мелкими и невзрачными или крупными и яркоокрашенными, правильной или неправильной формы. Отличаются размером, цветом, формой и отдельные части цветка (рисунок 3).



Рисунок 3 – Многолетники непрерывного цветения в усадьбе «Хвалеvское»
Figure 3 – Flower bed continuously flowering plants at the Khvalevskoe estate

При создании клумб непрерывного цветения на территории штата были использованы многолетние растения, перечисленные в таблице 3.

Таблица 3 – Ассортимент многолетней травянистой растительности усадьбы «Хвалеvское»
Table 3 – The Assortment of Perennial Herbaceous Plants at the "Khvalevskoye" estate

Культура / Crops	Декоративные свойства / Decorative properties	Уход за растениями / Plant care	Болезни и вредители / Diseases and pests
Хоста Грин Фонтейн / <i>Hosta Green Fountain</i>	- Большие зеленые листья. - Цветочки лавандового цвета / - Big green leaves. - Lavender flowers.	- Полутень. - Частый полив. - Подкормка 3 раза в сезон до середины июля. - Мульчирование торфом, хвоей, скошенной травой. - Осенью обрезка до 10 см / - Partial shade. - Frequent watering. - Top dressing 3 times a season until mid-July. - Mulching with peat, needles, and mown grass. - Pruning up to 10 cm in autumn.	Филлостиктоз; Серая гниль; Склеротиния; Слизни; Стеблевые нематоды / Phylostictosis Gray rot Sclerotinia Slugs Stem nematodes
Хоста гибридная Климэкс / <i>Hosta hybride Climax</i>	- Листья сильно рифлёные, тёмно-зелёные с красивой золотистой каймой. - Цветки лавандовые / - The leaves are strongly fluted, dark green with a beautiful golden border. - Lavender flowers.	- Солнечные места. - Частый полив. - Подкормка 3 раза в сезон до середины июля. - Мульчирование торфом, хвоей, скошенной травой. - Осенью обрезка до 10 см / - Sunny places. - Frequent watering. - Top dressing 3 times a season until mid-July. - Mulching with peat, needles, and mown grass. - Pruning up to 10 cm in autumn.	Филлостиктоз; Серая гниль; Склеротиния; Слизни; Стеблевые нематоды / Phylostictosis Gray rot Sclerotinia Slugs Stem nematodes
Хоста ланцетолистная / <i>Hosta lancifolia</i>	- Листья яйцевидно-ланцетные, плотные, зеленые, блестящие. - Цветки фиолетовые с темными полосками с внутренней стороны у основания цветка / - The leaves are ovate-lanceolate, dense, green, shiny. - The flowers are purple with dark stripes on the inside at the base of the flower.	- Полутень. - Частый полив. - Подкормка 3 раза в сезон до середины июля. - Мульчирование торфом, хвоей, скошенной травой. - Осенью обрезка до 10 см / - Partial shade. - Frequent watering. - Top dressing 3 times a season until mid-July. - Mulching with peat, needles, and mown grass. - Pruning up to 10 cm in autumn.	Филлостиктоз; Серая гниль; Склеротиния; Слизни; Стеблевые нематоды / Phylostictosis Gray rot Sclerotinia Slugs Stem nematodes

Культура / Crops	Декоративные свойства / Decorative properties	Уход за растениями / Plant care	Болезни и вредители / Diseases and pests
Астильба Арендса / <i>Astilbe arendsii</i>	- Ажурные маленькие цветочки, собранные в верхушечные соцветия. - Цветки красного, розового, белого, сиреневого и лилового цвета. - Форма соцветий ромбическая, метельчатая, пирамидальная / - Delicate little flowers gathered in apical inflorescences. - The flowers are red, pink, white, lilac and purple. - The shape of the inflorescences is rhombic, paniculate, pyramidal.	- Полутень. - Регулярный полив. - Подкормка 3 раза за лето / - Partial shade, - Regular watering, - Top dressing 3 times per summer.	Галловая нематода; Земляничная нематода; Слюнявая пенница / Gall nematode Strawberry nematode The Slobbery Penny
Монарда двойчатая / <i>Monarda didyma</i>	- Цветки мелкие, трубчатые, собраны в густые головчатые соцветия по несколько штук на стебле. - Цвета: ярко красные, розовые, фиолетовые, белые. - Листья и побеги испускают приятный аромат бергамота / - The flowers are small, tubular, collected in dense head-shaped inflorescences several pieces per stem - Colors: bright red, pink, purple, white. - The leaves and shoots emit a pleasant scent of bergamot.	- Солнечные места, полутень. - Регулярный полив. / - Sunny places, partial shade. - Regular watering.	Мучнистая роса; Ржавчина / Powdery mildew Rust
Монарда Кардинал / <i>Monarda hybrida Kardinal</i>	- Цветки мелкие, трубчатые, собраны в густые головчатые соцветия по несколько штук на стебле. - Цвет пурпурный. - Листья темно-зеленые волнистые. Испускают лимонно-мятный аромат / - The flowers are small, tubular, collected in dense head-shaped inflorescences several pieces per stem - The color is purple - Leaves are dark green wavy. They exude a lemon-mint fragrance.	- Солнечные места, полутень. - Регулярный полив / - Sunny places, partial shade. - Regular watering.	Мучнистая роса; Ржавчина / Powdery mildew Rust
Дельфиниум / <i>Delphinium consolida</i>	- Многочисленные цветки, расположенные по высокорослому стеблю. - Окраска цветов голубая, фиолетовая, розовая, белая / - Numerous flowers arranged on a tall stem. - The colors of the flowers are blue, purple, pink, white.	- Солнечные места, полутень. - Регулярный полив. - Устойчив к засухе. - Подкормка в начале и в конце цветения / - Sunny places, partial shade. - Regular watering. - Resistant to drought - Top dressing at the beginning and at the end of flowering.	Мучнистая роса; Пятнистости листьев; Грибные болезни; Тля / Powdery Mildew Leaf spots Fungal diseases Aphids
Гвоздика садовая Шабо / <i>Dianthus caryophyllus var. Schabaud</i>	- Крупный цветок с широкой цветовой палитрой – от нежно-розовых, белых, желтых до ярко-красных или фиолетовых. - Выраженный аромат / - A large flower with a wide range of colors – from pale pink, white, yellow to bright red or purple. - Pronounced aroma.	- Солнечные места. - Умеренный полив / - Sunny places, - Moderate watering	Альтернариоз; Ржавчина; Тля; Клещи; Трипсы / Alternariosis Rust Aphid Mites Thrips

Культура / Crops	Декоративные свойства / Decorative properties	Уход за растениями / Plant care	Болезни и вредители / Diseases and pests
Гвоздика турецкая / <i>Dianthus barbatus</i>	- Яркие цветки собраны в пышные соцветия. - Цвет лепестков - от белоснежного до розового и красного. - Контрастный окрас, сочетающий в себе 2 оттенка. - Выраженный аромат / - Bright flowers are gathered in lush inflorescences - The color of the petals ranges from snow-white to pink and red. - Contrasting color, combining 2 shades. - Pronounced aroma.	- Солнечные места. - Умеренный полив. - Подкормка при появлении бутонов / - Sunny places. - Moderate watering. - Top dressing when the buds appear.	Фузариоз; Грибные болезни / Fusarium Fungal diseases
Гвоздика травянка / <i>Dianthus deltoides</i>	- Почвопокровный. - Маленькие цветки розового или лилового окраса. - Выраженный аромат / - Groundcover - Small pink or purple colored flowers. - Pronounced aroma.	- Солнечные места. - Умеренный полив. - Подкормка комплексным удобрением весной / - Sunny places, - Moderate watering, - Fertilizing with a complex fertilizer in spring.	Альтернариоз; Ржавчина; Грибные болезни; Медведки; Уховертки / Alternariosis Rust Fungal diseases Earwigs
Гвоздика садовая / <i>Dianthus caryophyllus</i>	- Большой цветок с широкой цветовой палитрой – от нежно-розовых до ярко-красных или фиолетовых. - Выраженный аромат / - A large flower with a wide color palette - from pale pink to bright red or purple. - Pronounced aroma.	- Солнечные места. - Умеренный полив. - Подкормка при появлении бутонов / - Sunny places, - Moderate watering, - Top dressing when the buds appear.	Альтернариоз; Фузариоз; Ржавчина / Alternariosis Fusarium Rust
Лилия Лотус Пьюр / <i>Lotus Pure</i>	- Крупный белоснежный цветок с малиновыми крапинками формы лотоса. - Стойкий сладкий аромат / - A large snow-white flower with crimson spots shaped like a lotus. - Persistent sweet fragrance.	- Солнечные места, полутень. - Умеренный полив. - Подкормка комплексными минеральными удобрениями в начале весны, в период бутонизации, в середине и в конце лета / - Sunny places, partial shade. - Moderate watering - Top dressing with complex mineral fertilizers in early spring, during budding, in the middle and at the end of summer.	Серая гниль; Ржавчина; Паутинные клещи; Трещалки / Gray rot Rust Spider mites Rattles
Лилия Вето / <i>Lotus Vetto</i>	- Крупные цветки с заостренными лепестками, у которых волнистые края. - Цвет: розовый оттенок, с тонкой белой каймой и мелким коричневым крапом / - Large flowers with pointed petals, which have wavy edges - Color: pink shade, with a thin white border and small brown speckles.	- Солнечные места, полутень. - Умеренный полив. - Подкормка комплексными минеральными удобрениями в начале весны, в период бутонизации, в середине и в конце лета / - Sunny places, partial shade. - Moderate watering - Top dressing with complex mineral fertilizers in early spring, during budding, in the middle and at the end of summer.	Серая гниль; Ржавчина; Паутинные клещи; Трещалки / Gray rot Rust Spider mites Rattles

Культура / Crops	Декоративные свойства / Decorative properties	Уход за растениями / Plant care	Болезни и вредители / Diseases and pests
Лилия Замбези / <i>Lilium Zambesi</i>	- Крупный белый с тонкой желто-зеленой звездой в центре цветок. - Приятный аромат / - A large white flower with a thin yellow-green star in the center. - Pleasant aroma.	- Солнечные места, полутень. - Умеренный полив. - Подкормка комплексными минеральными удобрениями в начале весны, в середине и в конце лета / - Sunny places, partial shade. - Moderate watering - Top dressing with complex mineral fertilizers in early spring, in the middle and at the end of summer.	Серая гниль; Ржавчина; Паутинные клещи; Трещалки / Gray rot Rust Spider mites Rattles
Пион Осло / <i>Paeonia Oslo</i>	- Низкорослый. - Одиночные крупные цветки малинового окраса с желтой серединкой / - Short - Single large flowers of crimson color with a yellow center.	- Солнечные места, полутень. - Умеренный полив. - Подкормка в период цветения / - Sunny places, partial shade. - Moderate watering. - Top dressing during the flowering period.	Серая гниль; Мучнистая роса; Ржавчина / Gray rot Powdery mildew Rust
Пион Афтер Глоу / <i>Paeonia After Glow</i>	- Цветы розовые, полумахровые / - The flowers are pink, semi-double.	- Солнечные места, полутень. - Умеренный полив. - Подкормка в период цветения / - Sunny places, partial shade. - Moderate watering. - Top dressing during the flowering period.	Серая гниль; Мучнистая роса; Ржавчина; Тля / Gray rot Powdery mildew Rust Aphids
Пион Луи Ван Хутте / <i>Paeonia Louis Van Houtte</i>	- Цветок полумахровый, розово-малиновый с серебристым оттенком / - The flower is semi-double, pink-crimson with a silver tint.	- Солнечные места. - Умеренный полив. - Подкормка минеральными удобрениями 3 раза за сезон / - Sunny places. - Moderate watering. - Fertilizing with mineral fertilizers 3 times per season.	Серая гниль; Мучнистая роса; Ржавчина; Тля / Gray rot Powdery mildew Rust Aphids
Флокс метельчатый / <i>Phlox paniculata</i>	- Бутоны пышные, шарообразной формы. - Разнообразие оттенков. - Сильный аромат. - Продолжительное цветение / - The buds are lush, spherical in shape. - A variety of shades. - Strong fragrance. - Long-lasting flowering.	- Солнечные места. - Умеренный полив. - Подкормка весной и в период цветения / - Sunny places. - Moderate watering. - Top dressing in spring and during the flowering period.	Мучнистая роса; Ржавчина; Пятнистости листьев; Гусеницы; Слизни; Слюнявая пенница / Powdery mildew Rust Leaf spotting Tracks Slugs, The Slobbery Penny

Культура / Crops	Декоративные свойства / Decorative properties	Уход за растениями / Plant care	Болезни и вредители / Diseases and pests
Флокс Коко Шанель / <i>Phlox paniculata</i> Koko Shanel	- Карликовый. - Окрас цветов персиковый. - Продолжительное цветение / - Dwarf. - The color of the flowers is peach. - Long-lasting flowering.	- Солнечные места. - Умеренный полив. - Подкормка весной и в период цветения / - Sunny places. - Moderate watering. - Top dressing in spring and during the flowering period.	Мучнистая роса; Ржавчина; Пятнистости листьев; Гусеницы; Слизни; Слюнявые пенницы / Powdery mildew Rust Leaf spotting The tracks Slugs, Slobbery pennies
Гелениум Сомбреро Элит / <i>Helenium hybr.</i> Sombbrero Elit	- Цветок ромашковидный. - Окрас коричневый, красный, пурпурный, оранжевый или желтый / - The flower is chamomile-shaped. - Color brown, red, purple, orange or yellow.	- Солнечные места. - Регулярный полив. - Подкормка 3 раза в год / - Sunny places. - Regular watering. - Top dressing 3 times a year.	Улитки / Snails
Гайлардия Аризона Сан / <i>Gaillardia</i> Arizona Sun	- Цветки похожи на громадные красные, оранжевые, жёлтые ромашки с зазубринами по краям. - После цветения образуются колючие пушистые шарики с семенами. - Декоративно на протяжении всего сезона / - The flowers look like huge red, orange, and yellow daisies with jagged edges. - After flowering, prickly fluffy balls with seeds are formed. - Decorative throughout the season.	- Солнечные места. - Редкий полив. - Подкормка 3 раза за сезон: ранней весной, во время бутонизации и начала цветения, за месяц до наступления первых заморозков / - Sunny places. - Rare watering. - Top dressing 3 times per season: in early spring, during budding and the beginning of flowering, a month before the onset of the first frost.	Мучнистая роса; Серая гниль; Тля / Powdery mildew Gray rot Aphids
Гайлардия гибридная / <i>Gaillardia x hybrida</i>	- Цветки похожи на громадные красные, оранжевые, жёлтые ромашки с зазубринами по краям. - После цветения образуются колючие пушистые шарики с семенами. - Декоративно на протяжении всего сезона / - The flowers look like huge red, orange, and yellow daisies with jagged edges. - After flowering, prickly fluffy balls with seeds are formed. - Decorative throughout the season.	- Солнечные места. - Редкий полив. - Подкормка 3 раза за сезон: ранней весной, во время бутонизации и начала цветения, за месяц до наступления первых заморозков / - Sunny places. - Rare watering. - Top dressing 3 times per season: in early spring, during budding and the beginning of flowering, a month before the onset of the first frost.	Мучнистая роса; Серая гниль; Тля / Powdery mildew Gray rot Aphids

Культура / Crops	Декоративные свойства / Decorative properties	Уход за растениями / Plant care	Болезни и вредители / Diseases and pests
Армерия при- морская Роуз / <i>Armeria mari- ma</i> Rosea	- Вечнозеленое низкорослое растение. - Зимой выглядит темно-зеленой подушечкой с листьями как мягкие иголки. - Цветки белые, розовые, красные. / - An evergreen low-growing plant. - In winter, it looks like a dark green cushion with leaves like soft needles. - The flowers are white, pink, red.	- Солнечные места. - Редкий полив. - Подкормка не требуется / - Sunny places. - Rare watering. - No top dressing is required.	Пятнистости листьев; Корневая гниль / Leaf spotting Root rot
Роза Нина Вейбул / <i>Rósa Nina</i> Weibull	- Темно-красные махровые цветки. - Душистый аромат / - Dark red double flowers. - Fragrant fragrance.	- Солнечные места. - Умеренный полив. - Подкормка азотом – весной. фосфором и калием – летом. - На зиму рекомендуется укрывать / - Sunny places. - Moderate watering. - Top dressing with nitrogen in spring. phosphorus and potassium in summer. - It is recommended to cover for the winter.	Пятнистости листьев; Щитовка; Трипсы; Слюнявка / Leaf spotting Thrips Shield The bib
Роза флори- бунда Юбилей Санкт- Петербурга / <i>Rosa</i> <i>floribunda</i> Jubi- le De St. Pe- tersbourg	- Двухцветный белый с малиновыми краями бутон, переход цвета плавный. - Легкий сладковатый аромат / - A two-tone white bud with crimson edges, the color transition is smooth. - Light sweet aroma.	- Солнечные места. - Регулярный полив. - Подкормка 3 раза в год: в период вегетации подкармливают 2 раза коровяком и азотными удобрениями. осенью суперфосфатными удобрениями. - На зиму рекомендуется укрывать / - Sunny places. - Regular watering - Top dressing 3 times a year: during the growing season. they are fed 2 times with mullein and nitrogen fertilizers. in autumn with superphosphate fertilizers. - It is recommended to cover for the winter.	Мучнистая роса; Черная пятни- стость; Ржав- чина; Серая гниль; Медведка; Слюнявая пенница / Powdery mildew Black spot, Rust, Gray rot The Drooling Penny Bear
Роза флори- бунда Рэд Леонардо да Винчи / <i>Rosa floribun- da</i> Red Leo- nardo da Vinci	- Темно красные густомахровые цветки. - Умеренный фруктовый аромат / - Dark red thick-masked flowers. - Moderate fruity aroma.	- Солнечные места, легкая полутень. - Регулярный полив. - Подкормка до 6 раз в сезон. В качестве удобрения используются: перегной: компост: минеральные составы (мочевина, селитра. калийные удобрения) / - Sunny places, light partial shade. - Regular watering. - Top dressing up to 6 times a season. The following fertilizers are used: humus: compost; mineral compounds (urea. saltwater, potash fertilizers).	Черная пятнистость; Хлороз; Щитовка; Трипсы; Слюнявая пенница / Black spotting Chlorosis The shield Thrips

Культура / Crops	Декоративные свойства / Decorative properties	Уход за растениями / Plant care	Болезни и вредители / Diseases and pests
Седум Отем Файер / <i>Sedum Autumn Fire</i>	- Большие розово-медные соцветия. - Листва и соцветия остаются привлекательными в течение всей зимы. / - Large pink-copper inflorescences. - Foliage and inflorescences remain attractive throughout the winter.	- Солнечное место. - Полив только в период сильного пересыхания. - В удобрениях не нуждается / - A sunny place. - Watering only during periods of severe drying. - It doesn't need fertilizers.	- Пилильщики; - Тля; - Паутинный клещ; - Зеленая листовёртка / - Sawflies - Aphid - Spider mite - Green leaflet
Седум Фрост Файер / <i>Sedum Frosted Fire</i>	- Листья светло-зеленые с белой каймой. - Большие бело-розовые соцветия. - Листва и соцветия остаются привлекательными в течение всей зимы / - The leaves are light green with a white border. - Large pink and white flowers. - Foliage and inflorescences remain attractive throughout the winter.	- Солнечное место. - Полив только в период сильного пересыхания. - В удобрениях не нуждается / - A sunny place. - Watering only during periods of severe drying. - Does not need fertilizers.	- Пилильщики; - Тля; - Паутинный клещ; - Зеленая листовёртка / - Sawflies - Aphid - Spider mite - Green leaflet
Седум Пинки / <i>Sedum Pinky</i>	- Низкорослый. - Листья зеленые, молодые сероватозеленые на краях. - Большие розовые соцветия. - Декоративен весь сезон, до самых морозов / - Short - The leaves are green; the young ones are brownish pink at the edges. - Large pink inflorescences. - Decorative all season, until the very frosts.	- Солнечное место. - Умеренный полив. - В удобрениях не нуждается / - A sunny place. - Moderate watering. - Does not need fertilizers.	- Пилильщики; - Тля; - Паутинный клещ; - Зеленая листовёртка / - Sawflies - Aphid - Spider mite - Green leaflet
Аллиум Миллениум / <i>Allium Millennium</i>	- Обильноцветущий декоративный лук. - Фиолетовые шаровидные соцветия / - Profusely blooming decorative onion. - Purple spherical inflorescences.	- Солнечное место. - Умеренный не обильный полив. - В удобрениях не нуждается / - A sunny place. - Moderate not abundant watering. - Does not need fertilizers.	- Белая гниль лука; - Ложная мучнистая роса; - Луковая муха; - Слизни - минирующей мухи / The - white rot of onions - False powdery mildew - Onion fly - Slugs of the mining fly
Купена Грейс Баркер / <i>Polygonatum x hybridum Grace Barker (Striatum)</i>	- Голубовато-зеленые, слегка кудрявые листья с характерными кремовыми полосками. - Белые колокольчатые цветки. - Расположение цветков на стебле / - Bluish-green, slightly curly leaves with characteristic cream stripes. - White bell-shaped flowers. - The arrangement of flowers on the stem.	- Полутень, тень. - Умеренный полив. - Не требует подкормки / - Penumbra, shadow. - Moderate watering. - Does not require feeding.	- Улитки; - Личинки пилильщика купенового / - Snails - Larvae of the sawfly kupena

Культура / Crops	Декоративные свойства / Decorative properties	Уход за растениями / Plant care	Болезни и вредители / Diseases and pests
Астильба Колор Флэш / <i>Astilbe arendsii</i> Color Flash	- Листья в первой половине лета желтовато-зеленые с пурпурной каймой, в период цветения темнеют, после светлеют по центру, с краев остаются темно-зелеными. - Соцветие – крупная сиреневая метелка / - The leaves are yellowish-green with a purple border in the first half of summer, darken during the flowering period, then lighten in the center, and remain dark green at the edges. - The inflorescence is a large lilac panicle.	- Полутень. - Регулярный полив. - Подкормка до 4 раз в год. Весной – азотные удобрения и коровяк. До начала цветения – калийные удобрения, по окончании формирования бутонов – суперфосфат, перед зимовкой – компост / - Partial shade. - Regular watering. - Top dressing up to 4 times a year. In the spring - nitrogen fertilizers and mullein. Before the beginning of flowering, potash fertilizers are used, after bud formation, superphosphate is used, and before wintering, a combination of post is used.	- Фузариоз; - Тля; - Галловая нематода; - Слюнявая пенница / Fusarium Aphids - The Gall nematode
Колокольчик карпатский / <i>Campanula</i> <i>carpatica</i>	- Колоколообразные светло-голубые, голубые, с фиолетовым оттенком или белые крупные цветки / - Bell-shaped light blue, light blue, purple-tinged, or large white flowers.	- Солнечное место. - Полив в период засухи. - Подкормка 2 раза в год. В конце марта – азотные удобрения. В период цветения – органические удобрения для цветущих растений / - A sunny place, - Watering during the drought period. - Top dressing 2 times a year. At the end of March – nitrogen fertilizers. - During the flowering period, organic fertilizers are used for flowering plants.	- Грибные болезни; - Улитки; - Слизни; - Слюнявая пенница / Fungal diseases Snails Slugs
Роза Фэйри / <i>Rosa</i> <i>groundcover</i> The Fairy	- Цветки махровые розовые, выгорают до бледно-розовых, иногда почти до белых. - Обильное цветение. - Нежный аромат с яблочными нотками / - The flowers are double pink, fade to pale pink, sometimes almost white. - Abundant flowering. - Delicate fragrance with apple notes.	- Солнечное место, полутень. - Умеренный полив. - Подкормка 2 раза: 1 – весной – азот, 2 – в период формирования бутонов – калий и фосфор. - Укрытие на зиму / - Sunny place, partial shade. - Moderate watering. - Top dressing 2 times: 1 – in spring – nitrogen, 2 – during bud formation – potassium and phosphorus. - Shelter for the winter	- Мучнистая роса; - Серая гниль; - Нематоды Марсонина; - Тля; - Паутинный клещ / Powdery mildew Gray rot Marsonin Nematodes Aphid Spider mite

Культура / Crops	Декоративные свойства / Decorative properties	Уход за растениями / Plant care	Болезни и вредители / Diseases and pests
Ирис сибирский / <i>Iris sibirica</i>	- Форма соцветия. - Цвет: сиреневый, синий, белый, желтый / - The shape of the inflorescence. - Color: purple, blue, white, yellow.	- Солнечное место. - Умеренный полив. - Подкормка 2 раза за сезон: первый раз – ранней весной, после таяния снега; второй – перед цветением или после него / - A sunny place. - Moderate watering. - Top dressing 2 times per season: the first time – in early spring, after snowmelt; the second - before or after flowering.	- Альтернариоз; - Аскохитоз; - Гетероспориоз; - Корневая гниль; - Бактериоз; - Фузариоз; - Луковый клещ; - Нематода; - Ирисовая муха; - Трипсы; - Совки / Alternariosis - Ascochitosis - Heterosporiosis - Root rot - Bacteriosis - Fusarium - Onion mite - The nematode - The iris Fly - Thrips - Scoops
Ирис бордюрный / <i>Iris L.</i>	- Низкорослый. - Форма соцветия. - Цвет: фиолетовый, сиреневый, желтый / - Short. - The shape of the inflorescence. - Color: Purple, lilac, yellow.	- Солнечное место. - Умеренный полив. - Подкормка 2 раза за сезон: в начале весны – азотно-калийные, через 20 дней – фосфор и азот; в период цветения – минеральные составы / - A sunny place. - Moderate watering. - Top dressing 2 times per season: in early spring - nitrogen-potassium, after 20 days - phosphorus and nitrogen; during the flowering period - mineral compounds.	- Альтернариоз; - Аскохитоз; - Гетероспориоз; - Корневая гниль; - Бактериоз; - Фузариоз; - Луковый клещ; - Нематода; - Ирисовая муха; - Трипсы; - Совки / Alternariosis - Ascochitosis - Heterosporiosis - Root rot - Bacteriosis - Fusarium - Onion mite - The nematode - The iris Fly - Thrips - Scoops

Многолетние цветы высажены в миксбордеры, цветники, рабатки с учетом высоты растения: на заднем плане преимущественно высокие (*Delphinium*, *Polygonatum*, *Phlox*), на переднем низкорослые и почвопокровные (*Campanula carpatica*, *Sedum*, *Armeria*, *Gaillardia*), либо группами.

Многолетники имеют несколько преимуществ: долговечность, длительное цветение – на протяжении всего теплого сезона, многие многолетники неприхотливы и могут расти как на солнце, так и в полутени или даже в тени, устойчивы к болезням и вредителям. Агротехнический уход заключается в своевременном поливе, подкормке растений удобрениями, рыхлении, прополке, обработке от болезней и вредителей. В период цветения необходимо удаление сухих стеблей и соцветий. Также нужно следить за тем, чтобы одни растения не разрастались, затеняя и вытесняя другие. Для некоторых цветов необходима специальная подготовка к зиме: для сортовых роз – укрытие кустов еловым лапником.

Наиболее важную роль в экосистеме можно отметить у растений:

1. Можжевельник обыкновенный (*Juniperus communis*). Роль в экосистеме: очищает воздух и предотвращает эрозию почвы.
2. Сосна сибирская (*Pinus sibirica*). Роль в экосистеме: очищает воздух, поддерживает жизнь многих птиц и мелких животных.
3. Сосна горная (*Pinus mugo*). Роль в экосистеме: очищает воздух.
4. Дуб черешчатый (*Quercus robur*). Роль в экосистеме: поддерживает жизнедеятельность многих насекомых, птиц и мелких животных.
5. Ель колючая (*Picea pungens*). Роль в экосистеме: очищает воздух.
6. Туя западная (*Thuja occidentalis*). Роль в экосистеме: очищает воздух.
7. Сирень обыкновенная (*Syringa josikaea*). Роль в экосистеме: привлекает насекомых.
8. Чубушник тонколистый (*Philadelphus tenuifolius*). Роль в экосистеме: привлекает насекомых.
9. Шиповник морщинистый (*Rosa rugose*). Роль в экосистеме: привлекает насекомых, ягоды служат пищей для птиц.
10. Боярышник кроваво-красный (*Crataegus sanguinea*). Роль в экосистеме: ягоды служат пищей для птиц.
11. Хоста гибридная (*Hosta hybride*). Роль в экосистеме: сохраняет влагу в почве, создает тень.
12. Лаванда узколистая (*Lavandula angustifolia*). Роль в экосистеме: привлекает пчел и бабочек, отпугивает вредителей.
13. Гайлардия гибридная (*Gaillardia x hybrida*). Роль в экосистеме: привлекает пчел и бабочек, отпугивает вредителей.
14. Астильба Арендса (*Astilbe arendsii*). Роль в экосистеме: привлекает пчел и бабочек, удерживает влагу в почве и подавляет рост сорняков.
15. Монарда двойчатая (*Monarda didyma*). Роль в экосистеме: привлекает пчел и бабочек, улучшает качество воздуха, поглощая загрязняющие вещества и выделяя кислород.
16. Флокс метельчатый (*Phlox paniculata*). Роль в экосистеме: привлекает пчел и бабочек, удерживает влагу в почве и подавляет рост сорняков.
17. Армерия приморская (*Armeria martima*). Роль в экосистеме: привлекает пчел и бабочек, способствует стабильности почвы, а широкая корневая система играет ключевую роль в предотвращении эрозии почвы.
18. Роза (*Rosa*). Роль в экосистеме: привлекает пчел и бабочек, очищает воздух, способствует выведению некоторых токсичных веществ, присутствующих в воздухе.
19. Седум (*Sedum*). Роль в экосистеме: привлекает пчел и бабочек, повышает устойчивость к засухе.

20. Аллиум Миллениум (*Allium Millennium*). Роль в экосистеме: привлекает пчел и бабочек, луковицы и листья своим запахом отпугивают кроликов, мышей и других вредителей.

Таким образом, подобранные растения, высаженные в цветочные композиции, позволяют сохранить биоразнообразие и играют значительную роль в устойчивости экосистемы.

Заключение. Все древесно-кустарниковые и травянистые растения, используемые в озеленении усадьбы «Хвалеvское», являются многолетними, морозостойкими и не требующими сложного агротехнического ухода. Они хорошо подходят для озеленения в условиях средней полосы России. Ассортимент растений подобран с учетом факторов окружающей среды: растения сгруппированы в зависимости от освещенности, влажности, тепла и почвенных условий.

Сочетание кустарников и травянистых растений на клумбах было подобрано в соответствии с периодами и продолжительностью их цветения, что обеспечивает декоративную привлекательность и красоту в течение всего теплого сезона. Использование в озеленении вечнозеленых хвойных деревьев и кустарников помогает поддерживать визуальную привлекательность усадьбы круглый год.

Таким образом, при озеленении территории усадьбы были учтены основные принципы создания экологического сада, что позволило сохранить биоразнообразие и стабильность экосистемы.

Conclusions. All woody-shrub and herbaceous plants used in the landscaping of the Khvalevskoye estate are perennial, frost-resistant, and require minimal agricultural maintenance. They are well-suited for landscaping in the temperate zone of Russia. The range of plants is selected taking into account environmental factors: plants are grouped in relation to light, moisture, heat and soil conditions.

The combination of shrubs and herbaceous plants in flower beds was selected according to their flowering periods and duration, ensuring decorative appeal and beauty throughout the warm season. The inclusion of evergreen coniferous trees and shrubs in the landscaping helps maintain the estate's visual attractiveness year-round.

Thus, when landscaping the estate territory, the main principles of creating an ecological garden were taken into account, which made it possible to preserve biodiversity and ecosystem stability.

Библиографический список

1. Дормидонтова В. В., Лукина Е. В., Дронова Е. А. Современное озеленение исторических объектов. Лесной вестник. 2018. Т. 22. № 3. С. 49-54.
2. Rzeszotarska-Palka M. Manor and Park Estates-Resilience to Transformation and the New Management of Space Due to Political Changes: The Case of Western Pomerania (Poland). Sustainability. 2024. No 16. 2562.
3. Богданова Е. С., Коровина Н. В. Михайловская усадьба: попытка восстановления и благоустройства. 1964 г. С архивной полки. История науки и техники в документах Российского государственного архива в г. Самаре: сборник документов. Федеральное казенное учреждение «Российский государственный архив в г. Самаре», 2018. С. 156-190.
4. Šantrůčková M., Demková K., Dostálek J., Frantík T. The Potential of Manor Gardens for Natural Habitats Conservation. Journal of Landscape Ecology. 2019. No 12. Pp. 59-72.
5. Kruglyak V. V. Landscape architecture of manor complexes in Central Chernozem region. Forestry Bulletin. 2022. No 26. Pp. 114-131.
6. Кустова Ю. В., Цымбал Г. С. Формирование ассортимента древесных растений для использования в парках загородных усадеб Санкт-Петербурга. Ландшафтная архитектура, строительство и обработка древесины: материалы научно-технической конференции СПбГЛТУ. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова, 2024. С. 288-299.
7. Пунегов А. Н., Скроцкая О. В. Биоморфологические особенности, фенологическое развитие и зимостойкость восточноазиатских видов рода *Cotoneaster* Medik. при интродукции в Республике Коми. Самарский научный вестник. 2021. Т. 10. № 3. С. 95-100.
8. Шлапакова С. Н., Морозов А. Н. Особенности ландшафтной композиции паркового пейзажа усадебных парков Брянской области. Ландшафтная архитектура и природообустройство: от проекта до экономики – 2024: материалы XIII Международной научно-практической конференции. Нижегородский государственный агро-технологический университет, 2024. С. 38-45.
9. Шихова Н. С. Биогеохимические критерии оценки экологической эффективности видов в городском озеленении. Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2022. № 2 (222). С. 17-36.
10. Календар О. В., Вышегуров С. Х., Буглова Л. В., Кайгалов И. В., Сарлаева М. Я., Юданова С. С., Васильева О. Ю., Дорогина О. В. Экологические характеристики декоративных растений и их использование в ландшафтной архитектуре. Самарский научный вестник. 2022. Т. 11. № 3. С. 56-63.
11. Зиновьева А. С. Проект ревитализации усадьбы А. Т. Болотова в Тульской области. Энигма. 2021. № 29-1. С. 54-59.
12. Седельникова Л. Л. Декоративные многолетние растения в цветниках Новосибирского Научного центра СО РАН. Вестник ИрГСХА. 2011. № 44-3. С. 164-170.
13. Папков А. С. и др. К вопросу создания малых садов в больших городах. Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2014. № 112. С. 20-27.
14. Келина А. В., Слепченко Н. А., Клемешова К. В. Анализ цветочного оформления олимпийского Сочи. Садоводство и виноградарство. 2016. № 2. С. 41-48.
15. Ларина О. В. Многолетние цветочные культуры, рекомендованные для использования в ландшафтном дизайне в лесостепи Алтайского края. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 10 (204). С. 57-63.
16. Кисова С. В., Корсунова Т. М., Бессмольная М. Я. Проблемы и перспективы развития цветочного оформления г. Улан-Удэ. Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2015. № 1 (38). С. 124-127.
17. Плугатарь С. А. и др. Ассортимент красивоцветущих древесных и кустарниковых растений для усиления декоративности садово-парковых композиций в межсезонье в условиях Южного берега Крыма. Субтропическое и декоративное садоводство. 2015. № 54. С. 193-199.
18. Кузьмина Н. М. и др. Озеленение исторически сложившихся зон рекреации в малых городах России на примере городов Удмуртии. Урбанистика. 2022. № 2. С. 57-68.
19. Кузьмина Н. М., Федоров А. В., Ардашева О. А. Факторы, влияющие на декоративность цветников в регулярном стиле на примере города Ижевска. Урбанистика. 2022. № 3. С. 96-107.
20. Шелестова В. А., Хазова Е. П. Подбор ассортимента декоративных растений в условиях антропогенной нагрузки на примере жилой застройки г. Воронежа. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 4-2 (15-2). С. 143-145.
21. Демиденко Г. А., Бессмольная М. Я., Поломошнова Н. Ю. Анализ цветочного оформления городской среды (на примере города Улан-Удэ). Вестник КрасГАУ. 2015. № 6 (105). С. 44-48.
22. Фещенко Е. М. Перспективные травянистые многолетние растения рода *Thymus* для озеленения в условиях степной зоны Южного Урала. Плодоводство и ягодоводство России. 2023. № 72. С. 56-61.
23. Черягова Ю. С., Евсигнеева И. К. Особенности проектирования групповых посадок древесно-кустарниковых растений. Архитектон: известия вузов. 2022. № 4 (80).
24. Исаенко Т. Н. Травянистые многолетники для озеленения тенивого сада. Аграрная наука. 2022. № 5. С. 109-112.
25. Семенкова Е. В. О методике проведения обследования цветочного оформления различных элементов планировочной структуры города. Forestry Bulletin. 2017. Т. 21. № 2. С. 15-19.

26. Карписонова Р. А. и др. Экологическое обоснование отбора декоративных многолетников для городского озеленения. *Hortus Botanicus*. 2017. Т. 12. С. 459-465.
27. Кулик К. Н., Сокольская О. Б., Проездов П. Н. Оценка аттрактивности объектов садово-паркового наследия на территориях Приволжской возвышенности. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2017. № 2. С. 26-29.

References

1. Dormidontova V. V., Lukina E. V., Dronova E. A. Modern landscape of the historical sites. *Forest News*. 2018. V. 22. № 3. Pp. 49-54.
2. Rzeszotarska-Palka M. Manor and Park Estates-Resilience to Transformation and the New Management of Space Due to Political Changes: The Case of Western Pom-erania (Poland). *Sustainability*. 2024. No 16. 2562.
3. Bogdanova E. S., Korovina N. V. Mikhailovskaya manor: an attempt at restoration and landscaping. 1964 From the archive shelf. The history of science and technology in the documents of the Russian State Archive in Samara: a collection of documents. Federal Government Institution "Russian State Archive in Samara", 2018. Pp. 156-190.
4. Šantrůčková M., Demková K., Dostálék J., Frantík T. The Potential of Manor Gardens for Natural Habitats Conservation. *Journal of Landscape Ecology*. 2019. No 12. Pp. 59-72.
5. Kruglyak V. V. Landscape architecture of manor complexes in Central Chernozem region. *Forestry Bulletin*. 2022. No 26. Pp. 114-131.
6. Kustova Yu. V., Tsymbal G. S. The formation of an assortment of tree plants for use in parks of country estates in St. Petersburg. Landscape architecture, construction and wood processing: proceedings of the scientific and technical conference of St. Petersburg State Technical University. St. Petersburg: St. Petersburg State Polytechnic University named after S. M. Kirov, 2024. Pp. 288-299.
7. Punegov A. N., Skrotskaya O. V. Bio-morphological features, phenological development and winter hardiness of East Asian species of the genus *Cotoneaster Medik.* during the introduction in the Komi Republic. *Samara Scientific Bulletin*. 2021. Vol. 10. No. 3. Pp. 95-100.
8. Shlapakova S. N., Morozov A. N. Features of the landscape composition of the park landscape of manor parks of the Bryansk region. Landscape architecture and environmental management: from project to economy – 2024: proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference. Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, 2024. Pp. 38-45.
9. Shikhova N. S. Biogeochemical criteria for assessing the ecological effectiveness of species in urban landscaping. *Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2022. No. 2 (222). Pp. 17-36.
10. Kalendar O. V., Vyshegurov S. Kh., Buglova L. V., Kaigalov I. V., Sarlaeva M. Ya., Yudanov S. S., Vasilyeva O. Yu., Dorogina O. V. Ecological characteristics of ornamental plants and their use in landscape architecture. *Samara Scientific Bulletin*. 2022. Vol. 11. No. 3. Pp. 56-63.
11. Zinovieva A. S. The project of revitalization of the estate of A. T. Bolotov in the Tula region. *Enigma*. 2021. No. 29-1. Pp. 54-59.
12. Sedelnikova L. L. Decorative perennial plants in flower beds of the Novosibirsk Scientific Center SB RAS. *Bulletin of the IrGSHA*. 2011. No. 44-3. Pp. 164-170.
13. Papkov A. S. et al. On the issue of creating small gardens in big cities. *Bulletin of the Nikitsky State Botanical Garden*. 2014. No. 112. Pp. 20-27.
14. Kelina A.V., Slepchenko N. A., Klemeshova K. V. Analysis of the floral design of Olympic Sochi. *Gardening and viticulture*. 2016. No. 2. Pp. 41-48.
15. Larina O. V. Perennial flower crops recommended for use in landscape design in the forest-steppe of the Altai Territory. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2021. No. 10 (204). Pp. 57-63.
16. Kisova S. V., Korsunova T. M., Bessmolnaya M. Ya. Problems and prospects of flower decoration development in Ulan-Ude. *Bulletin of the V. R. Filippov Buryat State Agricultural Academy*. 2015. No. 1 (38). Pp. 124-127.
17. Plugatar S. A. et al. An assortment of beautifully flowering woody and shrubby plants to enhance the decorative effect of garden and park compositions in the inter-season in the conditions of the Southern coast of Crimea. *Subtropical and ornamental horticulture*. 2015. No. 54. Pp. 193-199.
18. Kuzmina N. M. et al. Greening of historically established recreational areas in small towns of Russia using the example of cities in Udmurtia. *Urbanistics*. 2022. No. 2. Pp. 57-68.
19. Kuzmina N. M., Fedorov A.V., Ardasheva O. A. Factors influencing the decorativeness of flower beds in a regular style on the example of the city of Izhevsk. *Urbanistics*. 2022. No. 3. Pp. 96-107.
20. Shelestova V. A., Khazova E. P. Selection of an assortment of ornamental plants under anthropogenic stress on the example of residential development in Voronezh. *Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*. 2015. V. 3. No. 4-2 (15-2). Pp. 143-145.
21. Demidenko G. A., Bessmolnaya M. Ya., Polomoshnova N. Y. Analysis of floral design of the urban environment (on the example of the city of Ulan-Ude). *Bulletin of KrasGAU*, 2015. No. 6 (105). Pp. 44-48.
22. Feshchenko E. M. Promising herbaceous perennial plants of the genus *Thymus* for landscaping in the steppe zone of the Southern Urals. *Fruit growing and fruit growing in Russia*. 2023. No. 72. Pp. 56-61.
23. Cheryatova Yu.S., Evsigneva I. K. Design features of group plantings of woody and shrubby plants. *Architecton: news of the high school*. 2022. № 4 (80).
24. Isaenko T. N. Herbaceous perennials for gardening a shade garden. *Agricultural science*. 2022. No. 5. Pp. 109-112.
25. Semenkova E. V. On the methodology of conducting a survey of the floral design of various elements of the planning structure of the city. *Forestry Bulletin*. 2017. V. 21. No. 2. Pp. 15-19.
26. Karpisonova R. A. et al. Ecological justification of the selection of ornamental perennials for urban landscaping. *Hortus Botanicus*. 2017. V. 12. Pp. 459-465.
27. Kulik K. N., Sokolskaya O. B., Proezd P. N. Assessment of the attractiveness of landscape gardening heritage sites in the territories of the Volga upland. *Russian Agricultural Science*. 2017. No. 2. Pp. 26-29.

Информация об авторах

Хамитова Светлана Михайловна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49), e-mail: xamitowa.sveta@yandex.ru

Хамитов Ренат Салимович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49), e-mail: renatkhamitov@yandex.ru

Федченко Елена Ивановна, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии» (Российская Федерация, 143050, Московская область, Одинцовский район, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, 5), e-mail: ellenn08@yandex.ru

Authors' Information

Khamitova Svetlana Mikhailovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department, Russian State Agrarian University named after K. A. Timiryazev – Moscow Agricultural Academy (Russian Federation, 127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49), e-mail: xamitowa.sveta@yandex.ru

Khamitov Renat Salimovich, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Land Management and Forestry of the Russian State Agrarian University named after K. A. Timiryazev Moscow Agricultural Academy (Russian Federation, 127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49), e-mail: renatkhamitov@yandex.ru

Fedchenko Elena Ivanovna, Junior Researcher at the Laboratory of Phytopathology of Introduced Plants, All-Russian Scientific Research Institute of Phytopathology (Russian Federation, 143050, Moscow Region, Odintsovo District, Bolshye Vyazemye, Institute Str., 5), e-mail: ellenn08@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-23

THE DYNAMICS OF THE SPECTRAL VEGETATION INDICES OF *ROBINIA PSEUDOACACIA* L. AT THE DIFFERENT PHENOLOGICAL STAGES UNDER THE ARID CONDITIONS**Tretyakova A. V., Zybinskaya P. A., Krylov P. A.**

*Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author e-mail: krylov-p@vfanc.ru

Received 28.08.2025

Submitted 26.12.2025

The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. FNFE-2025-0013 «Regulation of gene expression involved in the adaptation to adverse environmental factors to improve economically valuable traits of woody and cultivated plants used in agroforestry».

Summary

The article presents the results of an analysis of spectral indices of *R. pseudoacacia*, reflecting the content of photosynthetic pigments and the adaptive responses of plants at different vegetative phase. Higher NDVI and TVI values were observed at early stages in the Kirov Breeding and Seed Production Complex, indicating better leaf apparatus development, whereas in the Krasnoarmeysky district, higher values at later stages reflected the retention of green biomass. Differences in PRI, LIC1, ARI1, and CRI1 indicate varying degrees of photo stress and protective pigment activity, associated with environmental conditions and the physiological characteristics of the populations.

Abstract

Introduction. Studying spectral indices allows for a comprehensive assessment of the photosynthetic apparatus, pigment content, and adaptive responses of plants to environmental conditions. These indicators are widely used both in remote sensing and in situ leaf spectral analysis, providing high sensitivity to changes in plant physiology. **Object.** Populations of *Robinia pseudoacacia* L. growing in the Krasnoarmeysky District (park phytocoenosis) (P1) and the Kirovsky Breeding and Seed Production Complex (seed plantation) (P2) of Volgograd under arid conditions. **Materials and Methods.** Spectral indices were measured for two populations of *R. pseudoacacia* located in the square of the Rope Plant in the Krasnoarmeysky District of Volgograd (coordinates: 48°31'21"N, 44°34'47"E) and in the Kirovsky Breeding and Seed Production Complex (coordinates: 48°37'04"N, 44°22'52"E) during the following phenological phases in 2025: leaf expansion (late April), budding (early May), massive flowering (mid-May), beginning of fruit ripening (late June), and end of fruit ripening (late August). During the phases of the beginning and end of fruit ripening, correlation analysis revealed significant relationships between chlorophyll indices and protective pigment indices, reflecting the interdependence of adaptive plant responses to adverse environmental conditions. To obtain spectral profiles of the *R. pseudoacacia* leaf blade, a portable spectroradiometer SpectraPen SP110 Uvis was used. Six vegetation indices were calculated: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), TVI (Triangular Vegetation Index), LIC1 (Lichtenthaler Indices 1), PRI (Photochemical Reflectance Index), ARI1 (Anthocyanin Reflectance Index 1), CRI1 (Carotenoid Reflectance Index 1). Quantitative data were processed using Statistica 12.0. **Results and conclusions.** Comparative analysis of spectral indices of *R. pseudoacacia* revealed differences between the Kirov Breeding and Seed Production Complex and the Krasnoarmeysky district at different vegetative phase. NDVI at the leafing stage was six times higher in the Kirov Breeding and Seed Production Complex, at the budding stage approximately 1.2 times higher, and at the flower-

ing stage three times higher than in the Krasnoarmeysky district, reflecting more intensive chlorophyll accumulation and active leaf apparatus formation. TVI at the flowering phase in the Kirov Breeding and Seed Production Complex was six times higher than in the Krasnoarmeysky district. At the later stages of fruit maturation and fruiting, NDVI was higher in the Krasnoarmeysky district, indicating retention of greater green biomass. PRI showed more pronounced photo-stress in the Krasnoarmeysky district at the flowering stage, while LIC1, ARI1, and CRI1 demonstrated significant differences in pigment content and ratios between sites. Correlation analysis revealed significant relationships between chlorophyll and protective pigment indices, reflecting the coordination of adaptive plant responses to environmental conditions.

Keywords: *Robinia pseudoacacia* L., photosynthetic apparatus of plants, spectral vegetation indices, adaptive reactions of plants.

Citation. Tretyakova A. V., Zybinskaya P. A., Krylov P. A. The dynamics of the spectral vegetation indices of *Robinia pseudoacacia* L. at the different phenological stages under the arid conditions. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 225-233 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-23.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 630*18:633.875.2

ДИНАМИКА СПЕКТРАЛЬНЫХ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ *ROBINIA PSEUDOACACIA* L. НА РАЗНЫХ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ ФАЗАХ В ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЯХ

Третьякова А. В., аспирант, младший научный сотрудник

Зыбинская П. А., аспирант, младший научный сотрудник

Крылов П. А., кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник

«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения
Российской академии наук»
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации No FNFE-2025-0013 «Управление экспрессией генов, вовлеченных в процесс адаптации к неблагоприятным факторам внешней среды, для улучшения хозяйственно-ценных признаков древесно-кустарниковых и культурных растений, используемых в агролесомелиорации».

Актуальность. Изучение спектральных индексов позволяет комплексно оценивать состояние фотосинтетического аппарата растений, содержание пигментов и адаптивные реакции к условиям среды. Эти показатели широко применяются как в дистанционном зондировании, так и при анализе спектров листьев *in situ*, обеспечивая высокую чувствительность к изменениям в физиологии растений. **Объект.** Популяции *Robinia pseudoacacia* L., произрастающие на территории Красноармейского района (парковый фитоценоз) (П1) и Кировского ССК (семенная плантация) (П2) г. Волгоград в засушливых условиях. **Материалы и методы.** Спектральные показатели снимались у двух популяций *R. pseudoacacia* на территории сквера Канатного завода Красноармейского района г. Волгограда (координаты: 48°31'21"N 44°34'47"E) (П1) и Кировского селекционно-семеноводческого комплекса (координаты: 48°37'04"N 44°22'52"E) (П2). Исследования проводились в 2025 году во время фаз: облиствения (конец апреля), бутонизации (начало мая), массового цветения (середина мая), начала созревания плодов (конец июня) и окончания созревания плодов (конец августа). Для получения спектральных профилей листовой пластинки *R. pseudoacacia* был использован портативный спектро радиометр SpectraPen SP110 Uvis. Были рассчитаны 6 вегетационных индексов: NDVI (нормализованный относительный вегетационный индекс), TVI (триангулярный вегетационный индекс), LIC1 (индекс Лихтеналера 1), PRI (фотохимический индекс отражения), ARI1 (индекс отражения антоцианов 1), CRI1 (индикатор каротиноидов 1). Количественные данные обрабатывались с помощью программы Statistica 12.0. **Результаты и выводы.** Сравнительный анализ вегетационных индексов *R. pseudoacacia* показал различия между популяциями на разных фазах вегетационного развития. NDVI на стадии облиствения был в 6 раз выше в П2, на стадии бутонизации – примерно в 1,2 раза, а на стадии массового цветения – в 3 раза выше, чем в П1, что отражает более интенсивное накопление хлорофилла и активное формирование фотосинтетического аппарата. TVI в П2 на фазе массового цветения был в 6 раз больше, чем в П1. Во время фенофаз начала созревания плодов и окончания созревания плодов NDVI оказался выше в П1, что указывает на сохранение большей зелёной биомассы. PRI показал более выраженный фотостресс в П1 на стадии массового цветения, тогда как LIC1, ARI1 и CRI1 демонстрировали значительные различия в содержании и соотношении пигментов между участками. Корреляционный анализ выявил достоверные связи между индексами хлорофилла и защитных пигментов, отражающие взаимосвязь адаптивных реакций растений к неблагоприятным условиям внешней среды.

Ключевые слова: *Robinia pseudoacacia* L., фотосинтетический аппарат растений, спектральные вегетационные индексы, адаптивные реакции растений.

Цитирование. Третьякова А. В., Зыбинская П. А., Крылов П. А. Динамика спектральных вегетационных индексов *Robinia pseudoacacia* L. на разных фенологических фазах в засушливых условиях. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 225-233. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-23.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. *Robinia pseudoacacia* L. (белая акация) представляет собой вид с высокой экологической и хозяйственной значимостью [1, 2]. Благодаря устойчивости к засушливым условиям и способности улучшать свойства почв, а также восстанавливать их, она широко используется в агролесомелиорации, особенно в регионах с дефицитом влаги [3-5]. Тем не менее, даже этот устойчивый вид реагирует на продолжительные засушливые периоды изменениями в физиологическом состоянии.

В условиях глобального изменения климата и учащающихся периодов засух особенно актуальными становятся методы неинвазивного мониторинга жизненного и, в частности, физиологического состояния древесных растений. Такие подходы позволяют оперативно фиксировать реакции растений на стрессовые факторы без необходимости повреждать растение и трудоёмких лабораторных анализов, что делает их незаменимыми при полевых и лабораторных исследованиях [6-8]. Анализ вегетационных индексов, вычисляемых на основе спектральных данных, открывает возможность объективно оценивать состояние фотосинтетического аппарата, степень стрессовой нагрузки и адаптивные реакции растений. Например, индекс NDVI (нормализованный относительный вегетационный индекс) традиционно применяется в дистанционном зондировании, в том числе при обработке космических снимков для оценки состояния растительности на больших территориях [9, 10]. В то же время использование NDVI и других индексов, рассчитанных по спектрам листовой пластинки, позволяет детально охарактеризовать физиологическое состояние растений на локальном уровне. Особую ценность представляет изучение динамики спектральных индексов на разных фенологических стадиях развития. Сопоставление изменений спектральных характеристик и индексов, рассчитанных на разных фенофазах, обеспечивает более полное понимание реакции *R. pseudoacacia* на засуху.

В связи с вышесказанным, **новизна исследования** заключается в том, что нами был проведен анализ динамики вегетационных индексов в популяциях *R. pseudoacacia* на разных фенологических фазах с помощью спектрорадиометрического метода непосредственно самих листовых пластинок, а не путем расчета индексов с помощью дешифрирования космических снимков.

Целью исследования стала оценка спектральных вегетационных индексов популяций *R. pseudoacacia* на разных фенологических стадиях, произрастающих в засушливых условиях.

Материалы и методы исследования. Спектральные показатели листовых пластинок снимались у двух популяций *R. Pseudoacacia*: на территории сквера Канатного завода Красноармейского района г. Волгограда (координаты: 48°31'21"N 44°34'47"E) – урбанизированная территория с промышленным загрязнением воздуха – превышен ПДК оксида углерода [11]; на территории Кировского селекционно-семеноводческого комплекса (ССК) (координаты: 48°37'04"N 44°22'52"E), условия умеренного антропогенного воздействия. Однако в Кировском районе, так же зафиксировано превышение ПДК оксида углерода [11]. Спектральные данные были получены в 2025 году во время следующих фаз вегетационного развития *R. pseudoacacia*: облиствение (конец апреля), бутонизация (начало мая), массовое цветение (середина мая), начало созревания плодов (конец июня) и окончание созревания плодов (конец августа) [12].

Участок Красноармейского района (П1) – парковый фитоценоз с разреженным древесным ярусом, где преобладающими видами растений являются *R. pseudoacacia*, *Fraxinus pennsylvanica* Marshall, *Acer tataricum* L. и *Celtis occidentalis* L. Высота исследуемых *R. pseudoacacia* в среднем составляет от четырех до пяти метров, кронами дерева между собой не смыкаются. Почва светло-каштанового типа. Густой травянистый покров, в среднем высота которого составляет до полуметра. Следов заболеваний и каких-либо повреждений у деревьев замечено не было, на стволах и крупных ветвях некоторых объектов наблюдался накипной лишайник *Xanthoria parietina* L. Формула древостоя: 10R+F, ед. А, С.

Участок Кировского ССК (П2) расположен на возвышенной относительно города территории, где преобладающими видами являются *R. pseudoacacia*, *Gleditsia triacanthos* L. и *Cotinus coggygia* Scop, а также единичные особи *Ulmus pumila* L. Почва светло-каштанового типа. Высота *R. pseudoacacia* в среднем составляет от двух до четырех метров, сомкнутость крон 50-60 %. Основу травянистого покрова формируют ксеромезофитные растения, высота которых в среднем составляет 0,3-0,5 метров. *R. pseudoacacia* активно даёт поросль, образуя тем самым нижний древесный ярус. На основе визуального осмотра биоморфологических признаков у *R. pseudoacacia* было отмечено хорошее жизненное состояние. Формула древостоя: 7R3G+C, ед.У.

Для получения спектральных профилей листовой пластинки *R. pseudoacacia* был использован портативный спектрорадиометр SpectraPen SP110 Uvis (Photon Systems Instruments, Чехия), регистрирующий излучение в диапазоне длин волн от 340 до 790 нм. Для получения спектральных профилей проводили измерения 10 листовых пластинок без видимых повреждений и заболеваний из средней части кроны с освещённой стороны у 15 деревьев каждой популяции. Регистрация оптического излучения проводилась с адаксиальной стороны листовой пластинки рядом с центральной жилкой. Перед началом измерений выполнялась калибровка по фоновому сигналу (темновой ток). Эталонным излучением выступал солнечный свет, оптический путь которого пролегал через место регистрации излучения на листовой пластинке. Для оценки физиологического состояния листьев были рассчитаны спектральные индексы: нормализованный относительный вегетационный индекс (NDVI), триангулярный вегетационный индекс TVI, индекс Лихтеналера 1 (LIC1) (характеризуют содержание хлорофилла и «зелёность» листа), фотохимический индекс отражения (PRI) (показывает фотохимическую эффективность и световой стресс), индекс отражения антоцианов 1 (ARI1) (индикатор антоцианов) и индекс отражения каротиноидов 1 (CRI1) (индикатор каротиноидов 1) [13, 14].

Коэффициент пропускания рассчитывался по следующей формуле:

$$T = \frac{I}{I_0}, \quad (1)$$

где, T – коэффициент оптической плотности; I_0 – эталонная интенсивность излучения; I – измеренная интенсивность излучения.

Для экспорта первичных данных спектральных профилей листовых пластинок использовалась специализированная программа SpectraPen v. 1.1.0.10 (Photon Systems Instruments, Чехия), где на основании данных спектральных профилей рассчитывались индексы по следующим формулам:

$$NDVI = \frac{T_{780} + T_{630}}{T_{780} - T_{630}}, \quad (2)$$

$$TVI = 0,5 \cdot (120 \cdot (T_{750} - T_{550}) - 200 \cdot (T_{670} - T_{550})), \quad (3)$$

$$Lic1 = \frac{T_{780} - T_{680}}{T_{780} + T_{680}}, \quad (4)$$

$$PRI = \frac{T_{531} - T_{570}}{T_{531} + T_{570}}, \quad (5)$$

$$ARI1 = \frac{1}{T_{550}} - \frac{1}{T_{700}}, \quad (6)$$

$$CRI1 = \frac{1}{T_{510}} - \frac{1}{T_{550}}, \quad (7)$$

Полученные данные в формате .csv переводились в формат таблицы Excel (Microsoft, США) и использовались для дальнейшей статистической обработки.

Количественные данные обрабатывались с помощью программы Statistica 12.0 (StatSoft Inc., США). Рассчитывались показатели, принятые для оценки непараметрических выборок в биологических исследованиях. Для определения достоверности различий между несколькими группами был применен критерий Краскела-Уоллиса и критерий Манна-Уитни между двумя независимыми выборками ($p < 0,05$). Для оценки корреляционной зависимости значений использовали метод ранговой корреляции Спирмена. Корреляцию оценивали как слабую ($< 0,5$), умеренную (в интервале от 0,5 до 0,8), сильную ($> 0,8$) при достоверности $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение. На рисунке 1 представлены полученные данные измерения спектральных вегетационных индексов. Все значения вегетационных индексов имели статистически значимые различия между фенологическими фазами ($p < 0,05$). NDVI был выше в 6, 1,2 и 3 раза у *R. pseudoacacia* П2 во время облиствения, бутонизации и массового цветения по сравнению с П1, соответственно, в то время как на стадиях начала и окончания созревания плодов наблюдалась обратная тенденция. На ранних стадиях (облиствение, бутонизация, массовое цветение) более высокие значения NDVI у П2 указывают на лучшую адаптацию фотосинтетического аппарата и большее содержание хлорофилла по сравнению с П1. Однако во время начала и окончания созревания плодов NDVI был выше П1, что может отражать сохранение большей зеленой биомассы на поздних фазах вегетационного развития. В ходе анализа NDVI не было обнаружено статистически значимых различий на стадии бутонизации.

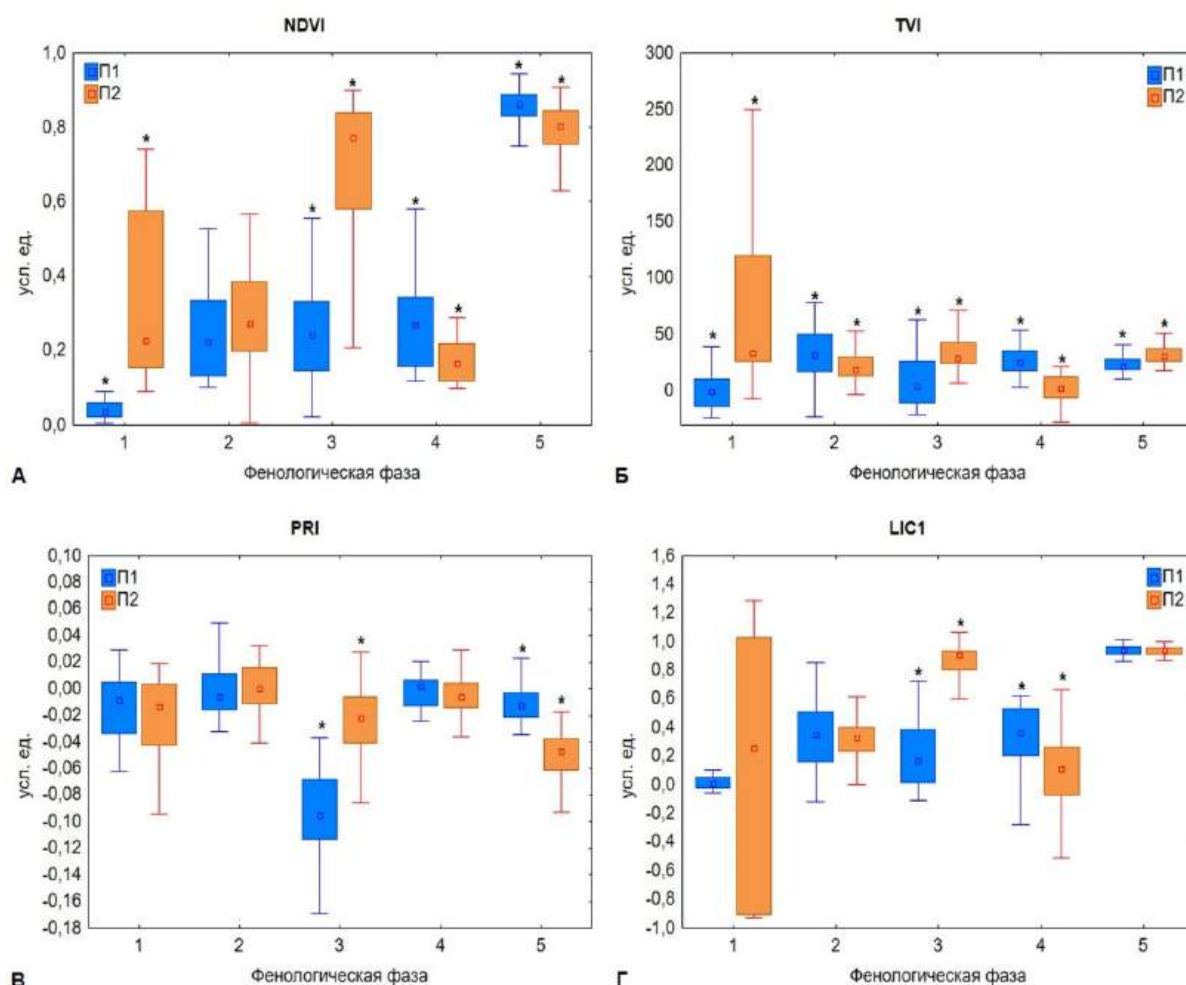


Рисунок 1 – Значения спектральных вегетационных индексов *R. pseudoacacia* в Красноармейском районе (П1) и в Кировском ССК (П2) г. Волгограда. Спектральные индексы: А – NDVI, Б – TVI, В – PRI, Г – LIC1. Фенофазы: 1 – облиствение, 2 – бутонизация, 3 – массовое цветение, 4 – начало созревания плодов, 5 – окончание созревания плодов. * – статистически значимые различия при $p < 0,05$

Figure 1 – Values of spectral vegetation indices of *R. pseudoacacia* in the Krasnoarmeysky district (P1) and in the Kirov Breeding and Seed Production Complex (P2) of Volgograd: Spectral indices: А – NDVI, Б – TVI, В – PRI, Г – LIC1. Pheno phases: 1 – leaf expansion, 2 – budding, mass flowering, 4 – the beginning of fruit ripening, 5 – the end of fruit ripening. * – statistically significant differences with $p < 0.05$

Индекс TVI показал значимые различия на всех стадиях. Самое низкое значение зафиксировано во время фазы облиствения у П1, в то время как значение у П2 значительно выше. Показатель TVI во время фазы массового цветения у П1 был в 6 раз меньше, чем у П2. На стадии окончания созревания плодов значения индекса показали схожие значе-

ния. Это может быть связано с различиями в темпах развития и продолжительности вегетации [15]. У П1 TVI показал большие значения, чем на другом участке на стадиях бутонизации и начала созревания плодов. У индекса PRI значения достоверно отличались только на стадиях массового цветения и окончания созревания плодов, где значения у П1 были -0,10 и -0,01, соответственно. На другом участке индекс имел также отрицательные значения -0,02 и -0,05. Такие значения PRI свидетельствуют о снижении фотохимической эффективности и увеличении светового стресса [16], что более выражено у П1 на стадии массового цветения. При анализе результатов LIC1 достоверные значения получены на фазах массового цветения и начала созревания плодов. У П1 значения были в 4 и 3 раза выше по сравнению с *R. pseudoacacia*, произрастающей на другой территории.

Далее были рассмотрены индексы ARI1 и CRI1, связанные с такими пигментами, как антоцианы и каротиноиды (таблица 1). CRI1 показал достоверные различия во время фаз облиствения, массового цветения и окончания созревания плодов, ARI1 – только на стадии начала созревания плодов. Было зафиксировано, что CRI1 у П1 во время фаз облиствения и массового цветения значительно ниже по сравнению с П2. Однако во время фазы окончания созревания плодов CRI1 был ниже в 1,3 раза у П2 по сравнению с другим участком. Увеличение значений ARI1 и CRI1 к фазе окончания созревания плодов говорит о повышении каротиноидов и антоцианов [17]. Это может свидетельствовать о формировании защитной реакции в ответ на абиотический стресс [18], однако по данным, полученным у некоторых растений, количество каротиноидов при засухе должно уменьшаться [19, 20].

Таблица 1 – Спектральные вегетационные индексы ARI1 и CRI1

Table 1 – Spectral vegetation indices ARI1 and CRI1

Фаза вегетации / The vegetation phase	Спектральный вегетационный индекс / Spectral vegetation index			
	Красноармейский район (П1) / Krasnoarmeysky district (P1)		Кировский ССК (П2) / Kirovsky SSK (P2)	
	ARI1	CRI1	ARI1	CRI1
Облиствение / The appearance of foliage	0,04 [-0,05 ÷ 0,27]	-0,02* [-0,16 ÷ 0,09]	0,14 [-0,01 ÷ 0,36]	0,89* [0,12 ÷ 6,38]
Бутонизация / Budding	0,01 [-0,10 ÷ 0,16]	0,36 [-0,01 ÷ 0,70]	0,11 [0,01 ÷ 0,40]	0,36 [0,18 ÷ 0,79]
Массовое цветение / Mass flowering	1,80 [0,85 ÷ 2,55]	0,92* [-0,17 ÷ 1,39]	1,99 [0,68 ÷ 5,72]	18,81* [7,54 ÷ 34,05]
Начало созревания плодов / The beginning of fruit ripening	0,06* [-0,05 ÷ 0,17]	0,33 [0,14 ÷ 1,04]	0,16* [0,07 ÷ 0,33]	0,27 [0,07 ÷ 0,57]
Окончание созревания плодов / The end of fruit ripening	2,01 [0,54 ÷ 4,63]	34,04* [21,61 ÷ 54,12]	0,91 [0,55 ÷ 1,66]	25,98* [13,59 ÷ 37,81]

Примечание: * – статистически значимые различия при $p < 0,05$.

Note: * – statistically significant differences with $p < 0.05$.

В таблице 2 представлены корреляционные связи между анализируемыми вегетационными индексами листовых пластинок у *R. pseudoacacia*. Полученные корреляции между индексами объясняются спектральными диапазонами, используемыми при их расчёте, и физиологической ролью соответствующих пигментов [21]. Так, NDVI и LIC1 основаны на соотношении красной зоны (630-680 нм) и ближнего ИК-диапазона (780 нм), что отражает содержание хлорофилла и состояние фотосинтетического аппарата. Индекс ARI1 использует длины волн 550 и 700 нм, чувствительные к антоцианам, тогда как CRI1 рассчитывается из 510 и 550 нм и характеризует содержание каротиноидов. Слабая связь LIC1 с TVI может быть обусловлена разной чувствительностью этих индексов: TVI включает зелёный диапазон (550 нм), в то время как LIC1 точнее улавливает динамику хлорофилла в листьях. Несмотря на наличие достоверных корреляций между NDVI, LIC1 и TVI, корреляционная связь с PRI вообще отсутствовала. Это может быть связано тем, что он основан на узком диапазоне (531 и 570 нм), отражающем мгновенную фотохимическую активность, а не содержание пигментов.

Таблица 2 – Корреляционный анализ между спектральными вегетационными индексами
Table 2 – Correlation analysis between spectral vegetation indices

Индекс / Index	NDVI	TVI	PRI	LIC1	ARI1	CRI1
NDVI	1,00					
TVI	0,32	1,00				
PRI	-0,09	-0,07	1,00			
LIC1	0,87*	0,43*	-0,06	1,00		
ARI1	0,54*	-0,15	-0,48	0,39	1,000	
CRI1	0,92*	0,31	-0,11	0,86*	0,56*	1,00

Примечание: * – статистически значимые корреляции при $p < 0,05$.

Note: * – statistically significant correlations with $p < 0.05$.

Было обнаружено, что NDVI обладает достоверной умеренной и прямой сильной корреляционной связью с ARI1 и CRI1 соответственно. Каротиноидный индекс, в свою очередь, также продемонстрировал достоверную сильную и умеренную корреляционную связь с LIC1 и ARI1. Взаимосвязь LIC1 с TVI, а также CRI1 с ARI1 указывает на то, что динамика содержания хлорофилла, антоцианов и каротиноидов взаимосвязана и отражает адаптивные механизмы растений в разных условиях произрастания [22-24].

Закключение. Более высокие значения NDVI и TVI листовых пластинок *R. pseudoacacia* у П2 на ранних фенологических фазах могут указывать на лучшую адаптацию фотосинтетического аппарата и более высокое содержание хлорофилла по сравнению с П1. В то же время отрицательные значения PRI в листьях *R. pseudoacacia* у П1 на стадии массового цветения демонстрируют снижение фотохимической эффективности и усиление абиотического стресса, тогда как более высокие значения LIC1 у этой популяции на фазах массового цветения и начала созревания плодов могут, предположительно, указывать на структурные изменения фотосинтетического аппарата. Достоверные корреляции между каротиноидным (CRI1) и антоциановым (ARI1) индексами подтверждают, что растения одновременно задействуют оба типа фотозащитных пигментов в ответ на неблагоприятные условия окружающей среды.

Таким образом, анализ вегетационных индексов показывает, что П2 характеризуется более активным фотосинтезом на ранних фенофазах, тогда как П1 испытывает более выраженный абиотический стресс в период массового цветения, но при этом дольше сохраняет зеленую биомассу на поздних стадиях вегетации, что может говорить о вариативности стратегии адаптации *R. pseudoacacia*. Корреляции между спектральными индексами подчёркивают взаимосвязь хлорофилла и защитных пигментов в формировании адаптивных реакций растений к засушливым условиям.

Conclusions. Higher NDVI and TVI values of *R. pseudoacacia* leaves in the Kirov Breeding and Seed Production Complex at early phenological phases may indicate better adaptation of the photosynthetic apparatus and higher chlorophyll content compared to the Krasnoarmeysky population. At the same time, negative PRI values in *R. pseudoacacia* leaves from the Krasnoarmeysky site during the mass flowering stage demonstrate reduced photochemical efficiency and increased abiotic stress, whereas higher LIC1 values in this population during the flowering and early fruit-ripening phases may presumably indicate structural modifications of the photosynthetic apparatus. Significant correlations between the carotenoid index (CRI1) and the anthocyanin index (ARI1) confirm that plants simultaneously activate both types of photoprotective pigments in response to adverse environmental conditions.

Thus, the analysis of vegetation indices shows that the Kirov population of *R. pseudoacacia* is characterized by higher photosynthetic activity at early phenophases, while the Krasnoarmeysky population experiences stronger abiotic stress during flowering but retains green biomass longer at later stages of vegetation. Correlations among spectral indices highlight the interrelationship between chlorophyll and protective pigments in shaping the adaptive responses of plants to arid conditions.

Библиографический список

1. Nicolescu V. N., Rédei K., Mason W. L. et al. Ecology, growth and management of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.), a non-native species integrated into European forests. Journal of Forestry Research. 2020. V. 31. No 4. Pp. 1081-1101.
2. Лазарев С. Е. Формовое разнообразие и декоративные свойства представителей рода *Robinia* в условиях сухой степи. Научно-агрономический журнал. 2020. Т. 109. No 2. С. 42-50.
3. Узолин А. И., Кулик А. В. Агролесомелиорация и защитное лесоразведение в сухих степях правобережья Среднего Дона Волгоградской области. Агролесомелиорация и защитное лесоразведение. 2016. С. 919.
4. Papaioannou A., et al. *Robinia pseudoacacia* as a valuable invasive species for the restoration of degraded croplands. Catena. 2016. V. 137. Pp. 310-317.

5. Семенютина А. В., Лазарев С. Е. Особенности роста и развития представителей родового комплекса *Robinia* L. в условиях интродукции. Наука. Мысль: электронный периодический журнал. 2018. Т. 8. № 3. С. 46-55.
6. Крылов П. А., Титов Д. А. Оценка спектральных профилей листовой пластинки *Quercus robur* L. в норме и при заболевании мучнистой росой. Аграрный научный журнал. 2024. № 4. С. 34-39.
7. Zybinskaya P. A., Tretyakova A. V., Krylov P. A. Spectral evaluation of the vital state of *Quercus robur* L. under simulated drought conditions. Scientific Visualization. 2025. V. 17. No 1. Pp. 36-44.
8. Семенютина А. В., Климов А. Д. Анализ биоресурсов генофонда *Robinia*, *Gleditsia* для лесомелиоративных комплексов на основе изучения адаптации к стресс-факторам. Наука. Мысль: электронный периодический журнал. 2018. № 2. С. 33-45.
9. Хужахметова А. Ш., Воронина В. П., Лазарев С. Е. Оценка пространственной структуры древесно-кустарниковых насаждений города Волгограда по данным мультиспектральных космических снимков. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. Т. 67. № 3. С. 218-232.
10. Hutayanon T., Somprasong K. Application of integrated spatial analysis and NDVI for tree monitoring in reclamation area of coal mine. Environmental Science and Pollution Research. 2023. Pp. 1-11.
11. Православнова Е. П. и др. О состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2024 году: доклад. Комитет природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области. Волгоград: «ТЕМПО-РА». 2025. 300 с.
12. Семенютина А. В. и др. Научные основы и методы мониторинга состояния и динамики дендрофлоры лесомелиоративных комплексов в целях предотвращения деградации и опустынивания территорий. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2024. 196 с.
13. Xing N., Huang W., Xie Q., Shi Y., Ye H., Dong Y., Wu M., Sun G., Jiao Q. A transformed triangular vegetation index for estimating winter wheat leaf area index. Remote Sensing. 2019. V. 12. No 1. P. 16.
14. Verrelst J., Schaepman M. E., Koetz B., Kneubühler M. Angular sensitivity analysis of vegetation indices derived from CHRIS/PROBA data. Remote Sensing of Environment. 2008. V. 112. No 5. Pp. 2341-2353.
15. Broge N. H., Leblanc E. Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. Remote sensing of environment. 2001. V. 76. No 2. Pp. 156-172.
16. Золин Ю. А., Сухова Е. М., Сухов В. С. Измерения фотохимического индекса отражения как инструмент дистанционного мониторинга фотосинтетических параметров растений. Биофизика. 2024. Т. 69. № 3. С. 603-614.
17. Gitelson A. A. et al. Non-destructive and remote sensing techniques for estimation of vegetation status. Proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture, Montpellier, France. 2001.
18. Li X., Lv X., Wang X., Wang L., Zhang M., Ren M. Effects of abiotic stress on anthocyanin accumulation and grain weight in purple wheat. Crop and Pasture Science. 2018. V. 69. No 12. Pp. 1208-1214.
19. Orsák M., Kotíková Z., Hnilička F., Lachman J. Effect of long-term drought and waterlogging stress on photosynthetic pigments in potato. Plant, Soil & Environment. 2023. V. 69. No 4.
20. Mibei E. K. et al. Carotenoid profiling of the leaves of selected African eggplant accessions subjected to drought stress. Food science & nutrition. 2017. V. 5. No 1. Pp. 113-122.
21. Cho M. A., Sobhan I., Skidmore A. K., De Leeuw J. Discriminating species using hyperspectral indices at leaf and canopy scales. International Archives of Spatial Information Sciences. 2008. Pp. 369-376.
22. Li Z., Ahammed G. J. Plant stress response and adaptation via anthocyanins: A review. Plant Stress. 2023. V. 10. P. 100230.
23. Ashikhmin A. et al. The adaptive role of carotenoids and anthocyanins in *Solanum lycopersicum* pigment mutants under high irradiance. Cells. 2023. V. 12. No 21. P. 2569.
24. Merzlyak M. N., Chivkunova O. B. Light-stress-induced pigment changes and evidence for anthocyanin photoprotection in apples. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. 2000. V. 55. No 2-3. Pp. 155-163.

References

1. Nicolescu V. N., Rédei K., Mason W. L. et al. Ecology, growth and management of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.), a non-native species integrated into European forests. Journal of Forestry Research. 2020. V. 31. No 4. Pp. 1081-1101.
2. Lazarev S. E. Form diversity and decorative properties representatives of the genus *Robinia* in the dry steppe. Scientific Agronomy Journal. 2020. Vol. 109. No 2. Pp. 42-50.
3. Uzolin A. I., Kulik A. V. Agroforestry reclamation and protective afforestation in the dry steppes of the right-bank Middle Don, Volgograd region. Agroforestry Reclamation and Protective Afforestation. 2016. P. 919.
4. Papaioannou A., et al. *Robinia pseudoacacia* as a valuable invasive species for the restoration of degraded croplands. Catena. 2016. V. 137. Pp. 310-317.
5. Semenutina A. V., Lazarev S. E. Features of growth and development of representatives the generic complex of *Robinia* L. in conditions of introduction. World Ecology Journal. 2018. V. 8. No 3. Pp. 46-55.
6. Krylov P. A., Titov D. A. Assessment of spectral profiles of the leaf *Quercus robur* L. under normal conditions and with powdery mildew disease Agrarian Scientific Journal. 2024. No 4. Pp. 34-39.
7. Zybinskaya P. A., Tretyakova A. V., Krylov P. A. Spectral evaluation of the vital state of *Quercus robur* L. under simulated drought conditions. Scientific Visualization. 2025. V. 17. No 1. Pp. 36-44.
8. Semenutina A. V., Klimov A. D. Analysis of bioresources of the gene pool of *Robinia*, *Gleditsia* for forest meliorative complexes on the basis of studying adaptation to stress factors. World Ecology Journal. 2018. No. 2. Pp. 33-45.
9. Khuzhakhmetova A. Sh., Voronina V. P., Lazarev S. E. Evaluation of the spatial structure of tree plantations of the city of Volgograd according to multispectral satellite images. Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp. 2022. V. 67. No 3. Pp. 218-232.
10. Hutayanon T., Somprasong K. Application of integrated spatial analysis and NDVI for tree monitoring in reclamation area of coal mine. Environmental Science and Pollution Research. 2023. Pp. 1-11.

11. Pravoslavnova, E. P. et al. On the State of the Environment of the Volgograd Region in 2024: Report. Committee on Natural Resources, Forestry and Ecology of the Volgograd Region. Volgograd: TEMPORA, 2025. 300 p.
12. Semenytina A. V. et al. Scientific basis and methods of monitoring the state and dynamics of dendroflora of forest-reclamation complexes in order to prevent degradation and desertification of territories. Volgograd: FSC Agroecology RAS, 2024. 196 p.
13. Xing N., Huang W., Xie Q., Shi Y., Ye H., Dong Y., Wu M., Sun G., Jiao Q. A transformed triangular vegetation index for estimating winter wheat leaf area index. *Remote Sensing*. 2019. V. 12. No 1. P. 16.
14. Verrelst J., Schaepman M. E., Koetz B., Kneubühler M. Angular sensitivity analysis of vegetation indices derived from CHRIS/PROBA data. *Remote Sensing of Environment*. 2008. V. 112. No 5. Pp. 2341-2353.
15. Broge N. H., Leblanc E. Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. *Remote sensing of environment*. 2001. V. 76. No 2. Pp. 156-172.
16. Zolin Yu. A., Sukhova E. M., Sukhov V. S. Measurements of photochemical reflectance index as a tool for remote monitoring of photosynthetic parameters of plants. *Biological physics*. 2024. V. 69. No 3. Pp. 603-614.
17. Gitelson A. A. et al. Non-destructive and remote sensing techniques for estimation of vegetation status. *Proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture*, Montpellier, France. 2001.
18. Li X., Lv X., Wang X., Wang L., Zhang M., Ren M. Effects of abiotic stress on anthocyanin accumulation and grain weight in purple wheat. *Crop and Pasture Science*. 2018. V. 69. No 12. Pp. 1208-1214.
19. Orsák M., Kotíková Z., Hnilička F., Lachman J. Effect of long-term drought and waterlogging stress on photosynthetic pigments in potato. *Plant, Soil & Environment*. 2023. V. 69. No 4.
20. Mibei E. K. et al. Carotenoid profiling of the leaves of selected African eggplant accessions subjected to drought stress. *Food science & nutrition*. 2017. V. 5. No 1. Pp. 113-122.
21. Cho M. A., Sobhan I., Skidmore A. K., De Leeuw J. Discriminating species using hyperspectral indices at leaf and canopy scales. *International Archives of Spatial Information Sciences*. 2008. Pp. 369-376.
22. Li Z., Ahammed G. J. Plant stress response and adaptation via anthocyanins: A review. *Plant Stress*. 2023. V. 10. P. 100230.
23. Ashikhmin A., et al. The adaptive role of carotenoids and anthocyanins in *Solanum lycopersicum* pigment mutants under high irradiance. *Cells*. 2023. V. 12. No 21. P. 2569.
24. Merzlyak M. N., Chivkunova O. B. Light-stress-induced pigment changes and evidence for anthocyanin photoprotection in apples. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2000. V. 55. No 2-3. Pp. 155-163.

Информация об авторах

Третьякова Анна Вадимовна, аспирант, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), ORCID: 0009-0001-4478-4711, e-mail: tretaykova@vfanc.ru

Зыбинская Полина Алексеевна, аспирант, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), ORCID: 0000-0002-7493-1110, e-mail: zybinskaya-pa@vfanc.ru

Крылов Павел Андреевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник с и. о. заведующего лабораторией, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), ORCID: 0000-0001-9587-5886, e-mail: krylov-p@vfanc.ru

Authors' Information

Tretaykova Anna Vadimovna, Postgraduate student, Junior Researcher, Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: 0000-0001-9587-5886, e-mail: tretaykova@vfanc.ru

Zybinskaya Polina Alekseevna, Postgraduate student, Junior Researcher, Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: 0000-0001-9587-5886, e-mail: zybinskaya-pa@vfanc.ru

Krylov Pavel Andreevich, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Head of the Laboratory, Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: 0000-0001-9587-5886, e-mail: krylov-p@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-24

THE ANALYSIS OF THE FORESTS FIRES CAUSES IN THE SARATOV REGION**Tyutin A. V., Ivchenko O. A., Kozachenko M. A., Pankin K. E.**

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov
Saratov, Russian Federation

Corresponding author E-mail: texmexium@mail.ru

Received 20.07.2025

Submitted 30.11.2025

Summary

This work presents the results of forest fire cause analysis in Saratov region in 2015-2023. It was shown that the formulations of the causes of forest fires in the region and their contribution do not differ from the all-Russian ones. Thus, the largest part of forest fires occurs due to "careless handling of fire" (47 %), "forest fire spread from adjacent territory" (27 %). For a significant number of forest fires (10-20 % per year), the cause was not established, which raises concern. The semantic analysis of the formulations of the causes of forest fires revealed incomplete information about the fire cause, which should also contain information about the first place of the fire and the actions/process that led to the burning.

Abstract

Introduction. The relevance of this work is to identify the causes of forest fires in the Saratov region for the period 2015-2023, which is necessary to improve measures to combat forest fires. Information on the causes of forest fires, as well as their changes from year to year, will improve the effectiveness of fire prevention and forest fire protection. **Materials and methods.** A statistical study of the causes of forest fires in the Saratov region, included in the protocols for extinguishing forest fires for the study period, was conducted. Research results. Information on the causes of forest fires was collected and processed. A comparison was made of the situation with forest fires and their causes in a similar Central Siberian subtaiga-forest-steppe region of the Krasnoyarsk Territory. It is shown that the situation with forest fires in the Saratov region is much more tense in comparison with similar regions of Siberia. A generalization of the causes of forest fires in the Saratov region was carried out and their relative values were compared with the results of studies of the Krasnoyarsk Territory. A close similarity between the compared regions was found for a number of reasons, such as "thunderstorm", "careless handling of fire", "other reasons". It was found that most of the formulations specified both in forest fire reports and in specialized literature do not allow one to form an objective opinion on the true causes and to make their quantitative and qualitative identification. Proposals for improving the collection of information on forest fires were formulated and recommendations for forestry workers were compiled.

Keywords: forest fires, fire-prone seasons, causes of forest fires, fire prevention measures, anthropogenic factors, forest cover of regions.

Citation. Tyutin A. V., Ivchenko O. A., Kozachenko M. A., Pankin K. E. The analysis of the forests fires causes in the Saratov region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 233-247 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-24.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 630*432(470.44)

АНАЛИЗ ПРИЧИН ПОЖАРОВ В ЛЕСАХ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Тютин А. В., старший преподаватель

Ивченко О. А., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Козаченко М. А., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Панкин К. Е., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

ФГБОУ ВО Саратовской государственной университет генетики, биотехнологии и инженерии
имени Н. И. Вавилова
г. Саратов, Российская Федерация

Актуальность исследования заключается в выявлении причин возникновения лесных пожаров в Саратовской области за период 2015-2023 гг., что необходимо для совершенствования мероприятий по борьбе с ними. Сведения о причинах лесных пожаров, а также изменения их год от года позволят повысить эффективность противопожарной профилактики и защите лесов от пожаров. **Материалы и методы.** Проведено статистическое исследование причин лесных пожаров в Саратовской области, внесенных в протоколы тушения лесных пожаров за исследуемый период. **Результаты исследований.** Собрана и обработана информация о причинах пожаров в лесах. Проведено сравнение обстановки с лесными пожарами и их причинами в аналогичном среднесибирском подтаежно-лесостепном районе Красноярского края. Показано, что обстановка с лесными пожарами в Саратовской области гораздо более напряженная в сравнении с аналогичными районами Сибири. Проведено обобщение причин лесных пожаров в Саратовской области, и их относительные значения сопоставлены с результатами исследований Красноярского края. По ряду причин, таких как «гроза», «неосторожное обращение с огнем», «иные причины» найдено близкое сходство между сравниваемыми регионами. Обнаружено, что большинство формулировок указанных и в протоколах лесных пожаров, и в профильной литературе не позволяют составить объективное мнение об истинных причинах и произвести их количественную и качественную идентификацию. Сформулированы предложения для совершенствования сбора информации о лесном пожаре и составлены рекомендации для работников лесного хозяйства.

Ключевые слова: лесные пожары, пожароопасные сезоны, причины лесных пожаров, противопожарные мероприятия, антропогенные факторы, лесистость регионов.

Цитирование. Тютин А. В., Ивченко О. А., Козаченко М. А., Панкин К. Е. Анализ причин пожаров в лесах Саратовской области. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 233-247. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-24.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Обстановка с лесными пожарами осложняется из года в год во всех странах богатых лесными ресурсами. Если в середине XX века в мире регистрировалось до 200 тыс. лесных пожаров в год (Н. П. Курбатский, *Возникновение лесных пожаров М., 1964*; И. С. Мелехов, *Лесные пожары и борьба с ними. Архангельск, 1935*), то к концу столетия их происходило от 2 до 3 млн. Во второй декаде XXI века число лесных пожаров уже достигло значений 6-7 млн в год [1].

Российская Федерация относится к территориям, богатым лесами, которые занимают около 46,7 % территории страны, большая часть которых сформирована хвойными породами деревьев (80 %). Лесистость территории страны возрастает с запада на восток. Наиболее богата лесами Сибирь – территория страны, располагающаяся восточнее Уральских гор. Здесь средняя лесистость по Федеральным округам составляет 76,7 %.

В нашей стране в последние 10-15 лет регистрируются 35-40 тыс. лесных пожаров в год на площади от 500 тыс. до 9 млн га по данным (ФБУ «Авиалесохрана» <https://aviales.ru/>). По числу пожаров за последние 15 лет преобладают районы Сибири и Дальнего Востока. Ущерб от лесных пожаров достигает 20 млрд руб., из них от 3 до 7 млрд – ущерб лесному хозяйству (потери древесины). Остальные затраты – это расходы на тушение и последующую расчистку горелых площадей, ущерб от гибели животных, загрязнение продуктами горения, затраты на восстановление леса и т. п. Обстановка с пожарами неравномерна, приблизительно раз в 10 лет наблюдается резкое осложнение обстановки с лесными пожарами. Так было 2010 году, сложная лесопожарная обстановка наблюдалась в 2020 году и т. п.

Лесные пожары и борьба с ними важная составляющая деятельности человека в области лесного хозяйства. Однако, в отличие от Сибири, регионы юга и юго-востока Европейской части РФ обладают лесистостью территорий менее 7 %. Отсюда может создаться ложное впечатление, что полноценного обеспечения противопожарной защиты заслуживают только леса многолесных регионов (лесистость более 30 %), что в корне неверно. Понятно, что в малолесных регионах заготовка древесины нерентабельна и бессмысленна, тем не менее, леса в таких регионах выполняют не менее важную функцию – защитную, согласно Лесному плану Саратовской области. Леса в лесостепной и степной лесорастительных зонах наиболее уязвимы для пожаров хотя бы потому, что процесс естественного или искусственного лесовосстановления на данных территориях в значительной степени затруднен сочетанием биогенных и абиогенных факторов природной среды.

К факторам, осложняющим ежегодную лесопожарную обстановку, относят повышение антропогенной нагрузки на леса [2-4], изменение климата [5-8] и т. п. Строительство скоростных автомагистралей, активная автомобилизация населения приводят к тому, что лесные массивы, расположенные в 50-100 км от населенных пунктов, становятся доступными для посещения человеком. Все чаще лесные пожары создаются искусственно, чтобы скрыть незаконную деятельность по вырубке лесов с целью реализации древесины. Однако лесной пожар – это только следствие происходящих в лесном массиве естественных или искусственных процессов. Широко известно, что наиболее эффективна борьба с лесными пожарами на уровне профилактики, которая невозможна без выявления истинных причин возникновения лесных пожаров и сосредоточения деятельности лесоправляющих организаций именно на них для исключения или максимального снижения их в будущем.

Понятно, что при некоторой общности причин возникновения лесных пожаров разные территории и лесорастительные зоны будут характеризоваться различным относительным вкладом отдельных причин в общую картину. Например, погодные условия будут формировать условия для грозовой обстановки, которые в разных регионах будут давать разный вклад [3, 9]. Точно также разница в эксплуатации промышленных и сельскохозяйственных объектов должна формировать разную лесопожарную обстановку. Это, в свою очередь, будет обуславливать индивидуальный набор действий необходимых для эффективной противопожарной профилактики в лесах. Поэтому целью настоящей работы является выявление причин возникновения лесных пожаров в Саратовской области, выявление особенностей формирования пожарной обстановки в регионе в сравнении с многолесными территориями Сибири и выработка предложений по совершенствованию мероприятий по защите лесов региона от пожаров.

Материалы и методы. Исследованию подверглось содержимое протоколов тушения лесных пожаров (ЛП) в Саратовской области в период 2015-2023 гг. Проведен статистический и смысловой анализ причин по районам региона исследования, а также оценена динамика этих причин за исследуемый период.

Результаты и обсуждение. Число ЛП в Саратовской области за исследуемый период представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Число лесных пожаров в Саратовской области (2015-2023 гг.)

Table 1 – Forest fires amount in the Saratov region for 2015-2023

Год / Year	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Число ЛП / Number of forest fires	94	10	33	94	50	144	63	14	25

В регионе число ЛП пожаров от года к году различается: минимальное число (10) наблюдалось в 2016 году, а максимальное (144) – в 2020 году. В среднем, число ЛП составляет 50-70 ед.

Пожароопасный сезон (ПОС) в Саратовской области длится семь месяцев с 1 апреля по 1 ноября и, фактически, ограничен временем от схода снежного покрова до установления холодного периода (1 ноября – 15 декабря) в течение которого температура воздуха колеблется от 0 до +6°C. Распределение ЛП представлено на диаграмме (см. рисунок 1).

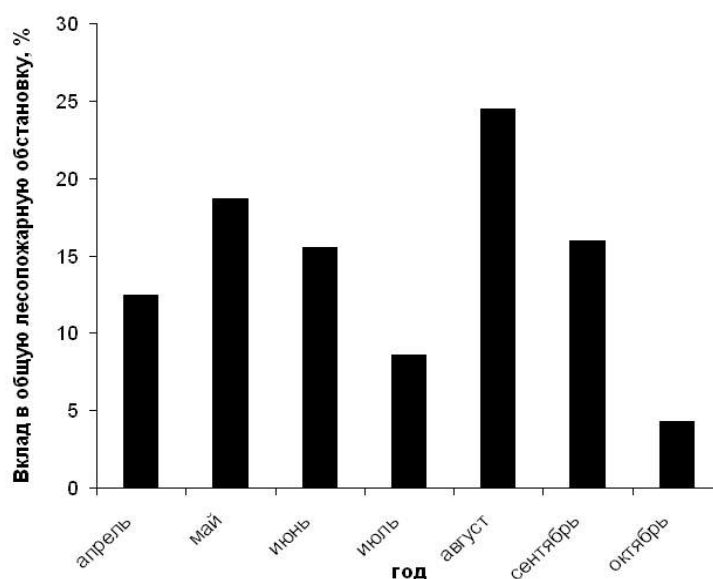


Рисунок 1 – Распределение среднего числа лесных пожаров в Саратовской области по месяцам за 2015-2023 гг.

Figure 1 – The average number of forest fires distribution by month in the Saratov region in 2015-2023

Представленные результаты показывают, что пожароопасный сезон имеет два ярко выраженных периода: первый – май-июнь; второй август, после которых обстановка с ЛП идет на спад (июль и октябрь). Такое распределение напрямую связано с сезонами сельскохозяйственных работ и отпусками (каникулами) граждан.

У каждого ЛП есть причина. Анализ имеющихся сведений показывает, что все причины возникновения лесных пожаров можно разделить на две большие группы: естественные и искусственные. К естественным причинам возникновения лесных пожаров относятся грозовые разряды и извержения вулканов (в регионах с активной вулканической деятельностью). Все остальные причины относят к искусственным, также называемым в отдельных работах антропогенными [3], так как они однозначно связаны с деятельностью человека. Группа антропогенных причин разделяются на две подгруппы: преднамеренные и непреднамеренные. К первым относят поджоги, ко вторым – неосторожное обращение с огнем,

или ошибки при эксплуатации технических средств. Интересный подход к выявлению причины ЛП приведен в работе [3]. Так если ЛП возникает в радиусе 5-20 км от ближайшего населенного пункта – это антропогенная причина, если дальше, то причиной является гроза. Результаты исследования распределения причин лесных пожаров для Саратовской области представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Распределение причин возникновения лесных пожаров в Саратовской области за 2015-2023 гг.

Table 2 – Distribution of the causes of forest fires in the Saratov region in 2015-2023

№	Причина лесного пожара / The cause of the forest fire	Вклад в лесопожарную обстановку региона, % / Contribution to the forest fire situation in the region, %
1	Гроза / Thunderstorm	2,97
2	Поджог / Arson	6,69
3	Неосторожное обращение с огнем / Careless handling of fire	47,21
4	Приход пожара с сопредельной территории / The arrival of a fire from the adjacent territory	26,77
5	Сельскохозяйственный пап / Agricultural arson	5,95
6	Иные (неустановленные) причины / Other (unidentified) reasons	10,41

Причины ЛП, занесенные в протоколы тушения лесных пожаров в Саратовской области не отличаются от общероссийских (И. С. Мелехов, *Лесные пожары и борьба с ними*. Архангельск, 1935; Н. П. Курбатский, *Возникновение лесных пожаров*. М., 1964; П. М. Матвеев, *Лесная пирология*. Красноярск, 2002 и С. В. Залесов, *Лесная пирология: учебник для вузов*. Екатеринбург, 2013). Как видно из представленных результатов (см. таблицу 2), наибольший вклад (74 %) от всех причин дают «неосторожное обращение с огнем (НОО)» и «приход пожара с сопредельной территории (ППСТ)». Вызывает некоторые опасения 10 %-ный вклад иных (неустановленных) причин, который, к тому же, варьируется и, в отдельные годы, может достигать 20 %. Анализ литературы показал, что по данной причине аналогичная картина наблюдается в других регионах РФ, например, в районе лесостепей Красноярского края (аналогичном Саратовской области) вклад составляет 22 % [3].

Сравнение современной лесопожарной обстановки с ситуацией 50100 летней давности в России (СССР) представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Причины лесных пожаров и их динамика в Российской Федерации (СССР)

Table 3 – Causes of forest fires and their dynamics in the Russian Federation (USSR)

Причина лесного пожара / Causes of forest fires	Вклад причин в общую лесопожарную обстановку, % / The contribution of causes to the overall forest fire situation, %			
	1923-1927 гг. * / 1923-1927*	1950-ые** / the 1950s**	2002***	2018****
Гроза / Thunderstorm	0,2	3	2,7	19,2
Поджог / Arson	2,6	4	4,5	3,2
НОО / CHF	18	90	70	56,9
ж/д транспорт / railway transport	2,5	-	1,7	2,2
ППСТ / AFAT	4,4	-	5,8	18,1
Не установлено / Not known	72,3	-	15,3	0,71

Примечание: НОО – неосторожное обращение с огнем; ППСТ – приход пожара с сопредельной территории

* И. С. Мелехов, *Лесные пожары и борьба с ними*. Архангельск, 1935

** Н. П. Курбатский, *Возникновение лесных пожаров*. М., 1964

*** П. М. Матвеев, *Лесная пирология*. Красноярск, 2002

**** С. В. Залесов, *Лесная пирология: учебник для вузов*. Екатеринбург, 2013

Note: CHF – careless handling of fire; AFAT – arrival of fire from the adjacent territory

* I. S. Melekhov, *Forest fires and their control*. Arkhangelsk, 1935

** N. P. Kurbatsky, *The occurrence of forest fires*. Moscow, 1964

*** P. M. Matveev, *Forest pyrology*. Krasnoyarsk, 2002

**** S. V. Zalesov, *Forest pyrology: a textbook for universities*. Yekaterinburg, 2013

Из всех представленных данных вызывает наибольший интерес динамика неустановленных причин, которая снизилось в 100 раз, до 0,71 % (С. В. Залесов, *Лесная пироэкология: учебник для вузов. Екатеринбург, 2013*), хотя, собственные исследования и результаты, опубликованные в других источниках [3], показывают, что в первой половине XXI века пожары по неустановленным причинам, в среднем, составляют 15-20 % от общего числа пожаров.

Длительный ПОС включает в себя ряд социальных и производственных процессов, имеющих собственные сезонные особенности, поэтому все вышеперечисленные причины не могут давать равный вклад в каждом месяце. Был проведен анализ распределения причин лесных пожаров по месяцам. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Распределение причин лесных пожаров по месяцам ПОС в Саратовской области (2015-2023 гг.)

Table 4 – Forest fire causes distribution by months of the fire season in the Saratov region in 2015-2023

Месяц ПОС / Month	Причина лесного пожара / The cause of the forest fire	Вклад в общую лесопожарную обстановку, % / Contribution to the overall forest fire situation, %
Апрель / April	Неосторожное обращение с огнем / Careless handling of fire	5,95
	Приход пожара с сопредельной территории / The arrival of a fire from the adjacent territory	3,72
	Сельскохозяйственный пал / Agricultural arson	2,97
	Иные (неустановленные) причины / Other (unidentified) reasons	0,74
Май / May	Поджог / Arson	1,12
	Неосторожное обращение с огнем / Careless handling of fire	9,29
	Приход пожара с сопредельной территории / The arrival of a fire from the adjacent territory	6,69
	Иные (неустановленные) причины / Other (unidentified) reasons	1,49
Июнь / June	Гроза / Thunderstorm	2,97
	Поджог / Arson	2,23
	Неосторожное обращение с огнем / Careless handling of fire	5,58
	Приход пожара с сопредельной территории / The arrival of a fire from the adjacent territory	4,09
	Иные (неустановленные) причины / Other (unidentified) reasons	1,12
Июль / July	Неосторожное обращение с огнем / Careless handling of fire	4,46
	Приход пожара с сопредельной территории / The arrival of a fire from the adjacent territory	1,86
	Иные (неустановленные) причины / Other (unidentified) reasons	2,60
Август / August	Поджог / Arson	0,74
	Неосторожное обращение с огнем / Careless handling of fire	11,52
	Приход пожара с сопредельной территории / The arrival of a fire from the adjacent territory	7,81
	Иные (неустановленные) причины / Other (unidentified) reasons	4,46
Сентябрь / September	Неосторожное обращение с огнем / Careless handling of fire	8,55
	Приход пожара с сопредельной территории / The arrival of a fire from the adjacent territory	1,49
	Сельскохозяйственный пал / Agricultural arson	2,97
Октябрь / October	Поджог / Arson	2,60
	Неосторожное обращение с огнем / Careless handling of fire	1,86
	Приход пожара с сопредельной территории / The arrival of a fire from the adjacent territory	1,12

Из результатов, представленных в таблице 4 видно, что часть причин пожаров имеют явно выраженную сезонность, например, это «сельскохозяйственный пал» (апрель, сентябрь), гроза (июнь). Другая часть причин, назовем их стабильными, такие как «под-

жог», «неосторожное обращение с огнем», «приход пожара с сопредельной территории», «иные (неустановленные) причины» вызывает ЛП на протяжении всего пожароопасного сезона. В этом случае, есть возможность проследить их вклад в формирование ЛП в течение ПОС. Для удобства представления сведения о причинах ЛП выделены из таблицы 4 и представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Распределение стабильных причин возникновения ЛП в Саратовской области в период 2015-2023 гг.

Table 5 – Stable forest fires causes distribution in the Saratov region for 2015-2023

Месяц ПОС / Month	Поджог / Arson	НОО / Careless handling of fire	ППСТ / The arrival of a fire from the adjacent territory	Иные (неизвестные) / Other (unknown)
Апрель / April	0	5,95	3,72	0,74
Май / May	1,12	9,29	6,69	1,49
Июнь / June	2,23	5,58	4,09	1,12
Июль / July	0	4,46	1,86	2,60
Август / August	0,74	11,52	7,81	4,46
Сентябрь / September	0	8,55	1,49	2,97
Октябрь / October	2,60	1,86	1,12	0

Анализ результатов, представленных в таблице 5, показывает, что внутри ПОС Саратовской области существуют месяцы, в которых одни те же причины имеют пиковые значения. Таковыми являются *май* и *август*, что является отражением временного совпадения нескольких социальных и производственных процессов. В мае присутствуют длительный праздничный период (10 дней), а также активизация хозяйственной деятельности в лесах и на сопредельных территориях. *Июль–август* – традиционное время отпусков, которое какая-то часть населения проводит на природе (леса и водные объекты). Отсюда и массовое проявление ЛП по причинам «неосторожного обращения с огнем» и «прихода пожара с сопредельной территории».

Сведения о причинах ЛП не могут быть полными, без их сравнения с регионами, в которых сформировалась аналогичная лесорастительная обстановка. В качестве региона сравнения был выбран среднесибирский подтаежно-лесостепной район Красноярского края, исследование причин в которых опубликовано в работе [3]. Результаты сравнения представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Сравнение лесной и лесопожарной обстановки в Саратовской области и в среднесибирском подтаежно-лесостепном районе Красноярского края (*Лесные планы Саратовской области и Красноярского края*)

Table 6 – Comparison of region forestry and region forest fire conditions in the Saratov region and Krasnoyarsk region

№	Параметр сравниваемой территории / Parameter of the territory being compared	Саратовская область / Saratov region	Красноярский край / Krasnoyarsk region
1	2	3	4
1	Лесистость, % / Woodiness, %	6,3	69,3
2	Лесорастительная зона, лесорастительный район / Forest-growing area, forest-growing area	Лесостепная зона (44 % территории региона), лесостепной район Европейской части РФ / Forest-steppe zone (44 % of the region's territory), a forest-steppe region of the European part of the Russian Federation Степная (56 % территории региона), степной зона европейской части РФ / Steppe (56 % of the region's territory), a steppe zone of the European part of the Russian Federation	Лесостепная зона (2,4 % территории края) / Forest-steppe zone (2.4 % of the territory of the region) Среднесибирский подтаежно-лесостепной район / Central Siberian subtaiga-forest-steppe region

Окончание таблицы 6

1	2	3	4
3	Начало пожароопасного сезона / The beginning of the fire season	2 декада апреля / 2nd decade of April	1-2 декада апреля / 1-2 decade of April
4	Конец пожароопасного сезона / End of the fire season	3-я декада октября / 3rd decade of October	2-3 декада октября / 2-3 decades of October
5	Число пожаров в год, ед. / Number of forest fires per year, units	10-144 (2015-2023 гг.)	38-290 (2000-2020 гг.)
6	Верховые пожары, % / Crown fires, %	1,1	3,9
7	Низовые пожары, % / Surface fires, %	98,9	91,5
8	Почвенные, % / Ground fires, %	–	4,6
Причины лесных пожаров / Causes of forest fires			
9	Природные, % / Natural %	≈3 (грозы) / ≈3 (thunderstorms)	≈ 2,3 (грозы в лесостепной зоне) ≈ 93,1 (грозы в таежной зоне) / ≈ 2.3 (thunderstorms in the forest-steppe zone) ≈ 93.1 (thunderstorms in the taiga zone)
10	Антропогенные / Anthropogenic	–	–
10.1	- поджоги, % / - arson attacks, %	≈7	–
10.2	- неосторожное обращение с огнем населения, % / - careless handling of fire, %	43 (внутри квартала) / 43 (inside the block)	48,7 (от населения) / 48.7 (of the population)
10.3	неосторожное обращение с огнем лесозэксплуатирующих организаций, % / careless handling of fire by forest exploiting organizations, %	–	0,27
10.4	неосторожное обращение с огнем прочих организаций, % / careless handling of fire by other organizations, %	0,01	14,5
10.5	Сельскохозяйственный пал, % / Agricultural arson, %	≈6	5,4
10.6	От линейных объектов, % / From linear items, %	0,01	0,84
10.7	Приход пожара с сопредельной территории, % / The arrival of a fire from the adjacent territory, %	≈27	5,7
10.8	Степной пожар, % / Steppe fire, %	0,1	–
11	Неустановленные причины, % / Unknown causes, %	≈11	22,3

Анализ результатов, представленных в таблице 6, показывает, что лесорастительные и лесопожарные условия Саратовской области и южной части Красноярского края схожи между собой. Становится ясным, что нижняя граница числа ЛП в Красноярском крае совпадает с верхней в Саратовской области. Впрочем, следует отметить, в Красноярском крае площадь лесов входящих в лесостепную зону составляет 3900,4 тыс. га (*Лесной план Красноярского края*), в то время как, общая площадь лесов Саратовской области составляет только 737,7 тыс. га (*Лесной план Саратовской области*), что в 5,3 раза меньше.

Однако, если соотнести ежегодное число лесных пожаров в регионах к площадям их лесов, то становится очевидным обстановка с лесными пожарами в Саратовской области является гораздо более напряженной.

Анализ информации, внесенной в протоколы тушения, показывает, что указанные причины ЛП, в большинстве случаев причинами, как таковыми, не являются, так как причина лесного пожара (ЛП) должна иметь внутри себя три составляющих: (1) причину, как таковую; (2) место реализации причины; (3) виновник. Демонстрация такого подхода представлена в таблице 7.

Таблица 7 – Примеры уточнений для выявления истинных причин лесных пожаров

Table 7 – Clarifications to identify the forest fires true causes examples

Причина лесного пожара / The cause of the forest fire	Действительная причина / The real reason	Место возникновения ЛП / The place of occurrence of a forest fire	Виновник ЛП / The culprit of the forest fire
Гроза / Thunderstorm	Грозовой разряд / Lightning discharge	Внутри квартала / Inside the block	Природный процесс / The natural process
Поджог / Arson attacks	Умышленное действие / Deliberate action	Внутри квартала / Inside the block	Незаконный лесозаготовитель / Illegal logging
НОО / Careless handling of fire	Неумышленное действие / Unintentional action	Внутри квартала / Inside the block	Туристы / Tourists
ж/д транспорт / railway transport	Открытое пламя (курение) / Open flame (smoking)	Граница опушки леса (лесополосы) / The border of the forest edge (forest belts)	Пассажир (работник) ж/д транспорта / Passenger (employee) railway transport
ППСТ / The arrival of the fire from the adjacent territory	Потеря контроля над огневыми работами / Loss of control over fire operations	Прилегающая территория / The surrounding area	Местные жители / Local residents
неустановленная / unidentified	неизвестна / unknown	Прилегающая территория / The surrounding area	неизвестна / unknown

Примечание: НОО – неосторожное обращение с огнем; ППСТ – приход пожара с сопредельной территории

Применив такой подход можно выявить о ЛП и их виновниках довольно много информации, скорректировать, и выстроить эффективную профилактическую работу с местным населением, посетителями лесов и работниками промышленных и транспортных объектов. Тем не менее, выявлению объективной картины распределения причин возникновения ЛП мешают три фактора: (1) неполнота данных о лесных пожарах [10]; (2) отсутствие четкой инструкции по установлению причины возникновения лесного пожара [11]; (3) ограниченность по времени подачи сведений о ЛП в региональные отделы защиты лесов [11]. В литературе есть отдельные работы, в которых подробно разбираются составляющие причин ЛП, например (*Работа с населением по предотвращению лесных пожаров. М., 2006*). Однако, из-за высокой трудоемкости, подобные работы имеют единичный характер.

В Саратовской области непреднамеренный характер носит большая часть (60-95 %) причин всех ЛП за исследуемый период, а в отдельные годы, такие как 2017 и 2021, достигают 100 %. Однако, под «неосторожным обращением с огнем» может пониматься несколько отдельных подтипов (см. таблицу 2), различаемых по месту возникновения пожара: *внутри квартала, на опушке леса, на дороге между кварталами или вдоль опушки леса, приход фронта пламени с сопредельной территории*, так и по причине: *сельскохозяйственный пал, степной пожар, нарушение правил эксплуатации техники или линейных объектов (автомобильного и железнодорожного транспорта, линий электропередач и т. п.)*. Получается так, что в большинстве протоколов указывается либо место возникновения ЛП без указания причины, либо обобщенная причина без указания места возникновения. Поиск информации в профильной научной литературе [3,12,13] показал аналогичную картину (см. таблицу 6).

Естественные причины лесных пожаров. За исследуемый период в Саратовской области произошло 19 лесных пожаров (2-4 % в год), причину которых приписывают грозовым явлениям. Грозовой сезон начинается в Саратовской области в самом конце апреля –

первой половине мая, а завершается в сентябре. Несмотря на это, согласно сведениям протоколов, грозы являются причиной ЛП в Саратовской области только в конце июня (первая половина пожароопасного сезона). Для Саратовской области в этом нет ничего удивительного, так как к этому времени, наблюдается истощение запасов почвенной влаги и высушивание лесных горючих материалов в лесах.

В среднем такой вклад гроз в лесопожарную обстановку региона соответствует общероссийским показателям. В работе (Н. П. Курбатский, *Возникновение лесных пожаров*, М., 1964) отмечается, что еще в середине XX века общее число пожаров от грозových разрядов составляло 1-3 % от общего числа причин. В первой четверти XXI века собранные сведения [3] показывают аналогичную картину – в лесостепной зоне Красноярского края грозы становятся причинами лесных пожаров в 2-3 % случаев. Однако, есть территории Сибири (Приангарье, Иркутская область), в которых стабильно из года в год из-за гроз происходит более половины всех пожаров [12, 13], а на севере Красноярского края в таежной зоне грозы являются причиной лесных пожаров в 93,1 % случаев [3].

Если обсудить указанную причину в соответствии с подходом, изложенным в таблице 7, то видно, что «гроза» как причина указана, а ее место либо не обнаружено, либо не разыскивалось. В данном случае, разработка профилактического мероприятия затруднена из-за неполноты информации о причине ЛП. Было бы логично отнести в Саратовской области неустановленные причины ЛП к влиянию гроз, однако в регионе лесные массивы не многочисленны, а многочисленные населенные пункты находятся в радиусе менее 20 км от них.

Все причины ЛП, которые не относятся к природным, возникают в результате деятельности человека и называются – «антропогенным воздействием» [3, 12, 13], вклад которого составляет в среднем 45-50 % от общего числа лесных пожаров. Отнесение причин пожаров к этой группе указывает на то, что у пожара есть виновник – человек и его деятельность. В свою очередь антропогенное воздействие может подразделяться на «поджоги» и «неосторожное обращение с огнем».

Поджоги. Поджоги территорий, покрытых и непокрытых лесом, не являются редкостью и за последние 100 лет колеблются в пределах 2-5 % (см. таблицу 3). Поджоги осуществляют с двумя основными целями: (1) скрыть хищение древесных ресурсов, изъятых из лесных массивов в результате незаконных рубок или обеспечить такое хищение путем понижения ценности древесины «пораженной лесным пожаром»; (2) как аргумент в спорах между хозяйствующими субъектами, например, за владение территорией. В отличие от многолесных территорий Европейской части РФ и Сибири, в Саратовской области, согласно Лесному плану, промышленная заготовка древесины не ведется, хотя к ценным лесам относится 75 % от общей площади лесов. Это объясняется тем, что все леса в Саратовской области отнесены к защитным. Количество выявленных поджогов в лесах невелико и за исследуемый период в среднем составляют 6-8 % от всех причин лесных пожаров, что соответствует общероссийским значениям (Залесов С. В. *Лесная пирология: учебник для вузов*. Екатеринбург, 2013).

На самом деле, установить, что явилось причиной лесного пожара – поджог или неосторожное обращение с огнем – довольно трудно, так как сотрудники лесхозов и лесничеств в большинстве своем, не имеют соответствующей подготовки, а сжатые сроки (ежедневно) передачи протоколов тушения лесного пожара в региональную диспетчерскую службу лесного хозяйства не позволяют детально разобраться в произошедшем [11]. Поджог леса отвечает главному критерию – наличию у человека преступного намерения, которое, согласно законодательству РФ, подпадает не только под Кодекс об административных правонарушениях, но и под Уголовный Кодекс РФ. Поэтому, даже пойманный на месте преступления поджигатель, во избежание уголовного преследования будет всячески отрицать намеренность своих действий и объяснять случившееся неосторожным обращением с огнем и прятать признаки и орудия поджога. Исходя из этого, если в протокол тушения лесного пожара в качестве причины записывают «поджог», для этого есть веские основания.

Отнести причину ЛП к поджогу можно по косвенному признаку – поджигатели планируют свои действия таким образом, чтобы результатом был максимальный ущерб лесному массиву, поэтому, *априори*, должен быть больше, чем в случае неосторожного обращения с огнем. Следует отметить, что при нормально функционирующей системе профилактики и обнаружения ЛП, поджоги не имеют особого смысла, так как будут быстро обнаружены и ликвидированы. В таком случае, ущерба от поджога будет не больше, чем от не-

осторожного обращения с огнем. Это подтверждается тем, что средняя площадь, пораженная огнем от поджогов в лесах Саратовской области, за исследуемый период, составила, в среднем, 8,5 га на один ЛП, в то время как, средняя площадь пожаров от неосторожного обращения с огнем, составляет, в среднем, 17 га на один ЛП.

Единственным основанием для хищения леса в Саратовской области является наличие ценных пород древесины, в качестве которой выступает дуб черешчатый (*Quercus robur L.*) – коренная порода для Саратовской области (*Лесной план Саратовской области*). В этом случае, дубравы в возрасте 50-70 лет и старше наиболее уязвимы к незаконным рубкам, так как древесина к указанному возрасту достигает необходимого качества. Анализ преобладающей породы и бонитета кварталов, в которых произошли поджоги в 2015 году показывает, что 90 % поджогов было выявлено именно в дубравах 40-70 летнего возраста. В остальные годы (2016-2023 гг.) признаки поджогов обнаружены на территориях, занятых в основном сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*), а также на территории бывших горельников 2010 года, с преобладанием лиственных пород, видов – эксплерентов. Таким образом, лесничествам и правоохранительным органам удалось переломить ситуацию с незаконной заготовкой древесины дуба.

Споры хозяйствующих субъектов за территорию обычно носят локальный характер. Такие территории в Саратовской области находятся в Балашовском, Красноармейском и Лысогорском районах. Известно, что в указанных районах Саратовской области интенсивно ведется сельскохозяйственное производство, поэтому споры хозяйствующих субъектов за территорию исключать нельзя. Многократные обнаружения признаков поджога одной и той же лесной территории должны побудить принять ответные действия как со стороны противопожарных служб, так и со стороны правоохранительных органов РФ – Министерства внутренних дел и Прокуратуры. По числу пожаров из-за возможных конфликтов собственников составляет 3-4 % в год, при чем за исследуемый период такие пожары происходили только в 2018, 2021 и 2023 гг. Найти для сравнения официальную информацию о поджогах в лесах Красноярского края не удалось.

Неосторожное обращение с огнем. Фактически любая непреднамеренная деятельность человека, которая привела к возникновению лесного пожара будет отнесена к неосторожному обращению с огнем. Впрочем, запись такой причины в протокол ничего не говорит ни о месте действительного возникновения пожара, ни о самих виновниках, что крайне необходимо для совершенствования комплекса защитных мероприятий (см. таблицу 7). В результате непонятно с какими категориями граждан и работников необходимо проводить разъяснительную работу и где усиливать защиту леса противопожарными барьерами.

Для Саратовской области в протоколах за 2015 год редко (единицы случаев), но упоминаются виновники возникновения пожара, чаще всего это местное население. В оставшийся период (2016-2023 гг.) такие уточнения отсутствуют. Более детальная классификация причин и виновных представлена в работах [3] и (*Работа с населением по предотвращению лесных пожаров. М., 2006*) на примере Красноярского края. Здесь предложено виновных разделить на следующие категории: *местное население, лица эксплуатирующие леса, работники смежных предприятий (экспедиции, обслуживание линейных объектов и т. п.)*. Указанные причины были сопоставлены с исследуемым регионом и в количественном отношении представлены в таблице 6. Неохваченной в исследуемых регионах осталась важная категория граждан – *туристы*, которые также могут быть виновниками возникновения лесных пожаров, так как лесные массивы ими посещаются именно в летний период времени, который совпадает с пожароопасным сезоном.

Сравнение показателей регионов (см. таблицу 6) показало сравнимые значения вклада местного населения в лесопожарную обстановку 43 % в Саратовской области и 48,7 % в Красноярском крае. По остальным категориям виновников существуют серьезные различия, причиной которых является лесистость регионов. Так, промышленные объекты (железнодорожная инфраструктура, линии электропередач, трубопроводный транспорт и т. п.) в многолесном регионе располагаются в лесных массивах, в то время как в Саратовской области – в зоне преобладания травяных ценозов. Отсюда и разница: 14,5 % пожаров возникает по этой причине в Красноярском крае, вместо 0,01 % в Саратовской области. Вызывает сомнение, что в Саратовской области такие объекты эксплуатируются более безопасно, поэтому, более вероятно, что кромка пожара просто не добирается (пожар гаснет) до лесного массива (защитных лесных полос).

Пожар в лесном массиве может возникнуть в трех типах мест: внутри массива (квартала), на опушке леса и на сопредельной территории. Лесной массив наиболее уязвим к пожару именно *внутри квартала*, так как защитные мероприятия (наглядная агитация, противопожарные разрывы, минерализованные полосы и т. п.) проводятся только по их периметру. Согласно официальным сведениям, в Саратовской области лесные пожары по неосторожности внутри квартала составляют 43 % от их общего числа. Какой-либо тенденции (к возрастанию или снижению) в исследуемый период выявить не удалось. В среднем происходит 7-8 таких пожаров в месяц в течение всего пожароопасного сезона (с апреля по октябрь) с тенденцией к возрастанию, так как в мае-июле – 3-5 пожаров, в августе-сентябре – 7-10 пожаров, а в октябре снова обнаруживается 3-5 ед. Следует отметить, что не все пожары попадают в статистику, так как какое-то их количество на ранних стадиях тушат местные жители или посетители леса. Пожары, возникшие на опушке леса в Саратовской области в протоколах не отражены, вместе с тем, есть сведения о нескольких случаях возникновения пожара по неосторожности на лесных дорогах за исследуемый период. Если рассмотреть сведения для Красноярского края [3] и (*Работа с населением по предотвращению лесных пожаров. М., 2006*), то лесные пожары, возникшие на границе кварталов, не указываются, хотя сюда можно отнести пожары от сжигания порубочных остатков, от эксплуатации линейных объектов, вдоль которых обязательно проложены дороги местного значения и т. п. Таких пожаров насчитывается – ≈ 15 %.

Рассмотрим причину *«приход пожара с сопредельной территории»*. В количественном отношении ЛП в лесах Саратовской области в период 2015-2023 гг. с такой формулировкой составляют в среднем 27 %, в Красноярском крае к такой причине относят 5,7 % пожаров.

Необходимо отметить, что данная формулировка, записанная в качестве причины, говорит о месте возникновения пожара, но не о самой причине. Остается непонятным был ли это поджог, неосторожное обращение с огнем или вмешались стихийные силы природы? Кроме этого, такая формулировка как бы снимает ответственность с работников лесного хозяйства за ущерб лесу от ЛП. Пожар возник не в лесном массиве, а за его пределами, на которые полномочия лесничеств и лесхозов не распространяются. Тем не менее, это дает определенную пищу для размышлений при ответе на вопрос: *«Почему не работали противопожарные барьеры?»* или *«Почему неэффективна противопожарная пропаганда?»*. Именно это и доказывает вину работников лесного хозяйства.

В действительности реализоваться могут разные варианты: потеря контроля за проведением сельскохозяйственного пала, неосторожное обращение с огнем на дорогах общего пользования или в зонах рекреации (зоны отдыха, берега водных объектов и т. п.); поджоги/пожары степных ландшафтов; нарушение пожарной безопасности при эксплуатации железнодорожного транспорта и т. п. Тем не менее, наиболее подробное выяснение причин лесных пожаров в Саратовской области проводилось только в 2015 году. Из 16 лесных пожаров, возникших по этой причине в 2015 году степной пожар был выявлен 4 раза (25 %), зона рекреации (берег реки) – 5 раз (31 %), при эксплуатации железнодорожного транспорта – 1 раз (6 %), в остальных случаях точная причина пожара не установлена. В остальные годы – присутствует только одна формулировка – *«приход пожара с сопредельной территории»*.

В количественном отношении за исследуемый период лесные пожары произошли из-за потери контроля над *сельскохозяйственными палами*. Данный вид огневых работ в регионе запрещен законодательно, однако, проводится, а пожары от них наблюдаются в апреле и сентябре. Вклад данной причины в Саратовской области составляет 6 % в год, сравнимые цифры выявлены и для лесостепного района Красноярского края (5,4 %). Данная причина также может быть отнесена как к *«приходу пожара с сопредельной территории»*, так как данный вид сельскохозяйственных работ в лесных массивах не проводится, так и к маскировке *«поджога»*.

Степные пожары. Большая часть территории (54 %) Саратовской области располагается в степной зоне (*Лесной план Саратовской области*), именно этот факт стал причиной вовлечения местных земель в сельскохозяйственный оборот. Тем не менее, не все лесные территории региона используются как сельскохозяйственные угодья, что приводит к их заселению степными травами в течение 1-2 лет. *Степные пожары* как причина лесных пожаров, как указывалось выше, заносились в протокол только в четырех случаях за 2015

год (см. выше). В остальные годы уточнение причины самого степного пожара не осуществлялось, хотя он может быть следствием и «поджога», и «сельхозпала», и «неосторожного обращения с огнем». Поэтому для уточнения распределения причин пожаров требуется дополнительное расследование (исследование места начала ландшафтного пожара).

Иные причины возникновения лесных пожаров указываются примерно в 11 % случаев всех пожаров, выявляемых в Саратовской области. В работе [3] при анализе причин пожаров в Красноярском крае за тот же период наблюдается несколько иная картина, вклад неустановленных причин составляет 22,3 %. В случае Красноярского края есть основания относить данные пожары к возникшим по естественным причинам (грозовой разряд). Такое основание дает анализ дальности расположения места возникновения пожара от населенного пункта. В отличие от регионов Сибири [3], в Саратовской области обстановка несколько иная. Саратовская область не относится к грозоопасным регионам по данным работы [9]. Согласно данным представленным Главным управлением МЧС России по Саратовской области плотность населения Саратовской области составляет 24 чел./км². Большая часть населения сконцентрирована в областном центре – городе Саратове и Саратовском районе (1,2 млн чел. или 50 % населения), а также районных центрах. Лесные пожары возникают преимущественно не далее 5-7 км от населенных пунктов (90-95 %), а большинство из уже указанных происходят в пределах 1,5-3,5 км, из-за того, что в регионе присутствует много населенных пунктов, численность населения которых составляет 50-100 человек, расположенных (в среднем) в 1-5 км от лесных массивов. Кроме этого, в период летних отпусков, население из районных центров с целью рекреации переселяется в сельскую местность.

Совершенствование мероприятий противопожарной профилактики в лесах Саратовской области. Сотрудникам лесничеств и лесхозов необходимо усилить свою подготовку в области выявления действительных причин возникновения лесных пожаров, так как практически в более чем 50 % случаев истинная причина пожара не была установлена и была скрыта за формулировками «неосторожное обращение с огнем», «приход пожара с сопредельной территории» и т. п. Пожары, произошедшие по *иным причинам*, следует относить к неосторожному обращению с огнем и в качестве профилактических мер усилить противопожарную пропаганду среди населения. Рекомендовать тщательнее проводить установление действительного места и причин возникновения лесного пожара. В протоколах тушения лесного пожара необходимо выделить три дополнительных графы: «Место возникновения лесного пожара» (квартал, опушка леса, лесная дорога, сопредельная территория), «Причина лесного пожара» (природная, поджог, неосторожное обращение с огнем) и «предполагаемый виновник» (местное население, работники предприятий, туристы и т. п.).

Заключение. Обстановка с лесными пожарами в Саратовской области гораздо более напряженная, чем в аналогичном лесорастительном районе Сибири, несмотря на кардинальные различия в лесистости сравниваемых регионов, что обусловлено географическими, климатическими и экономико-демографическими факторами Саратовской области. Показано, что причины абсолютного большинства пожаров (более 95 %) отнесены к непреднамеренным, что соответствует общероссийским значениям. По многим параметрам найдено сходство вклада причин лесных пожаров сравниваемых регионов по относительному распределению лесных пожаров по таким причинам как «грозы», «неосторожное обращение с огнем», «сельскохозяйственный пал» и «иные причины». Малолесность Саратовской области проявляется только в одной причине – «приход пожара с сопредельной территории», которая в 2-4 раза выше аналогичного показателя для Красноярского края.

Conclusion. The forest fires situation in the Saratov region is much more tense than in the similar forest region of Siberia, despite the cardinal differences in the forest cover of the compared regions, which is due to the geographical, climatic and economic-demographic factors of the Saratov region. It is shown that the causes of the absolute majority of fires (more than 95 %) are attributed to unintentional, which corresponds to the all-Russian values. By many parameters, a similarity was found in the contribution of the forest fires causes of the compared regions by the relative distribution of forest fires by such reasons as "lightning", "careless handling of fire", "agricultural burning" and "other causes". The sparse forest cover of the Saratov region is manifested only in the reason – "arrival of a fire from an adjacent territory", which is 2-4 times higher than the similar indicator for the Krasnoyarsk region.

Библиографический список

1. Thomas P. Fire in the Forest. Cambridge University Press, 2010. 238 p.
2. Момот А. В. Влияние густоты дорожной сети на возникновение и последствия лесных пожаров. Лесотехнический журнал. 2014. № 3. С. 169-175.
3. Иванов В. А., Зверева Д. В., Иванова Г. А., Бакшеева Е. О. Антропогенная пожарная опасность лесов Среднесибирского подтаежно-лесостепного района. Хвойные бореальной зоны. 2023. № 5. С. 390-398.
4. Иванова Г. А., Иванов В. А., Мусохранова А. В., Онучин А. А. Лесные пожары и причины их возникновения на территории средней Сибири. Сибирский лесной журнал. 2023. № 6. С. 6-16.
5. Швиденко А. З., Щепашенко Д. Г. Климатические изменения и лесные пожары в России. Лесоведение. 2013. № 5. С. 50-61.
6. Валендик Э. Н., Кисильяхов Е. К., Рыжкова В. А., Пономарев Е. И., Голдаммер Й. Г. Лесные пожары в средней Сибири при аномальных погодных условиях. Сибирский лесной журнал. 2014. № 3. С. 43-52.
7. Снакин В. В. Неустойчивость природных процессов: глобальный климат. Использование и охрана природных ресурсов России. 2022. № 3. С. 3-11.
8. Третьяков П. Д., Пономарев Е. И. Горимость Арктической зоны Сибири в условиях климатических изменений XX – начала XXI вв. Сибирский лесной журнал. 2023. № 6. С. 17-31.
9. Аджиева А. А., Кереева З. М., Гятов Р. А., Тумгоева Х. А. Исследование числа дней с грозой и продолжительности гроз в году на территории Северного Кавказа. Успехи современного естествознания. 2020. № 8. С. 32-36.
10. Котельников Р. В., Мартынюк А. А. Математическая оценка достоверности информации о лесных пожарах. Известия ВУЗов. Лесной журнал. 2023. № 3. С. 21-34.
11. Савченкова В. А., Суховой М. В., Провин К. Н. Разработка методики предварительного определения причин возникновения лесного пожара. Успехи современного естествознания. 2021. № 5. С. 31-38.
12. Москальченко С. А., Иванов А. В., Иванов В. А., Спицына Н. Т. Пожарная опасность нелесных земель на территории нижнего Приангарья. Хвойные бореальной зоны. 2012. № 3-4. С. 291-297.
13. Фуряев В. В., Цветков П. А., Фуряев И. В., Злобина Л. П. Условия возникновения и распространения пожаров в лесных районах Красноярского края. Хвойные бореальной зоны. 2017. № 1-2. С. 66-74.

References

1. Thomas P. Fire in the Forest. Cambridge University Press, 2010. 238 p.
2. Momot A. V. The influence of road network density on the occurrence and consequences of forest fires. Forest Engineering Journal. 2014. No 3. Pp. 169-175.
3. Ivanov V. A., Zvereva D. V., Ivanova G. A., Baksheeva E. O. Anthropogenic fire hazard of forests of the Central Siberian subtaiga-forest-steppe region. Conifers of the boreal zone. 2023. No 5. Pp. 390-398.
4. Ivanova G. A., Ivanov V. A., Musokhranova A. V., Onuchin A. A. Forest fires and the causes of their occurrence in central Siberia. Siberian Forest Journal. 2023. No. 6. Pp. 6-16.
5. Shvidenko A. Z., Shchepashchenko D. G. Climate change and forest fires in Russia. Forest Science. 2013. No 5. Pp. 50-61.
6. Valendik E. N., Kisilyakhov E. K., Ryzhkova V. A., Ponomarev E. I., Goldammer J. G. Forest fires in central Siberia under abnormal weather conditions. Siberian Forestry Journal. 2014. No 3. Pp. 43-52.
7. Snakin V. V. Instability of natural processes: global climate. Use and protection of natural resources of Russia. 2022. No 3. Pp. 3-11.
8. Tretyakov P. D., Ponomarev E. I. Flammability of the Arctic zone of Siberia under climate change conditions of the 20th - early 21st centuries. Siberian Forestry Journal. 2023. No 6. Pp. 17-31.
9. Adzhieva A. A., Kerefova Z. M., Gyatov R. A., Tumgoeva H. A. Study of the number of days with thunderstorms and the duration of thunderstorms per year in the North Caucasus. Advances in modern natural science. 2020. No 8. Pp. 32-36.
10. Kotelnikov R. V., Martynyuk A. A. Mathematical assessment of the reliability of information on forest fires. News of universities. Forestry magazine. 2023. No 3. Pp. 21-34.
11. Savchenkova V. A., Sukhovey M. V., Provin K. N. Development of a methodology for preliminary determination of the causes of forest fires. Advances in modern natural science. 2021. No. 5. Pp. 31-38.
12. Moskalchenko S. A., Ivanov A. V., Ivanov V. A., Spitsyna N. T. Fire hazard of non-forest lands in the lower Angara region. Conifers of the boreal zone. 2012. No. 3-4. Pp. 291-297.
13. Furyaev V. V., Tsvetkov P. A., Furyaev I. V., Zlobina L. P. Conditions for the occurrence and spread of fires in forest areas of the Krasnoyarsk Territory. Conifers of the boreal zone. 2017. N 1-2. Pp. 66-74.

Информация об авторах

Тютин Александр Васильевич, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова» (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3.), ORCID 0000-0002-5982-8983, e-mail: aleksandartiutin@yandex.ru

Ивченко Ольга Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова» (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3.), ORCID 0000-0003-0710-5123, e-mail: olgalexan607@mail.ru

Козаченко Максим Анатольевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова» (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3.), ORCID 0000-0002-9165-0759, e-mail: lesfak-saratov@mail.ru

Панкин Кирилл Евгеньевич, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова» (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3.), ORCID 0000-0002-3023-1411, e-mail: texmexium@mail.ru

Authors' Information

Tyutin Aleksandr Vasilyevich, Senior Lecturer, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, 410012, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., corp. 4, building 3), ORCID 0000-0002-5982-8983, e-mail: aleksandartiutin@yandex.ru

Ivchenko Olga Aleksandrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, 410012, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., corp. 4, building 3), ORCID 0000-0003-0710-5123, e-mail: olgalexan607@mail.ru

Kozachenko Maksim Anatolyevich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, 410012, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., corp. 4, building 3), ORCID 0000-0002-9165-0759, e-mail: lesfak-saratov@mail.ru

Pankin Kirill Evgenievich, Professor, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, 410012, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., corp. 4, building 3), ORCID 0000-0002-3023-1411, e-mail: texmexium@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-25

THE TEMRYUK IRRIGATION SYSTEM: THE ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL AND RECLAMATION STATUS AND WAYS OF ITS OPTIMIZATION

Ustinova V. V.

*Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: ustinova-v@vfanc.ru

Received 20.10.2025

Submitted 08.12.2025

The study was carried out as part of a government assignment. FNFE-2025-0006 "To develop theoretical and practical foundations for the operation of reclamation systems using resource-saving technologies, as well as models for their functioning and management" (reg. № R&D 125020401361-1).

Summary

This article presents the results of a study aimed at solving the problems of water use in the Temryuk irrigation system. Technologies for the treatment of drainage and waste waters using natural sorbents are proposed, ensuring their safe reuse.

Abstract

Introduction. In the context of climate change and increasing anthropogenic pressure on water bodies, the problem of efficient use of water in agriculture is of paramount importance. Irrigation systems, especially in arid regions, face the need to minimize losses of water resources and reduce the volume of polluted wastewater discharged into natural reservoirs. The reuse of drainage and waste water is a strategically important area for ensuring water security and sustainable development of the agricultural sector. Of particular relevance to this issue is the need to prevent secondary salinization and soil pollution, which directly threatens agricultural land productivity and food security in the region. The development and implementation of effective drainage water treatment methods can not only reduce water intake from natural sources, but also minimize the negative impact on the environment. **The object.** The Temryuk irrigation system, located in the Temryuk district of the Krasnodar Territory, was chosen as the object of the study. **Materials and methods.** To determine the quality of water and soil resources, field studies were conducted at the beginning of the growing season and after, at the time of the formation of the final drainage runoff. Chemical analysis of water and soil samples was carried out in the soil analysis laboratory of the Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, based on special existing methods and GOST standards. The selection of drainage and waste water treatment and water conservation methods was carried out based on the analysis of modern developments by leading scientists in the field of land reclamation. **Results and conclusions.** An analysis of the land reclamation status showed that 23 % of irrigated areas require reclamation measures. Also, the practice of reusing drainage and waste water on an area of 1,200 hectares requires water treatment measures and strict water quality control. The technology of multi-stage water purification using natural sorbents will achieve a significant reduction in mineralization (up to 0.5-1.1 g/l) and the removal of specific pollutants, including heavy metal ions (Cu^{2+} , Pb^{2+} – up to 70-80 %). The proposed solutions will optimize the processes of water use and minimize the risks of degradation of the soil resource.

Keywords: irrigation systems, drainage and waste water, water mineralization, natural sorbents, secondary salinization, water purification systems.

Citation. Ustinova V. V. The Temryuk irrigation system: the assessment of the ecological and reclamation status and ways of its optimization. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 247-256 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-25.

Authors' contribution. All authors took part in the preparation and conduct of the study and analysis of its results. The presented version of the article was agreed with all authors.

Conflict of interest. All authors declared no conflicts of interest.

УДК 631.6+626/627

ТЕМРЮКСКАЯ ОРОСИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА: ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-МЕЛИОРАТИВНОГО СОСТОЯНИЯ И ПУТИ ЕГО ОПТИМИЗАЦИИ**Устинова В. В., инженер-исследователь, аспирант**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследование было выполнено в рамках государственного задания FNFE-2025-0006 «Разработать теоретические и практические основы эксплуатации мелиоративных систем с применением ресурсосберегающих технологий, модели их функционирования и управления» (рег. № НИОКТР 125020401361-1).

Актуальность. В условиях изменения климата и роста антропогенной нагрузки на водные объекты проблема эффективного использования воды в сельском хозяйстве приобретает первостепенное значение. Оросительные системы, особенно в засушливых регионах, сталкиваются с необходимостью минимизации потерь водных ресурсов и сокращения объема загрязненных стоков, сбрасываемых в природные водоемы. Повторное использование дренажно-сбросных вод представляет собой стратегически важное направление для обеспечения водной безопасности и устойчивого развития аграрного сектора. Особую актуальность данному вопросу придает необходимость предотвращения вторичного засоления и загрязнения почв, что напрямую угрожает продуктивности сельскохозяйственных земель и продовольственной безопасности региона. Разработка и внедрение эффективных методов очистки дренажных вод позволяют не только сократить водозабор из природных источников, но и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду. **Объект исследования.** Объектом исследования была выбрана Темрюкская оросительная система (ОС), расположенная в Темрюкском районе Краснодарского края. **Материалы и методы.** Для определения качества водных и почвенных ресурсов были проведены полевые исследования в начале периода вегетации и после, в момент формирования окончательного дренажного стока. Химический анализ проб воды и почвы проводился в лаборатории анализа почв ФНЦ агроэкологии РАН, опираясь на специальные существующие методики и ГОСТы. Подбор методов очистки дренажно-сбросных вод и водосбережения выполнялся на основе анализа современных разработок ведущих ученых в области мелиорации. **Результаты и выводы.** Анализ мелиоративного состояния земель показал, что 23 % орошаемых площадей требуют проведения мелиоративных мероприятий. Также практика повторного использования дренажно-сбросных вод на площади 1200 га требует проведения мероприятий по водоподготовке и строгого контроля качества воды. Технология многоступенчатой очистки воды с применением природных сорбентов позволила достичь значительного снижения минерализации (до 0.5-1.1 г/л) и удаления специфических загрязнителей, включая ионы тяжелых металлов (Cu^{2+} , Pb^{2+} – до 70-80 %). Предложенные решения позволяют оптимизировать процессы водопользования и минимизировать риски деградации почвенного ресурса.

Ключевые слова: оросительные системы, дренажно-сбросные воды, минерализация воды, природные сорбенты, вторичное засоление, системы очистки воды.

Цитирование. Устинова В. В. Темрюкская оросительная система: оценка эколого-мелиоративного состояния и пути его оптимизации. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 247-256. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-25.

Авторский вклад. Все авторы принимали участие в подготовке, проведении исследования и анализе его результатов. Представленный вариант статьи согласован со всеми авторами.

Конфликт интересов. Все авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Интенсификация использования водных ресурсов со временем приводит к их истощению, ухудшению качества воды (повышению содержания загрязняющих веществ, нарушению экологического равновесия водоемов), что влечет за собой экологические и экономические последствия, такие как нарушение биологического разнообразия, деградация водных экосистем, увеличение затрат на очистку воды, рост стоимости водоподготовки, а также возрастание социальной нагрузки (повышение заболеваемости населения, угроза водной безопасности и т.д.). На сегодняшний день особо актуальна проблема ресурсосбережения в сфере водопользования. Активно развивающееся сельское хозяйство в Краснодарском крае использует более 90 % водных ресурсов для орошения и обводнения [1]. Основными потребителями являются рисовые хозяйства, забирающие воду из Краснодарского водохранилища, а также в его нижнем бьефе из реки Кубань и ее притоков. Для осуществления рационального природопользования, повышения эффективности орошения и защиты окружающей среды важно своевременно проводить мониторинг

состояния природных ресурсов на оросительных системах во избежание их деградации. В условиях повышенной минерализации водных ресурсов, характерной для подземных и поверхностных источников многих регионов, возникает объективная необходимость в реализации специальных технологических решений, которые должны обеспечивать комплексную водоподготовку для оросительных нужд, эффективную очистку дренажных стоков, организацию системы повторного водопользования.

Таким образом, целью данного исследования является проведение оценки эколого-мелиоративного состояния компонентов Темрюкской оросительной системы, а также обоснование технических решений по водоподготовке и водосбережению для обеспечения устойчивого функционирования мелиоративного комплекса.

Задачами исследования является анализ качества оросительных и дренажно-сбросных вод и почвы; обзор существующих водосберегающих технологий и методов очистки дренажно-сбросных вод для их повторного использования.

Объектом исследования выбрана Темрюкская правобережная оросительная система, расположенная в нижней дельте реки Кубань [2].

Материалы и методы исследования. Исследования проводились в период начала вегетации и в конце вегетационного цикла в момент формирования окончательного дренажно-сбросного стока, с целью отследить динамику изменений показателей качества оросительной, сбросной воды и почвы. Химический анализ проб воды и почвы проводился в лаборатории анализа почв ФНЦ агроэкологии РАН, опираясь на специальные существующие методики и ГОСТы. Отбор проб оросительной воды проводился в источнике водозабора (р. Кубань), в распределительном оросительном канале, в сбросном канале согласно ГОСТ Р 59024-2020. Отбор проб почв проводился в рисовых чеках согласно ГОСТ 17.4.4.02-2017.

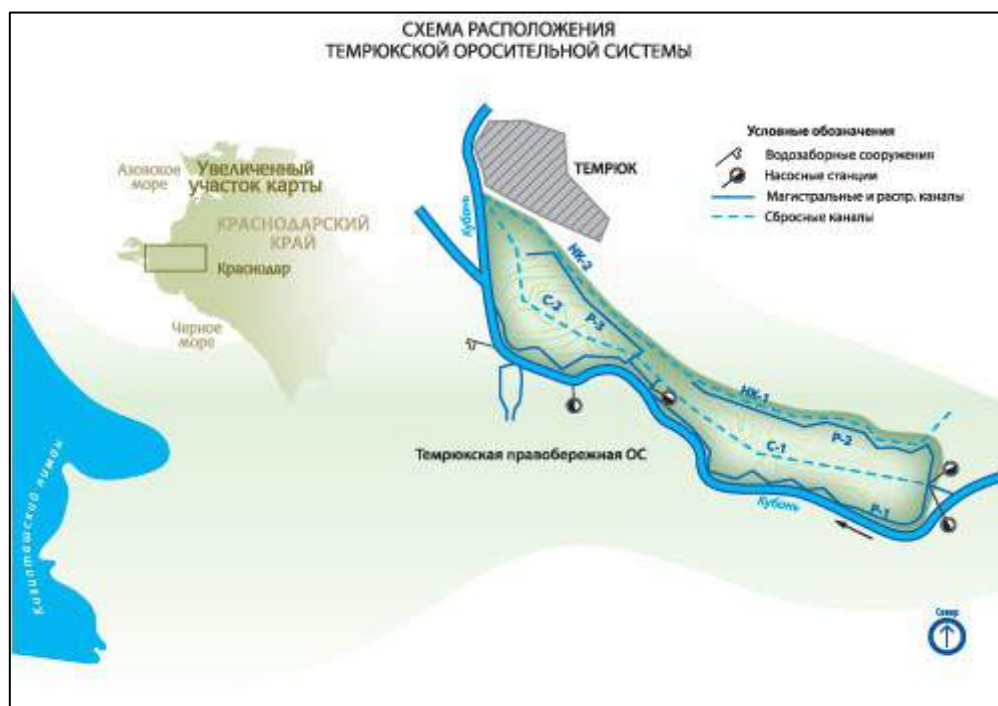


Рисунок 1 – Схема Темрюкской правобережной оросительной системы [1]

Figure 1 – Scheme of the Temryuk right-bank irrigation system [1]

Темрюкская правобережная оросительная система расположена на площади 6,3 тыс. га, где предусмотрено повторное использование сбросных вод на орошение риса [3]. Выбранный объект приурочен к лесостепной зоне. Растениеводство Темрюкского района характеризуется выращиванием овощных, колосовых и зернобобовых (43 %), зерновых и масличных культур (13,1 %), в том числе рис (4,7 %) [4]. Водозабор осуществляется из реки Кубань, и она же является приёмником дренажно-сбросных вод. Фактическая орошаемая площадь земель составляет 2043 га, то есть 29 % от всей площади [5]. Наличие пло-

щадей с неудовлетворительным мелиоративным состоянием связано с техническим износом мелиоративной сети и недостатком ремонтных работ, а также с засолением почвенных и водных ресурсов.

Результаты и их обсуждения. Темрюкская правобережная оросительная система относится к рисовому массиву междуречья Кубани и Протоки. Средняя глубина грунтовых вод по системе составляет примерно 1,56 метра. Это значение может варьироваться в зависимости от сезона и метеорологических условий. Средняя минерализация грунтовой воды колеблется в пределах 5-5,1 г/л, что может оказывать влияние на качество оросительных вод и состояние почв [6].

Анализ мелиоративного состояния орошаемых сельскохозяйственных угодий на Темрюкской системе показывает, что около 42 % земель находятся в хорошем состоянии, чему способствуют эффективное использование водных ресурсов и поддержание плодородия почв. Однако 23 % угодий оцениваются как находящиеся в неудовлетворительном состоянии, что может требовать дополнительных мер по улучшению мелиоративных характеристик и оптимизации оросительных процессов [5].

На площади около 1,2 тысячи гектаров орошение риса осуществляется с использованием сбросных вод, что требует внимательного мониторинга качества воды и состояния почв.

Таблица 1 – Данные проведенного химического анализа проб воды на Темрюкской оросительной системе

Table 1 – Data from the chemical analysis of water samples at the Temryuk irrigation system

Название ОС / Name of the irrigation system	Минерализация, г/л / Mineralization, g/l	Ca ²⁺ (мг/л) mg/l	Cl ⁻ (мг/л) mg/l	SO ₄ ²⁻ (мг/л) mg/l	Na ⁺ (мг/л) mg/l	K ⁺ (мг/л) mg/l	HCO ₃ ⁻ (мг/л) mg/l	Mg ²⁺ (мг/л) mg/l
Темрюкская ОС / Temryuk irrigation system	Оросительный канал (лето) / Irrigation channel (summer)							
	1,83	56	188	97	227	2	195	11,4
	Оросительный канал (осень) / Irrigation channel (autumn)							
	2,4	68	213	136	363	4,3	263	13,5
	Сбросной канал (лето) / Discharge channel (summer)							
	2,3	97	340	111	252	3,9	489	48
	Сбросной канал (осень) / Discharge channel (autumn)							
	2,9	109	367	165	296	4,7	532	49,6
ПДК / МРС	1	180	300	100	120	3,5	60	40

Как видно из результатов химического анализа (таблица 1), уже летом после разбавления в оросительном канале показатель минерализации составил 1,83 г/л, что превышает норму, согласно классификации «Рекомендации по оценке качества воды для орошения сельскохозяйственных культур» (Безднина С. Я.) [7]. В таком случае при повторном использовании сбросных вод для полива рекомендуется применять простые методы по очистке, кондиционированию и деминерализации дренажно-сбросных вод (биологические, сорбционные). Показатель минерализации в осенний период в период окончательного сброса составляет в сбросных каналах 2,5-2,9 г/л.

Степень воздействия минерализованных коллекторно-дренажных вод на характеристики почв определяется анионно-катионным составом и уровнем общей минерализации этих вод, а также зависит от гранулометрического состава, водно-физических и химических особенностей орошаемой почвы.

Большая часть каналов на Темрюкской ОС проложены в земляном русле. Вода из реки Кубань (таблица 2) поступает в магистральный канал и имеет показатель минерализации 0,287 г/л летом в начале вегетации и 0,371 г/л осенью в период формирования окончательного сброса коллекторно-дренажных вод.

Таблица 2 – Показатели химического анализа проб воды из реки Кубань
Table 2 – Indicators of chemical analysis of water samples from the Kuban River

Название ОС / Name of the irrigation system	Ca ²⁺ (мг/л) mg/l	Cl ⁻ (мг/л) mg/l	SO ₄ ²⁻ (мг/л) mg/l	Na ⁺ (мг/л) mg/l	K ⁺ (мг/л) mg/l	Mg ²⁺ (мг/л) mg/l	NH ₄ ⁺ (мг/л) mg/l
Водозабор, р. Кубань / Water intake, Kuban river	Лето / Summer						
	39	7,7	56	15,3	1,39	7,8	<0,5
	Осень / Autumn						
	47	12,2	65	24,2	2,5	11	<0,5
ПДК / МРС	100-300	10	160	12-15	50-300	48	0.1

При транспортировке по территории с высоким содержанием водорастворимых солей в почвенном профиле речная вода минерализуется. Таким образом происходит смена типа воды из гидрокарбонатно-кальциевого она переходит в хлоридно-сульфатно-натриевый тип, а также происходит смена класса качества с I до III [7]. Показатель минерализации при транспортировке в магистральном канале увеличивается с 0,2-0,3 до 1,8-2,4 г/л. Темрюкская ОС относится к дельте Кубани, которая является аккумуляционной зоной солей всего бассейна. Основной причиной вторичного засоления становится наличие высокозалегающих соленых грунтовых вод, а также высокое содержание солей в нижних горизонтах почвы [8]. Результаты химического анализа почвы с пахотного горизонта 0-30 см представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Показатели химического анализа почвы с рисового чека

Table 3 – Indicators of chemical analysis of soil from a rice receipt

Название ОС / Name of the irrigation system	Ca ²⁺ (мг/кг) mg/kg	Cl ⁻ (мг/кг) mg/kg	SO ₄ ²⁻ (мг/кг) mg/kg	Na ⁺ (мг/кг) mg/kg	K ⁺ (мг/кг) mg/kg	Mg ²⁺ (мг/кг) mg/kg	NH ₄ ⁺ (мг/кг) mg/kg
Темрюкская ОС / Temryuk irrigation system	Лето / Summer						
	107	37,9	182	69	45,6	19,2	<2
	Осень / Autumn						
	137	41,1	211	72	64	23,3	2,16
ПДК / MPC	100-300	10	160	12-15	50-300	48	0,1

Из таблицы (таблица 3) видно, что осенью после уборки риса показатели концентраций ионов возрастают, так как после вегетационного периода в чеке происходят изменения агрохимических показателей из-за ряда причин: потребление нитратов микроорганизмами при разложении рисовой соломы, вымывание элементов, высокая цикличность анаэробного (в период вегетации) и аэробного (после просушки чеков перед уборкой) процессов, а также влияние минеральных удобрений.

В целях минимизации поступления грунтовых вод в каналы, а также подтопления и вторичного засоления земель, рекомендуется создание противофильтрационных облицовок на каналах и накопителях. Для этого используют различные материалы: монолитный бетон (снижает фильтрационные потери в 10-15 раз), полимерные пленки (снижают фильтрационные потери на 96-98 %), асфальтобетонные покрытия (снижают фильтрационные потери на 36 %) или геосинтетические материалы (к примеру, геомембраны, геотекстилы, геокомпозиаты, георешетки, геосетки, бентоматы, габионы, снижающие фильтрационные потери до 30 %).

Таким образом, на Темрюкской оросительной системе рис выращивается в условиях повышенной минерализации воды (особенно в низовьях Кубани), дефицита пресной воды и при вторичном засолении почв. Для устойчивого ведения сельского хозяйства в таких условиях возможно предпринять комплекс водосберегающих мер, а именно: лазерная планировка полей, закрытые дренажно-оросительные системы, использование солеустойчивых сортов риса, проведение мониторинга засоления для обеспечения оперативного контроля за состоянием почвенного контроля, комбинированная система орошения. Лазерная планировка полей обеспечит равномерное распределение воды при поливе и возможно сокращение потерь воды до 30 %. Дренажно-оросительные системы закрытого типа предотвращают потери воды при инфильтрации и уменьшают риск вторичного засоления почвы, особенно актуальны для участков с высокоминерализованными грунтовыми водами. Солеустойчивыми сортами риса, которые даже в условиях повышенной минерализации поливной воды дают стабильный урожай, являются, к примеру, «Кубань-3», «Лиман», «Регул», «Заря» и т. д. Комплексная реализация этих мер позволит повысить эффективность водопользования в условиях Темрюкского района. Энергоэффективные методы очистки воды в зависимости от определенного промежутка показателя минерализации представлены в таблице 4. В основу подхода к нормированию качества воды для орошения заложены принципы, предложенные С. Я. Бездзиной [7].

Таблица 4 – Методы очистки воды в зависимости от показателя минерализации
Table 4 – Methods of water purification depending on the mineralization index

Минерализация, г/л / Mineralization, g/l	Категория вод / Category of waters	Основные загрязнители / The main pollutants	Рекомендуемые методы очистки / Recommended cleaning methods	Эффективность / Effectiveness	Энерго- потреб- ление / Energy consump- tion	Применение очищенной воды / Application of purified water
<1	Умеренно пресные / Moderately fresh	Органика, взвеси, нитраты, пестициды / Organic matter, suspensions, nitrates, pesticides	Биоплато; Ультрафильтрация; Сорбция / Bioplatto; Ultrafiltration; Sorption	Концентрация органических веществ снижается на 60-80 %; Взвеси на 90 % / The concentra- tion of organic substances is reduced by 60-80 %; Sus- pensions by 90 %	0,5-1,5 кВт·ч/м³ / 0.5-1.5 kWh/m³	Орошение овощей, зерновых / Irrigation of vegetables and grains
1-3	Слабосо- лоноватые / Slightly salty	Сульфаты, хлориды, остаточная органика / Sulfates, chlorides, residual organic matter	Обратный осмос; Электродиализ; Ионный обмен; Комбинирование биологических и химических мето- дов / Reverse os- mosis; Electrodialy- sis; Ion exchange; Combining biologi- cal and chemical methods	Концентрация солей снижа- ется на 90-95 % Концентрация органических веществ снижа- ется на 70 % / The concentra- tion of salts de- creases by 90-95 % The concentration of organic sub- stances is re- duced by 70 %	1,5-4 кВт·ч/м³ / 1.5-4 kWh/m³	Полив соле- устойчивых культур / Watering of salt-resistant crops
3-5	Средне- соленова- тые / Medium salty	Высокое содержание NaCl, SO ₄ ²⁻ / High content of NaCl, SO ₄ ²⁻	Гибридные системы (обратный осмос+ электродиализ); Наночистота; Солнечная дистилляция / Hybrid systems (reverse osmo- sis+electrodialysis); Nanofiltration; Solar distillation	Концентрация солей снижа- ется на 85-90 % / The concentra- tion of salts de- creases by 85- 90 %	3-6 кВт·ч/м³ / 3-6 kWh/m³	Локальное орошение после разбавле- ния / Local irrigation after dilution
>5	Сильносо- лоноватые / Strongly salty	Очень высо- кие концен- трации солей / Very high concentra- tions of salts	Многоступенчатый обратный осмос; Мембранная кри- сталлизация; Системы техноло- гии нулевого сброса / Multi- stage reverse os- mosis; Membrane crystallization; Ze- ro-reset technology systems	Концентрация солей снижа- ется на 99 % / The concentra- tion of salts is reduced by 99 %	5-10 кВт·ч/м³ / 5-10 kWh/m³	Промыш- ленное использо- вание / Industrial use

В условиях возрастающего дефицита водных ресурсов в Темрюкском районе особую значимость приобретают современные методы рециркуляции дренажных вод с повышенной минерализацией. Существующие методы водоочистки позволяют эффективно преобразовывать дренажные стоки в качественный ресурс для орошения. Для вод с минерализацией до 3 г/л, как в данном случае, возможно применить комплексную систему очистки, которая может включать несколько этапов (рисунок 2).

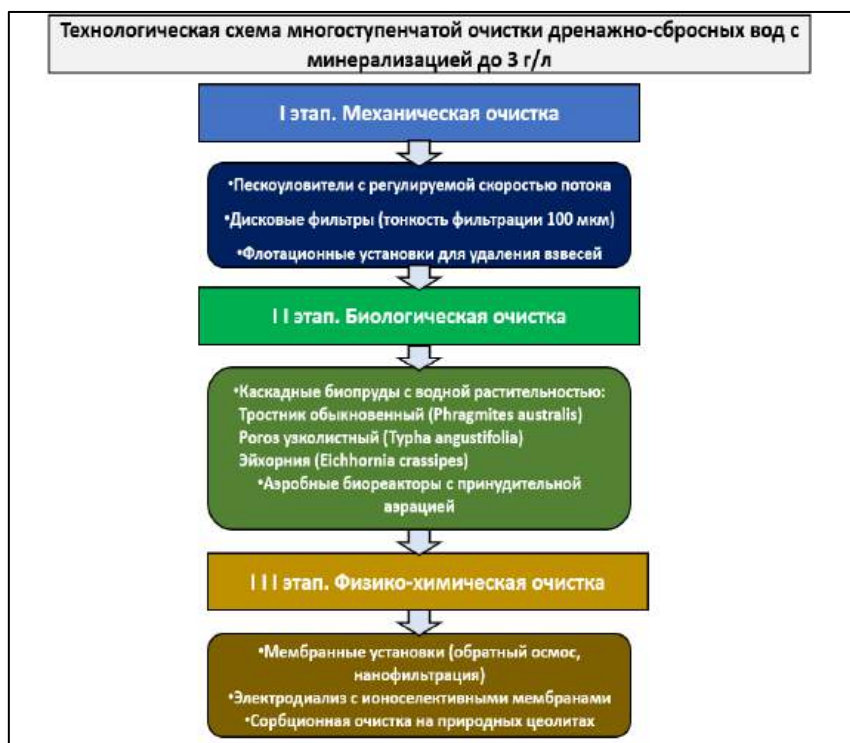


Рисунок 2 – Технологическая схема многоступенчатой очистки дренажно-сбросных вод с минерализацией до 3 г/л (составлено автором на основании [9, 10])

Figure 2 – Technological scheme of multi-stage purification of drainage and waste waters with mineralization up to 3 g/l (compiled by the author on the basis of [9, 10])

Существующие технологии очистки (обратный осмос, электродиализ, ионный обмен) требуют высоких капитальных и эксплуатационных затрат, что делает их экономически нецелесообразными для крупных мелиоративных систем. В связи с этим актуальной задачей является рассмотрение доступных и эффективных методов очистки, основанных на природных процессах и местных материалах. В целях снижения затрат как материальных, так и эксплуатационных, возможно применение биоинженерных технологий, основанных на комбинации природных процессов с современными инженерными решениями. Основными компонентами являются конструкции механической очистки, блок фитореимедиа-ции в виде биоплато либо ботанических площадок, сорбционные технологии на основе природных сорбентов или ионообменных смол.

На первом этапе осуществляется механическая фильтрация через инновационные многослойные фильтрующие установки. Возможно создание прудов-накопителей. Вода поступает в отстойники, где в течение 5-7 суток происходит осаждение взвешенных частиц. Эффективность снижения мутности достигает 50-60 %. После отстаивания вода пропускается через слои песка (фракция 0,5-1,0 мм) и гравия (5-10 мм), что дополнительно снижает содержание взвешенных веществ на 30-40 %. Таким образом, на первом этапе очистки возможно снизить показатель минерализации на 5-10 % (с 3 до 2,7-2,85 г/л).

Биологический этап обработки включает прохождение водных масс через каскадные биоплато с комбинированной фитосистемой, включающую солепоглощающие растения, адаптированные под местные климатические условия: водный гиацинт (*Eichhornia crassipes*), сусак зонтичный (*Butomus umbellatus*), солянка русская (*Salsola ruthenica*) и др.

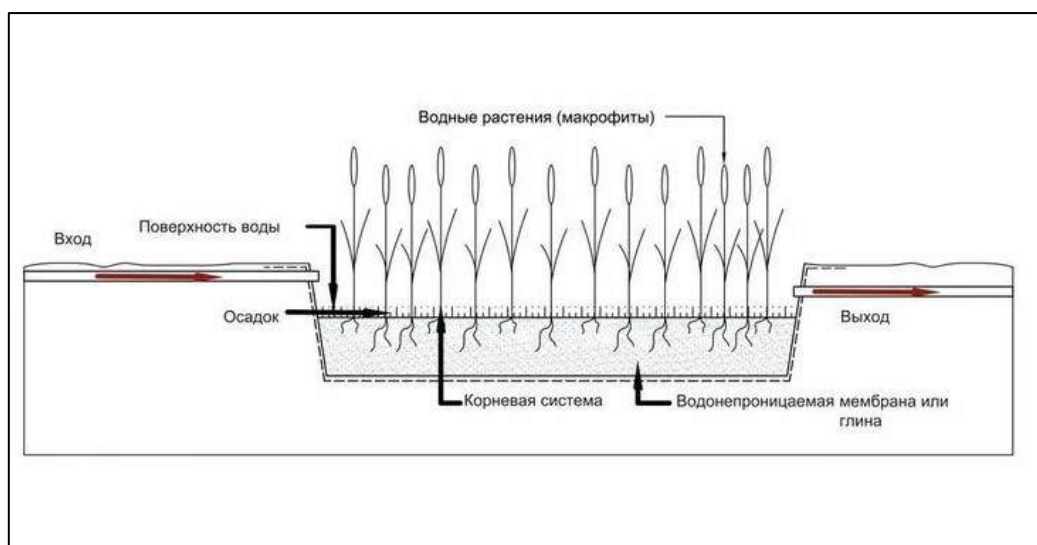


Рисунок 3 – Пример биоплато поверхностного типа [9]

Figure 3 – Example of a surface-type bioplat [9]

Такое сочетание водных растений обеспечивает комплексное очищение благодаря: естественной фильтрации через корневые системы растений, биохимическому разложению органических соединений, естественной оксигенации водной среды. Эффективность биологического этапа очистки дренажно-сбросных вод может колебаться в зависимости от сезона. На биологическом этапе очистки показатель минерализации может снизиться на 15-20 % (до 2,2-2,4 г/л).

Третьим этапом выступает сорбционная очистка. Она позволяет эффективно удалять остаточные загрязнения, включая ионы тяжелых металлов, избыточные соли (Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-}) и растворенные органические вещества. В отличие от дорогостоящих химико-технологических методов (ионный обмен, обратный осмос), сорбция на природных материалах (цеолиты, торф, древесные опилки, активированный уголь и т.д.) отличается низкой себестоимостью, простотой применения и возможностью использования местных ресурсов.

Например, природные цеолиты (клиноптилолит, морденит) добываются в месторождениях Северного Кавказа. Ионообменная способность выражается в избирательном поглощении катионов Na^+ , K^+ , NH_4^+ . За счет пористой структуры происходит задержка анионов Cl^- , SO_4^{2-} . Комплексообразование торфа с ионами тяжелых металлов (Cu^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+}) за счет гуминовых кислот позволит удалить Cu^{2+} и Pb^{2+} до 70-80 % [11]. Таким образом, сорбционная очистка позволяет снизить показатель минерализации до 55-60 % (до 0,5-1,1 г/л) [13]. Опресненные дренажно-сбросные воды перед поливом смешиваются с пресной в пропорции 1:2 или 1:3 для доведения показателей минерализации до нормы.

Аналогичная технология очистки была разработана и апробирована учеными ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова в Республике Калмыкии. Гибридное биосорбционное сооружение, включающее в основу четыре ступени очистки на основе биоплато и сорбционных секций, позволило снизить показатель минерализации дренажно-сбросных вод с рисовой оросительной системы с 4,3 г/л до 0,49 г/л в условиях вторичного засоления. Это доказывает эффективность разработанной технологии и возможность повторного использования очищенной воды для орошения [13, 14, 15].

Исследование очистки воды из открытого коллектора проведено учеными РосНИИПМ. Предлагаемая технология основывается на сочетании методов механической и ионообменной очистки с использованием ионообменных смол (катионита КУ 2-8 и анионита АВ-17-8). Предложена инновационная конструкция автономных компактных ЛОС для очистки дренажных стоков, интегрируемая в существующую инфраструктуру дренажного колодца и гарантирующая экологически безопасный сброс очищенной воды в природные водотоки. При проведении лабораторных опытов было выявлено, что минерализация при очистке на ионитовых смолах снизилась примерно в четыре раза, что говорит об эффективности применения ионообменных смол при очистке дренажно-сбросных стоков с оросительных систем [16, 17].

Таким образом, синтез простых методов очистки представляется наиболее рациональным путем создания эффективных и экономичных систем водоочистки, что позволит обеспечить экологически безопасное водопользование в мелиорации как через сброс очищенных вод в природные водотоки, так и за счет их рециклинга в замкнутых ресурсосберегающих циклах орошаемого земледелия.

Заключение. При проведении исследования были выявлены проблемы, связанные с водопользованием в условиях Темрюкской оросительной системы, что свидетельствует о необходимости внедрения современных решений для обеспечения устойчивого сельскохозяйственного производства. Гидрогеологические условия исследуемой системы характеризуются высоким уровнем залегания (1,5-1,6 м) и значительной минерализацией (5,0-5,1 г/л) грунтовых вод, предполагающих серьезные риски для вторичного засоления почв и ухудшения качества поверхностных вод, что доказывают показатели химического анализа проб воды и почвы. Анализ мелиоративного состояния земель показал, что 23 % орошаемых площадей требуют проведения мелиоративных мероприятий. Также практика повторного использования дренажно-сбросных вод на площади 1200 га требует проведения мероприятий по водоподготовке и строгого контроля качества воды. Предложенные решения позволяют оптимизировать процессы водопользования и минимизировать риски деградации почвенного ресурса. Технология многоступенчатой очистки воды с применением природных сорбентов позволит достичь значительного снижения минерализации (до 0,5-1,1 г/л) и удаления специфических загрязнителей, включая ионы тяжелых металлов (Cu^{2+} , Pb^{2+} – до 70-80 %). Перспективность данных методов подтверждается успешной апробацией сооружений для очистки воды с применением природоподобных технологий ведущими научными институтами страны по вопросам мелиорации.

Conclusion. During the study, problems related to water use in the conditions of the Temryuk irrigation system were identified, which indicates the need to introduce modern solutions to ensure sustainable agricultural production. The hydrogeological conditions of the system under study are characterized by a high level of occurrence (1.5-1.6 m) and significant mineralization (5.0-5.1 g/l) of groundwater, suggesting serious risks for secondary salinization of soils and deterioration of surface water quality, as evidenced by the chemical analysis of water and soil samples. An analysis of the land reclamation status showed that 23 % of irrigated areas require reclamation measures. Also, the practice of reusing drainage and waste water on an area of 1,200 hectares requires water treatment measures and strict water quality control. The proposed solutions will optimize the processes of water use and minimize the risks of degradation of the soil resource. The technology of multi-stage water purification using natural sorbents will achieve a significant reduction in mineralization (up to 0.5-1.1 g/l) and the removal of specific pollutants, including heavy metal ions (Cu^{2+} , Pb^{2+} – up to 70-80 %). The prospects of these methods are confirmed by the successful testing of water purification facilities using nature-like technologies by the country's leading scientific institutes on land reclamation.

Библиографический список

1. ФГБУ Управление «Кубаньмелиоводхоз»: официальный сайт. Краснодар. <https://www.kmvh.ru/mhm2.html>
2. Нагалецкий Ю. Я., Нагалецкий Э. Ю. Лиманно-устьевой комплекс дельты реки Кубани. Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2017. № 6. С. 42-46.
3. Щедрин В. Н., Колганов А. В., Васильев С. М., Чураев А. А. Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография. Новочеркасск: Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, 2013. Ч. 1. 283 с.
4. Романова М. С. Растениеводство в Темрюкском районе в начале XXI века и его влияние на экосистемы Таманского полуострова. Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков. 2014. № 5. С. 28-31.
5. Малышева Н. Н., Настаченко А. В., Галкин А. Ю. Анализ мелиоративного состояния орошаемых земель на Темрюкской и Азовской оросительных системах Краснодарского края. World science: problems and innovations: сборник статей XXXVII Международной научно-практической конференции. Пенза: "Наука и Просвещение", 2019. С. 84-87.
6. Ustinova V. V., Timoshkin A. D. Environmental surveillance of the rice massif in the Kuban-Protoka river region. Research on Crops. 2024. V. 25. No 2. Pp. 241-246.
7. Безднина С. Я. Научные основы оценки качества воды для орошения: монография. Рязань: Мещерский научнотехнический центр, 2013. 171 с.
8. Осипов А. В. и др. Динамика солевого режима почв рисовых полей современной дельты Кубани. Агрохимический вестник. 2017. № 4. С. 30-34.
9. Кирейчева Л. В., Лентяева Е. А., Супрун В. А. Методические рекомендации по обоснованию водоохраных мероприятий для снижения диффузного загрязнения водных объектов. Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, 2019. 40 с.
10. Васильев Д. Г. Ретехнологизация способа подготовки дренажных и сбросных вод для оросительной мелиорации. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 5 (73). С. 157-160.
11. Стрелков А. К. и др. Доочистка сточных вод от тяжелых металлов природными и модифицированными глинодержащими сорбентами. Водоснабжение и санитарная техника. 2021. № 5. С. 30-37.

12. Юрьев Ю. Ю. и др. Изучение сорбционных свойств минерального сырья, с целью получения на его основе сорбента для опреснения высокоминерализованных вод поверхностных источников. Инженерный вестник Дона. 2015. № 1-1 (33). С. 51.

13. Супрун В. А., Устинова В. В. Оценка технической и экономической эффективности применения разработанного биоинженерного сооружения для очистки и снижения минерализации дренажно-сбросных вод. Экология и промышленность России. 2023. Т. 27. № 8. С. 4-9.

14. Suprun V., Ustinova V. Pilot installation of a biosorption facility on a rice irrigation system. Magazine of Civil Engineering. 2024. No 1 (125). P. 12509.

15. Кирейчева Л. В., Супрун В. А. Агроинженерная технология улучшения качества дренажносбросных вод с рисовых оросительных систем. Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 6. С. 4-8.

16. Дрововозова Т. И., Красовская Н. Н., Марьяш С. А. Конструкция локальных очистных сооружений очистки минерализованного дренажного стока с орошаемых земель. Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 5 (77). С. 336-343.

17. Красовская Н. Н., Дрововозова Т. И. Технический подход к локальной очистке дренажного стока. Мелиорация и водное хозяйство: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Новочеркасск: Лик, 2023. С. 21-26.

References

1. Federal State Budgetary Institution Kubanmeliovodkhoz Management: official website. Krasnodar. <https://www.kmvh.ru/mhm2.html>

2. Nagalevsky Yu. Ya., Nagalevsky E. Y. Estuary-estuary complex of the Kuban River delta. Environmental protection in the oil and gas industry. 2017. No 6. Pp. 42-46.

3. Shchedrin V. N., Kolganov A.V., Vasiliev S. M., Churaev A. A. Irrigation systems of Russia: from generation to generation: a monograph. Novocherkassk: Russian Scientific Research Institute of Land Reclamation Problems, 2013. Part 1. 283 p.

4. Romanova M. S. Crop production in the Temryuk region at the beginning of the 21st century and its impact on the ecosystems of the Taman Peninsula. Agricultural sciences and the agro-industrial complex at the turn of the Century. 2014. No 5. Pp. 28-31.

5. Malysheva N. N., Nastachenko A.V., Galkin A. Yu. Analysis of the reclamation status of irrigated lands in the Temryuk and Azov irrigation systems of the Krasnodar Territory. World science: problems and innovations: collection of articles of the XXXVII International Scientific and Practical Conference. Penza: "Science and Education", 2019. Pp. 84-87.

6. Ustinova V. V., Timoshkin A. D. Environmental surveillance of the rice massif in the Kuban-Protoka river region. Research on Crops. 2024. V. 25. No 2. Pp. 241-246.

7. Bezdina S. Ya. Scientific foundations of water quality assessment for irrigation: monograph. Ryazan: Meshchersky Scientific and Technical Center, 2013. 171 p.

8. Osipov A. V. et al. Dynamics of the salt regime of rice paddy soils in the modern Kuban delta. Agrochemical bulletin. 2017. No 4. Pp. 30-34.

9. Kireicheva L. V., Lentyaeva E. A., Suprun V. A. Methodological recommendations on the justification of water protection measures to reduce diffuse pollution of water bodies. Moscow: A. N. Kostyakov All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, 2019. 40 p.

10. Vasiliev D. G. Retechnologization of the method of preparation of drainage and waste water for irrigation land reclamation. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2018. No 5 (73). Pp. 157-160.

11. Strelkov A. K. et al. Post-treatment of wastewater from heavy metals with natural and modified clay-containing sorbents. Water supply and sanitary equipment. 2021. No 5. Pp. 30-37.

12. Yuryev Yu. Y. et al. The study of the sorption properties of mineral raw materials in order to obtain a sorbent based on it for desalination of highly mineralized waters of surface sources. Engineering Bulletin of the Don. 2015. No 1-1 (33). P. 51.

13. Suprun V. A., Ustinova V. V. Assessment of the technical and economic efficiency of the developed bioengineering facility for purification and reduction of mineralization of drainage and waste waters. Ecology and industry of Russia. 2023. Vol. 27. No 8. Pp. 4-9.

14. Suprun V., Ustinova V. Pilot installation of a biosorption facility on a rice irrigation system. Magazine of Civil Engineering. 2024. No 1 (125). 12509.

15. Kireicheva L. V., Suprun V. A. Agro-engineering technology for improving the quality of drainage waste water from rice irrigation systems. Land reclamation and water management. 2021. No 6. Pp. 4-8.

16. Drovovozova T. I., Krasovskaya N. N., Maryash S. A. Construction of local wastewater treatment plants for mineralized drainage runoff from irrigated lands. Nizhnevolzhsky agrouniversity complex: Science and higher professional education. 2024. No 5 (77). Pp. 336-343.

17. Krasovskaya N. N., Drovovozova T. I. A technical approach to the local treatment of drainage runoff. Land reclamation and water management: proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Novocherkassk: Lik, 2023. Pp. 21-26.

Информация об авторе

Устинова Виктория Владимировна, инженер-исследователь, аспирант, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», «ФНЦ Агроэкологии РАН» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), e-mail: ustinova-v@vfanc.ru

Author's Information

Ustinova Victoria Vladimirovna, Research Engineer, Postgraduate student, Federal Research Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), e-mail: ustinova-v@vfanc.ru

**THE AGRARIAN AND ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF SPRING
WHEAT PRODUCTION IN THE WATERLOGGED AREAS**¹Shalamov D. I., ²Dzhancharov T. M., ²Lagutina N. V.,
²Evgrafov A. V., ³Kutenkova M. V.¹Federal Scientific Center for Hydrotechnics and Melioration named after A. N. Kostiakov²Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy

Federal State Budgetary Institution "Central UGMS"

Moscow, Russian Federation

Corresponding author E-mail: d.i.shalamov@yandex.ru

Received 22.09.2025

Submitted 05.12.2025

Summary

This study presents an innovative ecological framework for spring wheat production on waterlogged soils within metropolitan conditions. The research provides experimental validation of a specifically designed fertilization system that enables consistent yields of high-quality grain. The results demonstrate that the proposed agro technological approach facilitates the formation of grain with exceptional baking properties meeting premium quality standards. The study confirms the feasibility of sustainable production of valuable wheat in challenging soil-climatic conditions of urban territories, revealing new prospects for agricultural development in unfavorable agro ecological zones.

Abstract

Introduction. The significance of this work is determined by the current necessity to comprehensively study the diverse impacts of agro-climatic and ecological factors on the development and yield performance of various spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under different mineral and organic fertilization systems. **Object.** The study objects comprised samples of diverse spring wheat cultivars. **Materials and methods.** The investigations were conducted on the experimental plots of the K. A. Timiryazev Agro-ecological Research Station (Field Experimental Station). **Results and conclusions.** The conducted research revealed a substantial influence of the fertilization system on the productivity and grain quality of spring wheat under conditions of waterlogged soils. It was established that the innovative fertilization system (IN) provided a significant increase in 1000-grain weight for cultivars Zlata (1.63 g) and Agros (1.69 g) compared to the control, while also promoting the formation of grain with high quality parameters: test weight (795 g/l) corresponding to Class I, and high vitreosity (60-62 %). Laboratory analysis confirmed that specifically the 'Zlata IN' variant demonstrated the optimal quality combination, meeting Class I standards (strong wheat) with protein content of 16.49 % and gluten content of 30.52 %, making it the most preferable for production of high-quality flour.

Keywords: spring wheat, wheat grain quality, spring wheat yield, waterlogged areas, grain quality indicators.

Citation. Shalamov D. I., Dzhancharov T. M., Lagutina N. V., Evgrafov A. V., Kutenkova M. V. The agrarian and ecological assessment of the efficiency of spring wheat production in the waterlogged areas. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 257-269 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-26.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 633.11"321":631.6

**АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА
ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА ПЕРЕУВЛАЖНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ**¹Шаламов Д. И., научный сотрудник
²Джанчаров Т. М., кандидат биологических наук, доцент
²Лагутина Н. В., кандидат технических наук, доцент
²Евграфов А. В., кандидат технических наук, доцент
³Кутенкова М. В., гидрохимик I категории¹ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова»²ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»³ФГБОУ «Центральное УГМС»

г. Москва, Российская Федерация

Актуальность данной работы заключается в том, что в настоящих условиях необходимо изучить разнообразные воздействия агроклиматических и экологических факторов на развитие и урожайность различных сортов яровой пшеницы при использовании минеральных и органических удобрений. **Объект.** Объектом исследований являются образцы яровой пшеницы различных сортов.

Материалы и методы. Исследования проводились на опытном участке агроэкологического стационара имени К. А. Тимирязева (полевая опытная станция). **Результаты и выводы.** Проведенные исследования выявили существенное влияние системы удобрений на продуктивность и качество зерна яровой пшеницы в условиях переувлажненных территорий. Установлено, что инновационная система удобрений (ИН) обеспечила достоверное увеличение массы 1000 зерен у сортов «Злата» (1,63 г) и «Агрос» (1,69 г) по сравнению с контролем, а также способствовала формированию зерна с высокими качественными показателями: натурой (795 г/л), соответствующей I классу, и высокой стекловидностью (60-62 %). Лабораторный анализ подтвердил, что именно вариант «Злата ИН» продемонстрировал оптимальное сочетание качества, соответствующее I классу (сильная пшеница) с содержанием белка 16,49 % и клейковины 30,52 %, что делает его наиболее предпочтительным для производства высококачественной хлебопекарной муки.

Ключевые слова: яровая пшеница, качество зерна пшеницы, урожайность яровой пшеницы, переувлажненные территории, показатели качества зерна.

Цитирование. Шаламов Д. И., Джанчаров Т. М., Лагутина Н. В., Евграфов А. В., Кутенкова М. В. Агроэкологическая оценка эффективности производства яровой пшеницы на переувлажненных территориях. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 257-269. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-26.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Сельскохозяйственное производство в условиях переувлажненных территорий сопряжено с комплексом агроэкологических вызовов, требующих разработки адаптивных и экологически сбалансированных решений [10, 12]. В современных условиях, отягощенных климатическими изменениями, особенно актуальным становится изучение влияния агроклиматических и экологических факторов на продуктивность ключевых зерновых культур, к которым относится яровая пшеница. Будучи одной из основ мирового растениеводства и продовольственной безопасности, эта культура служит сырьем для производства хлеба, круп и многих других продуктов, что подчеркивает важность исследований, направленных на стабилизацию и повышение ее урожайности.

Особую значимость приобретают исследования, проводимые в специфических условиях урбанизированных территорий, где на рост культур воздействует уникальный комплекс почвенно-климатических, антропогенных и погодных факторов. Проведение полевых экспериментов в таких условиях позволяет смоделировать и оценить устойчивость сельскохозяйственных систем к стрессам и разработать практические рекомендации для адаптивного земледелия [6].

Цель работы: Комплексная оценка влияния агроклиматических и антропогенных факторов на продуктивность и качественные показатели сортов яровой пшеницы при различных системах удобрения в условиях агроэкологического стационара.

Задачи исследования:

1. Исследовать воздействие почвенно-климатических параметров (температурный режим, распределение осадков, влажность), физико-химических свойств почвы, особенностей водно-воздушного и питательного режимов на ростовые процессы и фенологическое развитие культуры.

2. Выполнить агроэкологическую характеристику и сравнительный анализ продуктивности коллекции сортов яровой пшеницы («Любава», «Агрос», «Юбилейная», «Злата» и др.) в условиях антропогенной среды мегаполиса (Москва).

3. Определить эффективность различных систем применения удобрений (контроль без удобрений, традиционная минеральная, органическая и инновационная с использованием биопрепаратов) на количественные и качественные параметры урожая.

4. Провести лабораторный анализ технологических свойств зерна (натура, стекловидность, содержание протеина и клейковины) с последующей классификацией качества согласно нормативным требованиям ГОСТ 9353-2016.

Исследования проводились на полевой опытной станции агроэкологического стационара имени К. А. Тимирязева с использованием комплекса методов: полевого, лабораторного и камерального. Полученные результаты позволяют сформировать экологическую значимость производства зерновых на переувлажненных землях, направленную на получение здорового урожая, снижение экономических и экологических рисков и обеспечение стабильности производства.

Материалы и методы. Полевые исследования проводились на агроэкологическом стационаре в условиях мегаполиса (г. Москва). Методика работы включала последовательное выполнение следующих этапов:

- выделение и подготовка экспериментального участка;
- разбивка на делянки с системой вариантов опыта;
- механическая обработка почвы;
- дифференцированное внесение минеральных удобрений и биопрепаратов;
- посев яровой пшеницы;
- системное орошение;
- механическая прополка;
- регулярные фенологические наблюдения;
- уборка урожая с учетом сортов.

Предпосевная подготовка почвы была направлена на:

- оптимизацию водно-воздушного режима ризосферы;
- сохранение почвенной влаги;
- элиминацию сорной растительности;
- предпосевное внесение стартовых доз удобрений и стимуляторов корнеобразования.

вания.

Обработка почвы включала механическое удаление сорняков, устранение антропогенных загрязнений и камней, тракторную вспашку с последующим ручным рыхлением. Посев осуществлялся маркированными рядами с использованием рамочных маркеров (100 ячеек на устройство) по схеме 19 рядов на делянку.

Почвенный покров на опытном участке характеризуется как однородный, однако не исключается возможность локального загрязнения в пределах общего поля стационара. Для детальной оценки абиотических факторов и их влияния на продуктивность культур был проведен химический анализ почвенных образцов, включающий определение pH, концентрации тяжелых металлов и остаточных количеств пестицидов [1, 2].

Мониторинг динамики экологических факторов осуществлялся с целью выявления закономерностей их влияния на онтогенез растений, что является основой для получения высокого урожая, минимизации эколого-экономических рисков и обеспечения устойчивости производства зерна.

Объектом исследования выступили три сорта мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) – «Агрос», «Юбилейная», «Злата». Целью их изучения была сравнительная оценка продуктивности и адаптационного потенциала в специфических агроэкологических условиях мегаполиса. Посев был проведен на 36 стандартных делянках.

Ниже приведена схема делянок с условными обозначениями посадок:

Схема опытов

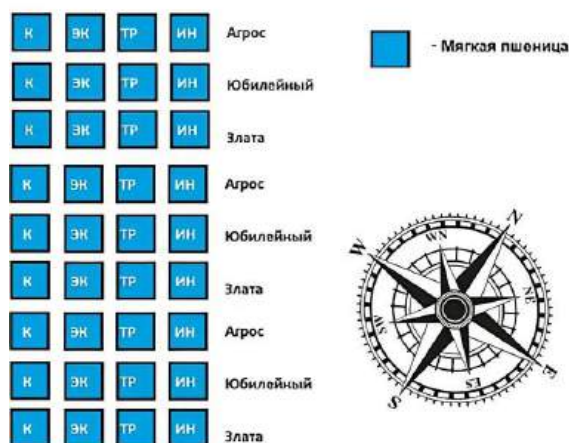


Рисунок 1 – Схема делянок на полевой опытной станции
Figure 1 – Layout of plots at the field experimental station

Для проведения исследований была организована система делянок со следующими вариантами опыта:

1. **К (Контроль)** – базовый вариант без внесения удобрений.
2. **ЭК (Экологичный)** – внесение органического удобрения (навоз КРС) в дозе 5 кг на делянку.
3. **ТР (Традиционный)** – применение комплексного минерального удобрения NPK 14:14:23 в дозе 80 г на делянку.
4. **ИН (Инновационный)** – применение комплексного минерального удобрения NPK 15:15:15 в дозе 160 г на делянку с добавлением корнеобразователя (биопрепарат производства ООО «Живые бактерии») [8].

Данная схема опыта была разработана с целью сравнительной оценки влияния различных систем удобрения и биопрепарата на продуктивность и качество зерна яровой пшеницы в условиях неоднородного агроэкологического фона.

Агрономические мероприятия. Посев яровой пшеницы проводился на опытных делянках агроэкологического стационара. Подготовка почвы включала комплекс работ:

1. Механическую очистку от сорной растительности.
2. Удаление посторонних включений (камни, антропогенные отходы, стекло, кирпич).
3. Основную обработку почвы с использованием тракторной вспашки с последующим ручным рыхлением граблями.

Разметка посевных рядов выполнялась вручную на каждой делянке. Посев осуществлялся с помощью самодельных рамочных маркеров с системой отверстий (100 ячеек на устройство). Схема посева предусматривала формирование 19 рядов с 18 междурядьями на каждой опытной делянке.

Данная методика подготовки почвы и посева обеспечила стандартизацию условий эксперимента и позволила минимизировать влияние почвенной гетерогенности на результаты исследований.

Внесение удобрений в делянки пшеницы. Для подкормки пшеницы и повышения плодородия почвы в начале июля были внесены минеральные гранулированные удобрения на инновационные делянки (6 штук) в междурядья. На одной делянке 18 междурядий. Вносили два вида удобрения, чередуя через одну ячейку, используя самодельную палку-сажалку.

Используемые удобрения: NK 17:28, один пакетик в среднем весит 90 грамм, было израсходовано 300-310 грамм (из 5 пакетиков) и Diammonium Phosphate, один пакетик в среднем весит 108 г, 430-420 г было израсходовано (из 6 пакетиков). Больше было израсходовано азотного удобрения (NK 17:28) из расчета общего предоставленного количества. Азотное удобрение используется для ускорения роста культур и здорового развития саженцев, обильного будущего урожая [2, 3, 4].

При камеральном методе проводились сбор и обработка найденной и текущей информации, анализ и оценка данных, а также непосредственное определение выводов по всей проведенной научной работы.

Агроклиматические показатели. Для комплексного наблюдения за развитием посевов яровой пшеницы, метеорологическая станция им. В. А. Михельсона, находящаяся в непосредственной близости от полевой опытной станции, предоставила метеорологические данные. На основе этих данных оценивались такие показатели как: температура воздуха, количество осадков, относительная влажность, скорость ветра и продолжительность солнечных дней [1].

В год проведения исследований температурный режим характеризовался превышением среднегодовых значений. Вегетационный период (май-август) отличался повышенными температурами со средним показателем +18,5°C. Максимальные значения были зафиксированы в июле (+22,4°C) и июне (+20,9°C), минимальные – в январе (-10,0°C).

Осадки распределялись неравномерно: максимальное количество отмечено в июне (9,2 мм) и июле (5,7 мм), что соответствует климатической норме региона. Минимальное выпадение осадков зарегистрировано в марте (0,6 мм). Среднемесячный показатель осадков за период май-сентябрь составил 4,3 мм.

Влажностный режим характеризовался сезонной дифференциацией: зимние месяцы (январь-февраль) и поздний осенний период (октябрь-декабрь) показали стабильно высокую относительную влажность (> 80 %), тогда как в вегетационный период этот показатель 67,4 %.

Инсоляционный режим показал выраженную сезонную динамику: максимальная продолжительность солнечного сияния зафиксирована в июле (11,5 дней), минимальная – в декабре (0,2 дня). Средняя продолжительность солнечных дней за период май-сентябрь составила 10 дней.

Температура почвы демонстрировала типичный сезонный ход: прогрев до оптимальных значений (+20,8°C в среднем за вегетационный период) с последующим охлаждением до отрицательных температур в декабре-марте. Период физиологической активности почвенной биоты составил 7 месяцев (апрель-октябрь).

Агрометеорологические наблюдения в вегетационный период (май-сентябрь) характеризовались следующими показателями. Продолжительность солнечной инсоляции составила 152 дня. Зафиксированные температурные параметры соответствовали сезонным нормам: атмосферный температурный режим варьировал от -10,3°C (зимний период) до +22,4°C (летний период), почвенный температурный режим – от -11,9°C (зимний период) до +25,7°C (летний период).

Показатели относительной влажности и атмосферных осадков находились в пределах климатической нормы для Центрального региона. Российский статистический ежегодник. М., 2022-2023 гг.). Совокупность метеорологических факторов обеспечила благоприятные условия для реализации фенологического цикла исследуемых сельскохозяйственных культур [7].

При лабораторном методе исследования проводились работы в основном уже после сбора урожая. В лаборатории проводились исследования по оценке продуктивности урожая, также изучались более детальные исследования пшеницы (определение натурности зерен, подсчет зерен в колосе, внешнее строение зерен и всего растения, учет полных зерен и несформировавшихся, анализ белка в зерне, анализ на клейковину, изучение стекловидности и мучнистости зерна).

Результаты и обсуждение. В качестве референтного образца был использован сорт «Любава», высеянный в конце апреля в открытый грунт агроэкологического стационара. Данный сорт подвергся комплексному воздействию абиотических стрессоров, включая аномальные майские осадки в виде снега, периоды почвенной и атмосферной засухи, а также экстремальные ливневые нагрузки.

Для сравнительной оценки были отобраны два фенотипических варианта. Резистентные растения продемонстрировали высоту стебля приблизительно 63 см, развитую мочковатую корневую систему, крупноразмерные колосья с выполненным зерном, физиологически нормальное прохождение фазы молочной спелости и сохранение интенсивной зеленой пигментации. Стресс-чувствительные растения характеризовались редуцированной высотой (45-47 см), слабым развитием корневой системы, низкой озерненностью колоса, признаками преждевременного созревания и хлороза, а также снижением тургора и потерей пигментации.

Экспериментальные сорта, высеянные на делянках в более поздние сроки, избежали прямого воздействия экстремальных погодных условий. Несмотря на отставание в календарных сроках посева, наблюдалась компенсаторная акселерация развития, обеспечивающая синхронизацию фенофаз с сортом «Любава». Данный факт свидетельствует о наличии адаптивного потенциала и пластичности развития изученных сортов.

Определение и оценка качественных характеристик яровой пшеницы. Анализ качественных характеристик зерна пшеницы позволяет определить, насколько оно подходит для хранения, переработки и использования на производстве муки, хлеба. Эти данные являются основой для принятия обоснованных решений, касающихся приемки зерна, формирования его стоимости и распределения по классам качества (ГОСТ 9353 – 2016 «Пшеница. Технические условия», Москва Стандартинформ, 1968. 7 с.).

Сбор урожая яровой пшеницы проводился в первой декаде сентября из-за поздней посадки в июне. Вся пшеница была собрана в снопы с каждой делянки для дальнейшего изучения пшеницы.

По состоянию на 26 июня была зафиксирована фаза кущения. В ходе морфометрического анализа регистрировались следующие параметры: высота растений и количество листьев на побеге. Полученные количественные данные характеризуют состояние посевов и темпы их развития на указанную дату наблюдений.

На основании собранных и проанализированных данных построен график высоты растений пшеницы, который наглядно демонстрирует вариабельность данного показателя в зависимости от сортовых особенностей и условий выращивания.



Рисунок 2 – Показатели высоты пшеницы по делянкам в фазу кущения
Figure 2 – Wheat height indicators by plots during the tillering stage

Также был построен график морфометрические показатели яровой пшеницы в фазе кущения по количеству листьев.

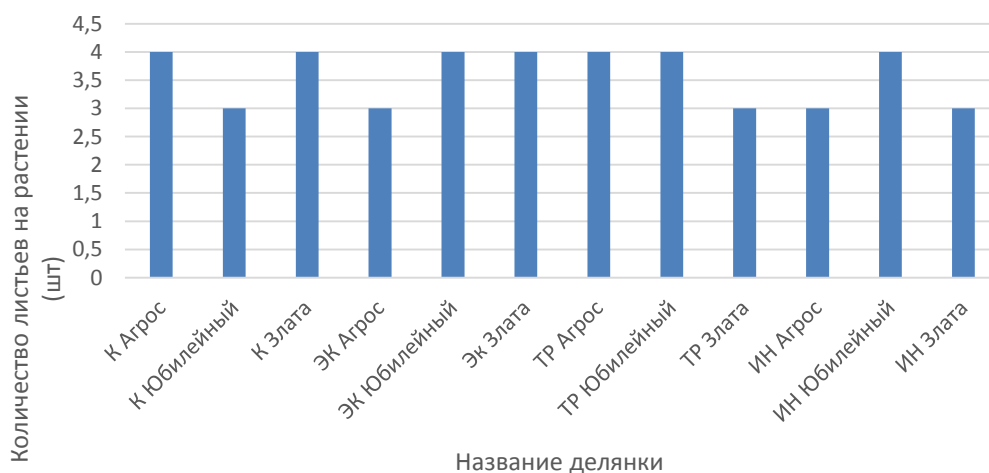


Рисунок 3 – Количество листьев на растении пшеницы по делянкам в фазу кущения
Figure 3 – Number of leaves per wheat plant by plots during the tillering stage

Сначала был выполнен замер высоты растений пшеницы. Анализ полученных данных показал, что этот параметр в среднем варьируется в пределах 30-40 см, а количество листьев на одном растении в среднем составляет 4.

При этом на делянках ИН был зафиксирован более значительный рост, достигший значений от 44,0 до 57,1 см, что превосходит показатели на стандартных участках. Однако по числу листьев лидировали обычные делянки, где их количество варьировалось от 3 до 4 на вариант, хотя усредненный показатель по всем образцам остался на уровне 4.

Параллельно с морфометрическими замерами осуществлялось взвешивание 30 зерен, отобранных с каждой делянки. Перед этим зерновой материал был подвергнут подготовке в лабораторных условиях с удалением покровных чешуй. Для дальнейших исследований отбирались наиболее крупные и визуально развитые зерна.

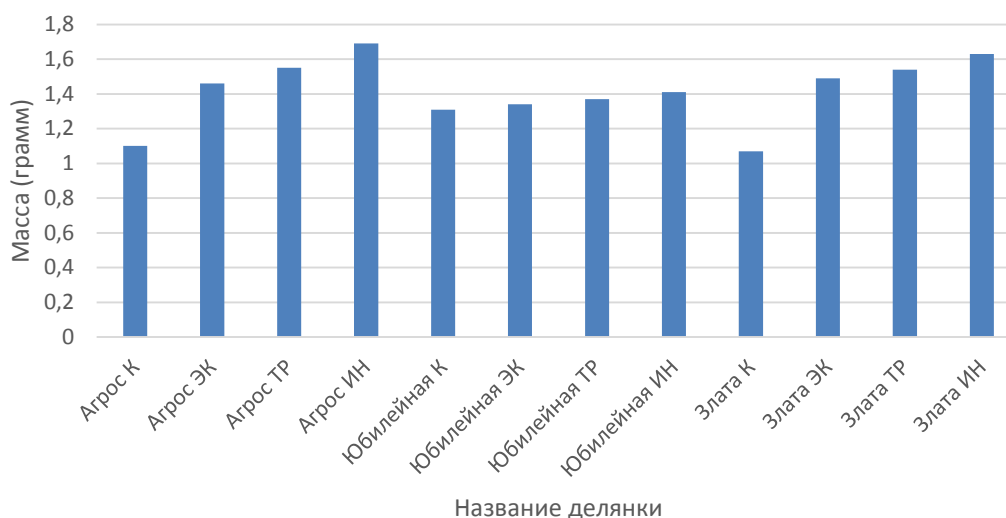


Рисунок 4 – Масса выборки в 30 зерен по делянкам (на 04.12)
Figure 4 – Sample weight of 30 grains per plot (as of 04.12)

Статистическая обработка данных методом дисперсионного анализа выявила достоверное влияние изучаемого фактора (системы удобрений) на массу 30 зерен яровой пшеницы ($F=15,64$, $p < 0,001$). Это свидетельствует о наличии статистически значимых различий между средними значениями как минимум в некоторых из сравниваемых групп.

Для парного сравнения вариантов опыта и определения того, между какими именно группами существуют различия, был применен метод наименьшей существенной разности НСР ($p \leq 0,05$). Расчетное значение НСР ($p \leq 0,05$) составило 0,08 г.

Установлено, что инновационная система удобрений (ИН) обеспечила достоверное увеличение массы зерна у сортов «Злата» и «Агрос» по сравнению с их контрольными вариантами и вариантами с традиционной системой удобрений. Так, разница между «Агрос ИН» (1,69 г) и «Агрос К» (1,55 г) составила 0,14 г, что превышает уровень НСР ($p \leq 0,05$). Аналогично, разница между «Злата ИН» (1,63 г) и «Злата К» (1,07 г) составила 0,56 г, также являясь статистически значимой. Варианты «Злата ИН» ($1,63 \pm 0,04$ г) и «Агрос ИН» ($1,69 \pm 0,05$ г) статистически не различались между собой, формируя одну однородную группу с наивысшими показателями массы зерна.

Можно констатировать, что именно на этих участках был получен наиболее качественный и продуктивный урожай яровой пшеницы. Комплексный уход, включавший интенсивное орошение, механическую прополку и защиту посевов сеткой от птиц, создал оптимальные условия для развития. Это позволило растениям не только сформироваться правильно, но и пройти фазы роста с опережением типичных календарных сроков [5].

В отличие от них, посадки твердой пшеницы продемонстрировали низкую результативность: вес зерна и количество зерен в колосе были минимальными среди всех изучаемых вариантов. На основании слабых агрономических характеристик и неперспективной урожайности было принято решение исключить этот сорт из программы дальнейших исследований.

Для всестороннего анализа зерна яровой мягкой пшеницы был составлен и выполнен детальный план работ. Его ключевой задачей стало изучение ряда физико-химических свойств. Оценивались такие параметры как: уровень стекловидности (ГОСТ 10987–76 Зерно. «Методы определения стекловидности» – введ. 21–08–1976. – М.: Стандартинформ, 1976. – 11 с.), натура (г/л) (ГОСТ 10840–64 Зерно. «Методы определения натуры» – введ. 26–03–1964. – М.: Стандартинформ, 1964. – 12 с.), процентное содержание белка, влаги и клейковины (ГОСТ 13586.1–68 Зерно. «Методы определения количества и качества клейковины в пшенице» – введ. 14–11–1968. – М.: Стандартинформ, 1968. – 7 с.). Измерения проводились с использованием трех специализированных лабораторных приборов в соответствии с утвержденными методиками.

Для проведения анализа были отобраны образцы зерна с экспериментальных участков. Методом случайной выборки из каждой делянки было взято по 100 зерен. Для удобства визуального изучения (оценка цвета, выявление повреждений и морфометрических особенностей) образцы разместили в блистеры по три штуки в ряд.

Наибольшие значения массы и длины зерна зафиксированы у растений с инновационных делянок (ИН). Масса 1000 зерен у данного варианта составила 30-50 г (при пересчете с индивидуальных показателей 0,03-0,05 г/зерно), а линейные размеры варьировали в пределах 1,1-1,7 см. Урожайность при пересчете составила от 4,05 до 6,75 т/га, если учитывать еще и потери при сборе урожая (10-15 %), то реальная урожайность с инновационных делянок составила 3,5-5,5 т/га.

Сорта «Злата» и «Юбилейная» продемонстрировали статистически схожие и высокие показатели качества зерна. Масса 1000 зерен сорта «Злата» находилась в диапазоне 10-50 г (0,01-0,05 г/зерно) при длине 1,2-1,6 см. Урожайность с учетом потерь составила бы примерно 3,5-4,5 т/га.

Наименьшие значения отмечены у сорта «Агрос»: масса 1000 зерен – 10-40 г (0,01-0,04 г/зерно), длина – 0,8-1,3 см. Реальная урожайность составит примерно 2,6-2,8 т/га.

Наивысшая продуктивность зафиксирована на делянках с инновационной системой удобрений (ИН), где урожайность превышала показатели других вариантов на 20-30 %. Это обусловлено комплексным воздействием:

- оптимальной дозы удобрений;
- применения биопрепаратов;
- правильного режима орошения.

Дополнительно определен средний вес колоса, который по всем вариантам опыта составил 0,85-1,00 г, что указывает на хорошую озерненность и продуктивность колоса независимо от сортовой принадлежности.

Стекловидность является ключевым классификационным признаком качества зерна пшеницы. В соответствии с установленными нормативами, все зерно подразделяется на три категории:

- **Категория I (низкая стекловидность):** содержание стекловидных зерен составляет менее 40 %.
- **Категория II (средняя стекловидность):** доля стекловидных зерен находится в диапазоне от 40 % до 60 %.
- **Категория III (высокая стекловидность):** содержание стекловидных зерен превышает 60 %.

Согласно требованиям ГОСТ 9353-2016, качество зерна пшеницы (мягкой и твердой) классифицируется на пять классов.

Первый класс представляет сильную мягкую пшеницу, способную улучшать хлебопекарные свойства слабой муки и доводить ее до стандартных показателей качества. Данный тип зерна выполняет функцию пшеницы-филлера.

Второй класс включает пшеницу средней силы с хорошими хлебопекарными характеристиками. Она может использоваться как самостоятельно, так и в комбинации с сильной или слабой пшеницей.

Третий класс составляет пшеница-филлер с пониженными хлебопекарными свойствами. Основное применение заключается в смешивании с сильной и средней пшеницей для оптимизации качества муки.

Четвертый класс характеризует слабую пшеницу с низкими хлебопекарными свойствами. Используется исключительно в сочетании с более сильными сортами для производства хлебопекарной муки.

Пятый класс включает зерно, предназначенное для непродовольственных целей: производство кормов для скота, переработка в глюкозу или технические продукты. Данная категория относится к фуражной пшенице (ГОСТ 9353–2016 «Пшеница. Технические условия»).

Первый приборный эксперимент – это определение стекловидности зерен яровой пшеницы. Были взяты 100 штук зерен пшеницы каждого сорта мягкой пшеницы («Злата», «Агрос», «Юбилейная») из которых мы получили следующие результаты, где М – мучнистое зерно, Ч – частично стекловидное, С – стекловидное (таблицы 4-6).

Была использована следующая формула (1), определения общей стекловидности зерен пшеницы (%):

$$S = (a + b/2), \quad (1)$$

где: S – общая стекловидность; a – количество стекловидных зёрен, шт.; b – количество частично стекловидных зёрен (ГОСТы 10840–64, 9353–2016).

Стекловидность зерна пшеницы определяется прочностью связей между белковой матрицей и крахмальными гранулами в эндосперме. Этот показатель напрямую влияет на мукомольные свойства зерна, качество муки и характеристики готовой хлебопекарной продукции.

Стекловидность, наряду с содержанием белка и клейковины, является ключевым критерием для отнесения зерна к определенному классу качества. При расчете общего показателя стекловидности учитываются только полностью стекловидные (С) и частично стекловидные (Ч) зерна, тогда как мучнистые (М) зерна в расчет не принимаются.

Экспериментальные данные по трем сортам пшеницы показывают вариабельность данного признака, что отражает сортовые особенности и влияние условий выращивания на формирование качества зерна.

Анализ качественных характеристик сорта «Юбилейная» выявил преобладание стекловидной структуры эндосперма, доля которой достигла 62 %. Микроскопическая дифференциация зерновой массы позволила идентифицировать 47 зерен с полной стекловидностью и 30 образцов с частичной манифестацией данного признака.

Сравнительная характеристика сортового материала продемонстрировала стабильно высокие показатели в диапазоне 60–62 %, что соответствует параметрам первой категории качества согласно действующей классификации (ГОСТ 10987–76, ГОСТ 9353–2016).

Определение массово-объемных показателей осуществлялось методом стандартизированного взвешивания с применением калибровочного оборудования системы Pfeuffer (ГОСТ 10840–64). Методика включала иерархию операций: первичную тарировку мерной емкости, послойное наполнение зерновым материалом с последующим устранением объемных деформаций при помощи калибровочного ножа. Финишная стадия предполагала верификацию объема и расчет удельной плотности зерновой массы посредством гравиметрического анализа.

Экспериментальная оценка массово-объемных характеристик зернового материала яровой мягкой пшеницы установила значение натурности 795 г/л (0,795 г/мл), определенное методом стандартизированного взвешивания на калибровочном оборудовании системы Pfeuffer. Полученный показатель существенно превышает установленные нормативы для зерна I-II класса (≥ 750 г/л), III класса (≥ 730 г/л) и IV класса (≥ 710 г/л). Зафиксированное отклонение может быть обусловлено изменением физико-химических параметров зерновой массы, в частности вариациями влажностного режима. Согласно действующей классификации, исследуемый образец соответствует параметрам первого класса качества.

На заключительном этапе проводилась механическая дезинтеграция зерна с использованием электромеханической мельницы с последующим анализом полученной муки на инфракрасном анализаторе ИНФРАСКАН-1050 для определения базовых технологических показателей.

В результате данного исследования получены следующие качественные значения (таблица 1):

Таблица 1 – Характеристики качества пшеничной муки
Table 1 – Wheat flour quality characteristics

Сорта / Varieties	Белок (протеин), % / Protein, %	Влага, % / Moisture, %	Клейковина, % / Gluten, %
Агрос К / Agros K	11,90	9,50	20,10
Агрос ЭК / Agros EK	12,85	9,35	21,80
Агрос ТР / Agros TR	13,40	9,28	22,60
Агрос ИН / Agros IN	13,87	9,21	23,15
Юбилейный К / Ubileinei K	13,20	9,80	24,50
Юбилейный ЭК / Ubileinei EK	15,11	9,41	28,94
Юбилейный ТР / Ubileinei TR	14,52	9,39	24,27
Юбилейный ИН / Ubileinei IN	15,49	10,0	28,55
Злата К / Zlata K	13,95	9,75	26,80
Злата ЭК / Zlata EK	15,30	9,60	29,20
Злата ТР / Zlata TR	15,80	9,50	29,90
Злата ИН / Zlata IN	16,49	9,41	30,52

Сравнительный анализ качественных показателей выявил существенные сортовые различия. Наивысшие технологические характеристики продемонстрировали сорта «Юбилейная» и «Злата», в то время как сорт «Агрос» показал минимальные значения по ключевым параметрам качества.

Особого внимания заслуживает мука из зерна сорта «Злата», выращенного на инновационной делянке (ИН), которая показала оптимальные технологические свойства:

- повышенное содержание белка (16,49 %);
- высокий показатель клейковины (30,52 %);
- улучшенные реологические характеристики;
- соответствие требованиям к сильной пшенице.

Данные результаты свидетельствуют о положительном влиянии агротехнических приемов, примененных на делянке ИН (внесение комплексного удобрения NPK 15:15:15 в дозе 160 г/делянка с добавлением корнеобразователя), на формирование технологических качеств зерна сорта «Злата».

Класс качества пшеницы был установлен в соответствии с требованиями ГОСТ 9353-2016 «Пшеница. Технические условия». Комплексная оценка качественных показателей выращенного зерна показала, что в зависимости от сортовой принадлежности и агротехнических условий возделывания, пшеница соответствует I-III классам качества.

Ключевые физико-химические параметры исследованных образцов характеризуются следующими значениями:

- стекловидность: 60-62 % (I категория, высокостекловидное зерно);
- влажность: 9,21-10,0 %;
- содержание белка: 13,87-16,49 %;
- содержание клейковины: 23,15-30,52 %;
- натура: 795 г/л;
- плотность зерна: 0,795 г/мл.

Полученные данные позволяют классифицировать зерно как сухое (влажность < 14 %), соответствующее I классу качества (ценная/сильная пшеница) с повышенным содержанием белка и клейковины.

Сортовая дифференциация по качественным показателям:

- По содержанию белка: все сорта, кроме «Агрос ИН» (II класс), соответствуют I классу.
- По содержанию клейковины:
 - «Юбилейная ИН» и «Юбилейная ЭК» – II класс.
 - «Юбилейная ТР» и «Агрос ИН» – III класс.
- Сорт «Злата ИН» продемонстрировал оптимальные показатели по всем параметрам (I класс).

Высокое содержание белковых фракций обеспечивает образование клейковины с преобладанием упругих свойств над пластическими, что определяет исключительные реологические характеристики теста:

- усиленная газодерживающая способность;
- формоустойчивость при расстойке и выпечке;
- формирование равномерной пористости мякиша;
- увеличение удельного объема хлеба.

Соответствие технологических показателей муки установленным нормативам подтверждает высокую продовольственную ценность зерна и его целевое назначение для производства хлебопекарной муки высшего сорта.

Заключение. Проведенные комплексные исследования позволили сформулировать экологическую значимость возделывания яровой пшеницы в специфических почвенно-климатических условиях переувлажненных территорий Центрального региона России. В ходе работы были получены следующие ключевые результаты:

1. **Агроклиматические условия** вегетационного периода (май-сентябрь 2024 г.) характеризовались средними температурами воздуха (+18,5°C) и почвы (+20,8°C), количеством осадков (4,3 мм) и инсоляцией (10 солнечных дней в среднем за месяц), что в целом соответствовало типичным для региона показателям и обеспечило благоприятные условия для вегетации сельскохозяйственных культур.

2. **Агробиологическая оценка** показала, что мягкие сорта яровой пшеницы («Злата», «Юбилейная», «Агрос») продемонстрировали нормальные для региона показатели развития: средняя высота растений, развитая корневая система, масса колоса. (0,85-1,00 г) и количество зерен (25-30 шт./колос). В то же время, выращивание твердой пшеницы в условиях Москвы признано нерентабельным из-за ее низкой урожайности и несоответствия агрономическим нормативам.

3. **Комплексный анализ качества зерна** трех сортов мягкой пшеницы выявил его высокую товарную и пищевую ценность. Все изученные сорта показали высокую стекловидность (60-62 %), относящуюся к I категории, и высокие показатели натуры (795 г/л), что соответствует зерну I класса качества. По содержанию белка большинство образцов также соответствовало I классу ($\geq 14,5$ %). Наибольшую эффективность показала инновационная система удобрений (ИН), особенно в варианте с сортом «Злата ИН», который продемонстрировал наилучшие результаты по содержанию белка (16,49 %) и клейковины (30,52 %), полностью соответствуя I (сильному) классу и являясь идеальным филлером для улучшения хлебопекарных свойств слабой муки.

4. На основании полученных данных доказана **эффективность предложенной экологической значимости**, включающей:

- подбор адаптивных сортов мягкой яровой пшеницы;
- применение дифференцированных систем удобрений, где инновационная схема показала наилучший результат;
- комплексный мониторинг агроклиматических и почвенных условий;
- системный подход к оценке не только урожайности, но и ключевых показателей качества зерна.

Таким образом, реализация предложенных агротехнологических приемов позволяет получать на переувлажненных территориях стабильные урожаи высококачественного зерна I-II классов, пригодного для пищевых целей, производства муки и хлебопекарной промышленности, а также для экспорта. Это способствует снижению экологических рисков, обеспечению экономической устойчивости и продовольственной безопасности региона.

Перспективы дальнейших исследований видятся в углубленном изучении влияния микробиологических препаратов на плодородие почв и продуктивность культур, а также в расширении сортового испытания в условиях меняющегося климата.

Conclusion. The comprehensive studies conducted have enabled the formulation of an ecological concept for spring wheat cultivation in the specific soil and climatic conditions of the waterlogged territories in the Central Region of Russia. The following key results were obtained in the course of the work:

1. The agrarian and climatic conditions during the growing season (May-September 2024) were characterized by average air temperature (+18.5°C), soil temperature (+20.8°C), precipitation (4.3 mm), and insolation (10 sunny days per month on average). These parameters generally corresponded to the typical regional averages and provided favorable conditions for crop vegetation.

2. The agrarian and biological assessment showed that soft spring wheat varieties ('Zlata', 'Yubileinaya', 'Agros') demonstrated development indicators normal for the region: average plant height, developed root system, ear weight (0.85-1.00 g), and number of grains per ear (25-30 pcs./ear). At the same time, the cultivation of durum wheat in the conditions of the Moscow area was deemed unprofitable due to its low yield and non-compliance with agronomic standards.

3. A comprehensive analysis of the grain quality of the three soft wheat varieties revealed its high commercial and nutritional value. All studied varieties exhibited high vitreousness (60-62 %), falling into Grade I, and high test weight (795 g/l), which corresponds to Grade I quality grain. In terms of protein content, most samples also met Grade I standards (≥ 14.5 %). The innovative fertilizer system (IFS) demonstrated the greatest efficacy, particularly in the variant with the 'Zlata IFS' variety, which showed the best results for protein (16.49 %) and gluten (30.52 %) content, fully complying with Grade I (strong) and being an ideal filler for improving the baking properties of weak flour.

4. Based on the data obtained, the effectiveness of the proposed ecological concept has been proven, which includes:

- Selection of adaptive soft spring wheat varieties.
- Application of differentiated fertilizer systems, where the innovative scheme showed the best result.
- Comprehensive monitoring of agro-climatic and soil conditions.
- A systematic approach to assessing not only yield but also key grain quality parameters.

Thus, the implementation of the proposed agro technical practices enables the production of stable yields of high-quality Grade I-II grain on waterlogged territories, suitable for food purposes, flour production, the baking industry, and for export. This contributes to reducing environmental risks, ensuring economic sustainability, and enhancing the food security of the region.

Future research prospects are seen in an in-depth study of the impact of microbiological preparations on soil fertility and crop productivity, as well as in expanding varietal testing under conditions of a changing climate.

Библиографический список

1. Джанчаров Т. М., Шаламов Д. И., Котрелева А. Т. Влияние абиотических факторов на рост и развитие яровых растений в условиях Экологического стационара. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2024. № 4-2. С. 10-16.
2. Мартынов Е. Н., Панфилов А. В., Попов В. Г., Доронин К. М. Влияние севооборотов, пастбищ, агротехнических и лесомелиоративных приемов на урожайность сельскохозяйственных культур и эрозию почв. Научная жизнь. 2020. Т. 15. № 2 (102). С. 189-198.
3. Дёмина И. Ф. Селекционная ценность сортов пшеницы мягкой яровой разных эколого-географических групп по устойчивости к полеганию. Сурский вестник. 2019. № 2 (6). С. 27-30.
4. Дёмина Е. А., Кинчаров А. И., Таранова Т. Ю. Сравнительная оценка исходного материала яровой мягкой пшеницы по массе 1000 зерен. Известия Самарского научного центра РАН. 2018. № 2 (4). С. 700-704.
5. Зайцева К. Г., Сайдышева Г. В. Влияние минеральных, биоминеральных удобрений и биопрепарата на урожайность и качество зерна яровой пшеницы. Вестник Курганской ГСХА. 2020. № 3 (35). <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-mineralnyh-biomineralnyh-udobreniy-i-biopreparata-na-urozhaynost-i-kachestvo-zerna-yarovoy-pshenitsy>
6. Кинчаров А. И., Дёмина Е. А., Таранова Т. Ю., Чекмасова К. Ю. Изучение коллекционных образцов яровой мягкой пшеницы по скороспелости. Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2018. № 10-1. С. 136-141.
7. Шаламов Д. И., Джанчаров Т. М. Методика закладки опытов с влаголюбивыми культурами (мох, тростник, рогоз) в условиях городских экосистем. Агрохимический вестник. 2022. № 3. С. 74-78.
8. Гвоздь В. К., Джанчаров Т. М., Шаламов Д. И., Жевнеров А. В., Васильев Д. А. Оценка влияния структуроулучшающих добавок и минеральных удобрений на содержание тяжелых металлов в городских почвах под газонами. Агрохимический вестник. 2023. № 3. С. 86-90.
9. Таранова Т. Ю., Кинчаров А. И., Дёмина Е. А., Муллаянова О. С. Оценка коллекционных образцов яровой мягкой пшеницы на короткостебельность и устойчивость к полеганию. Успехи современного естествознания. 2020. № 4. С. 48-53. <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37361>
10. Шаламов Д. И., Джанчаров Т. М., Александров Н. А., Васенев И. И. Решение проблемы переувлажненных территорий в условиях мегаполиса на примере экологического стационара РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева. Агрохимический вестник. 2021. № 2. С. 63-66.
11. Гвоздь В. К., Шаламов Д. И. Технология посадки рогоза узколистного на торфяном грунте для достижения максимального накопления органического углерода в почве. АгроЭкоИнфо. 2023. № 5 (59).
12. Livanova R. et al. Economic and legal aspects of budgetary sphere formation. Revista Juridica. 2024. Vol. 3. No. 79. Pp. 652-660.

References

1. Dzhancharov T. M., Shalamov D. I., Kotreleva A. T. The influence of abiotic factors on the growth and development of spring crops in the conditions of an ecological stationary site. Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Sciences, 2024. No 4-2. Pp. 10-16.
2. Martynov E. N., Panfilov A. V., Popov V. G., Doronin K. M. (2020). The impact of crop rotations, pastures, agrotechnical and forest reclamation practices on crop yields and soil erosion. Scientific Life. 2020. V. 15. № 2 (102). Pp. 189-198.
3. Demina I. F. Breeding value of soft spring wheat varieties from different ecological and geographical groups in terms of lodging resistance. Sursky Bulletin. 2019. No 2 (6). Pp. 27-30.
4. Demina E. A., Kincharov A. I., Taranova T. Yu. Comparative assessment of spring soft wheat germplasm based on 1000-kernel weight. Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2018. No 2 (4). Pp. 700-704.
5. Zaitseva K. G., Saidyasheva G. V. The effect of mineral, bio-mineral fertilizers and biopreparations on the yield and quality of spring wheat grain. Bulletin of Kurgan State Agricultural Academy. 2020. № 3 (35). <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-mineralnyh-biomineralnyh-udobreniy-i-biopreparata-na-urozhaynost-i-kachestvo-zerna-yarovoy-pshenitsy>
6. Kincharov A. I., Demina E. A., Taranova T. Yu., Chekmasova K. Yu. Study of spring soft wheat collection accessions for earliness. International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2018. No 10-1. Pp. 136-141.
7. Shalamov D. I., Dzhancharov T. M. Methodology for establishing experiments with moisture-loving crops (moss, reed, cattail) in urban ecosystems. Agrochemical Herald. 2022. No 3. Pp. 74-78.
8. Gvozd V. K., Dzhancharov T. M., Shalamov D. I., Zhevnerov A. V., Vasiliev D. A. Assessment of the impact of structure-improving additives and mineral fertilizers on heavy metal content in urban lawn soils. Agrochemical Herald. 2023. No 3. Pp. 86-90.
9. Taranova T. Yu., Kincharov A. I., Demina E. A., Mullayanova, O. S. Evaluation of spring soft wheat collection accessions for short stature and lodging resistance. Advances in Current Natural Sciences. 2020. № 4. Pp. 48-53. <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37361>
10. Shalamov D. I., Dzhancharov T. M., Aleksandrov N. A., Vasenev I. I. Addressing waterlogged areas in megacities: a case study of the ecological stationary site at RGAU-MSKhA named after K. A. Timiryazev. Agrochemical Herald. 2021. No 2. Pp. 63-66.

11. Gvozd V. K., Shalamov D. I. Technology for planting narrow-leaved cattail on peat soil to maximize organic carbon accumulation in soil. *AgroEcolInfo*. 2023. No 5 (59).

12. Livanova R. et al. Economic and legal aspects of budgetary sphere formation. *Revista Juridica*. 2024. Vol. 3. No 79. Pp. 652-660.

Информация об авторах

Шаламов Дмитрий Игоревич, научный сотрудник, ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГИМ им. А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Большая Академическая, д. 44, корп. 2).

Джанчаров Турмушбек Мурзабекович, кандидат биологических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49).

Лагутина Наталия Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49).

Евграфов Алексей Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49).

Кутенкова Мария Викторовна, гидрохимик, ФГБОУ «Центральное УГМС» (Российская Федерация, 123242, г. Москва, пер. Нововогаганковский, 8).

Authors' Information

Shalamov Dmitry Igorevich, Researcher, Federal Scientific Center for Hydrotechnics and Melioration named after A. N. Kostikov (Russian Federation, 127434, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya Street, 44/2).

Dzhancharov Turmushbek Murzabekovich, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev (Russian Federation, 127550, Moscow, Timiryazevskaya St., 49).

Lagutina Natalia Vladimirovna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev (Russian Federation, 127550, Moscow, Timiryazevskaya St., 49).

Evgrafov Alexey Viktorovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev (Russian Federation, 127550, Moscow, Timiryazevskaya St., 49).

Kutenkova Maria Viktorovna, Hydrochemist, Federal State Budgetary Institution «Central UGMS» (Russian Federation, 123242, Moscow, Novovogankovsky Lane, 8).

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-27

THE INFLUENCE OF THE TILLAGE METHODS, WATER AND FOOD REGIMES ON THE WATER CONSUMPTION COEFFICIENT OF WHITE CABBAGE IN THE LOWER VOLGA REGION

Shchepotko N. A., Bocharnikova O. V., Ovchinnikov A. S.

Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: schepotko.n@yandex.ru

Received 11.01.2026

Submitted 02.02.2026

Abstract

Introduction. Increasing the yield of white cabbage remains an urgent problem in modern agriculture. The most important factor in increasing productivity is the optimization of agrotechnical measures. These include high-quality soil preparation before sowing, the introduction of drip irrigation and fertigation technologies that ensure the economical use of water resources and mineral fertilizers. **Materials and methods.** Experimental field tests were carried out in a peasant farm "S.P. Pavlova", located in the Surovikinsky district, for a three-year period from 2013 to 2015. The organization of the field experiment was based on the methodology of a complete factorial experiment, which takes into account a number of variable factors. Factor A: the method of basic and pre-planting soil preparation. • Factor B: water regime of the soil. • Factor C: the level of mineral nutrition, focused on obtaining the planned yield of white cabbage. **Results and conclusions.** The highest yield of white cabbage was obtained on the third system of basic and pre-planting soil preparation. At the same time, the threshold of pre-watering humidity was maintained at 80-80 % HB, and mineral fertilizers were applied at a dose of $N_{285} P_{130} K_{260}$. The yield was 123.4 t/ha, which is 63.2 % higher than the minimum yield value obtained in the first system of basic and pre-planting soil preparation while maintaining the threshold of pre-watering moisture at the level of 80-70 % HB and the application of mineral fertilizers with a dose of $N_{155} P_{70} K_{40}$. Thus, the results of the study confirm that the improvement of agrotechnical techniques, including soil preparation, irrigation and fertilization, significantly increases the productivity of white cabbage crops.

Keywords: coefficients of water consumption, yield of white cabbage, water consumption of white cabbage, mineral nutrition of white cabbage, methods of tillage.

Citation. Shchepotko N. A., Bocharnikova O. V., Ovchinnikov A. S. The influence of the tillage methods, water and food regimes on the coefficient of water consumption of white cabbage in the Lower Volga region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 269-279 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-27.

The authors' contribution. All the authors of this study were directly involved in the planning, execution, or analysis of this study. All the authors of this article have read and approved the submitted final version.

Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interest

УДК 631.74:635.342

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ, ВОДНОГО И ПИЩЕВОГО РЕЖИМОВ НА КОЭФФИЦИЕНТ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ БЕЛОКОЧАННОЙ КАПУСТЫ В НИЖНЕМ ПОВОЛЖЬЕ

Щепотько Н. А., преподаватель

Бочарникова О. В., доктор технических наук, профессор

Овчинников А. С., академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Проблемы повышения урожайности белокочанной капусты. В современном сельском хозяйстве одной из ключевых задач является увеличение урожайности белокочанной капусты. Для достижения этой цели необходимо оптимизировать агротехнические мероприятия, которые включают качественную подготовку почвы перед посевом, внедрение технологий капельного полива и фертигации, обеспечивающих экономичное использование водных ресурсов и минеральных удобрений. **Материалы и методы исследования.** Экспериментальные полевые испытания проводились в крестьянско-фермерском хозяйстве «С. П. Павлова», расположенном в Суровикинском районе, в течение трехлетнего периода с 2013 по 2015 годы. Организация полевого опыта была основана на методологии полного факториального эксперимента, предусматривающей учет ряда переменных факторов: фактор А: способ основной и предпосадочной подготовки почвы; фактор В: водный режим почвы; фактор С: уровень минерального питания, ориентированный на получение планируемой урожайности белокочанной капусты. **Результаты и выводы.** Наибольшая урожайность белокочанной капусты была получена на третьей системе основной и предпосадочной подготовки почвы. При этом поддерживался порог предполивной влажности на уровне 80-80 % НВ, а минеральные удобрения вносились дозой $N_{285}P_{130}K_{260}$. Урожайность составила 123,4 т/га, что на 63,2 % выше минимального значения урожайности, полученного на первой системе основной и предпосадочной подготовки почвы при поддержании порога предполивной влажности на уровне 80-70 % НВ и внесении минеральных удобрений дозой $N_{155}P_{70}K_{40}$. Таким образом, результаты исследования подтверждают, что совершенствование агротехнических приемов, включая подготовку почвы, орошение и внесение удобрений, значительно повышает продуктивность посевов белокочанной капусты.

Ключевые слова: коэффициенты водопотребления, урожайность белокочанной капусты, водопотребление капусты белокочанной, минеральное питание капусты белокочанной, способы обработки почвы.

Цитирование. Щепотько Н. А., Бочарникова О. В., Овчинников А. С. Влияние способов обработки почвы, водного и пищевого режимов на коэффициент водопотребления белокочанной капусты в Нижнем Поволжье. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 269-279. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-27.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В современном мире капуста занимает важное положение в культуре многих стран главным образом благодаря содержанию клетчатки, минеральных веществ (Са, Р и К) и витаминов [1-7]. Ее обычно употребляют в свежем виде, салатах, используют при варке, жарке и ферментации. Капуста выращивается в более чем 90 странах и считается одной из пяти лучших овощных культур во всем мире. Зеленая капуста составляет почти 70 % от общего мирового производства капусты. Наиболее широко выращивается из-за ее адаптивности к различным климатическим условиям и длительного срока хранения [8-14].

Мировой рынок капусты пережил заметное расширение из-за увеличения потребления в различных регионах и секторах. В 2024 году мировое производство капусты превысило 71 миллион тонн, при этом на долю одного только Китая приходится более 47 % от общего объема производства, производя более 33 миллионов тонн. Индия является вторым по величине производителем, внося около 9 миллионов тонн, в то время как Россия, Южная Корея и Япония также являются важными игроками на рынке [15-20].

Размер рынка капусты был оценен в 5,21 млн долларов США в 2025 году и, как ожидается, достигнет 6,79 млн долларов США к 2033 году, увеличив CAGR на 3,37 % с 2025 по 2033 год.

Средняя урожайность на гектар в мире составляет 27,3 т/га, при этом такие страны, как Южная Корея и Япония, достигают урожайности более 50 т/га благодаря передовым сельскохозяйственным технологиям [21-26]. Спрос на капусту обусловлен ее высокой питательной ценностью, богатством витамином С, клетчаткой и антиоксидантами. Она широко используется как в сыром, так и в приготовленном виде в кулинарии и в производстве продуктов питания. В розничном сегменте растущее предпочтение свежих, органических продуктов способствовало увеличению потребления капусты, особенно в Северной Америке и Европе. Рынок поддерживается развитой отраслью производства семян и растущей механизацией в сельском хозяйстве, что позволило в последние годы повысить эффективность сбора урожая более чем на 30 %.

Коэффициент водопотребления является переменной величиной, зависящей от биологических особенностей культуры, а также от почвенных, климатических, агротехнических и агрохимических условий. В связи с этим его необходимо определять экспериментально для каждого конкретного случая [27].

Материалы и методы. Наблюдения осуществлялись в период с 2013 по 2015 годы на территории хозяйства «С. П. Павлова», находящегося в Суровикинском районе Волгоградской области. Участок испытаний характеризуется каштановыми почвами, распространенными в данном регионе, и обладает средним суглинковым составом частиц.

Фактор А: Методики базовой и предпосадочной обработки почвы.

В ходе эксперимента было рассмотрено три метода подготовки земли перед посадкой рассады белокочанной капусты.

Factor A: Methods of basic and pre-planting tillage.

During the experiment, three methods of preparing the ground before planting cabbage seedlings were considered

Вариант A1 / Option A1	(контроль): стандартный способ обработки, состоящий из процедуры дискования, вспашки, боронования и культивации непосредственно перед высадкой растений / (control): a standard processing method consisting of disking, plowing, harrowing and cultivating procedures immediately before planting
Вариант A2 / Option A2	предложенный метод обработки, предусматривающий проведение дискования, вспашки, боронования и завершающего фрезерования перед посадкой / the proposed processing method, which involves disking, plowing, harrowing and final milling before planting
Вариант A3 / Option A3	альтернативный метод обработки, включающий двукратное дискование зяби, боронование, глубокое полосное рыхление почвы и финишное фрезерование перед высадкой рассады / an alternative processing method, including double treading of the finch, harrowing, deep strip loosening of the soil and finishing milling before planting seedlings

Для изучения влияния водного режима почвы на урожайность белокочанной капусты были рассмотрены три уровня поддержания предполивной влажности почвы с использованием системы капельного полива:

Фактор В: Водный режим почвы.

Factor B: Soil water regime.

Вариант B1 / Option B1	дифференцированный порог предполивной влажности почвы на уровне 80-70 % НВ: 80 % НВ – в период от высадки рассады до фазы образования кочана; 70 % НВ – далее до наступления фазы технической спелости / the differentiated threshold of pre-watering soil moisture at the level of 80-70 % HB: 80 % HB – in the period from seedling planting to the phase of head formation; 70 % HB – further until the onset of the phase of technical ripeness
Вариант B2 /	постоянный порог предполивной влажности почвы на уровне 80 % НВ /

Option B2	a constant threshold of pre-watering soil moisture at 80 % HB
Вариант B3 / Option B3	дифференцированный порог предполивной влажности почвы на уровне 80-90 % HB: 80 % HB – в период от высадки рассады до фазы образования кочана; 90 % HB – далее до наступления фазы технической спелости / the differentiated threshold of pre-watering soil moisture at the level of 80-90 % HB: 80 % HB – in the period from seedling planting to the phase of head formation; 90 % HB – further until the onset of the phase of technical ripeness

Фактор С: Уровень минерального питания.

На каждом из вариантов по изучению водного режима почвы были заложены исследования по дозам внесения минеральных удобрений.

Factor C: The level of mineral nutrition.

On each of the options for studying the water regime of the soil, studies on the doses of mineral fertilizers were carried out

Вариант C1 / Option C1	внесение расчетной дозы минеральных удобрений $N_{155}P_{70}K_{40}$ на планируемую урожайность 80 т/га / application of the calculated dose of mineral fertilizers $N_{155}P_{70}K_{40}$ for the planned yield of 80 t/ha
Вариант C2 / Option C2	внесение расчетной дозы минеральных удобрений $N_{220}P_{100}K_{150}$ на планируемую урожайность 100 т/га / application of the calculated dose of mineral fertilizers $N_{220}P_{100}K_{150}$ for the planned yield of 100 t/ha
Вариант C3 / Option C3	внесение расчетной дозы минеральных удобрений $N_{285}P_{130}K_{260}$ на планируемую урожайность 120 т/га / application of the calculated dose of mineral fertilizers $N_{285}P_{130}K_{260}$ for the planned yield of 120 t/ha

Таким образом, полевые исследования, проведенные в фермерском хозяйстве «С. П. Павлова», дали возможность оценить влияние различных факторов на урожайность белокочанной капусты, что может служить основой для оптимизации агротехнических приёмов и повышения эффективности сельскохозяйственного производства.

Общая характеристика опытного участка.

Исследовательский опытный участок, предназначенный для проведения экспериментов, имел общую площадь 2 га. Учетная площадь единичных делянок составляла 150 м². Исследования проводились на посевах белокочанной капусты гибрида Валентина F1.

Методика закладки опытов.

Опыты закладывались методом расщепленных делянок. Форма и направление делянок, а также размеры защитных полос принимались в соответствии с требованиями общепринятых методик. По площади земельного участка опыт закладывался методом расщепленных делянок. Варианты водного режима почвы и режима минерального питания располагались поперек опытного участка.

Расчет доз внесения минеральных удобрений.

Дозы внесения минеральных удобрений по вариантам опыта рассчитывали по общепринятой методике методом элементарного баланса. Для расчета доз удобрений учитывали следующие факторы:

- Планируемая урожайность капусты, позволяющая с учетом химического состава продукции рассчитывать вынос питательных веществ.
- Биологические особенности капусты и ее химический состав, что обуславливает динамику потребления и вынос элементов минерального питания растениями в расчете на единицу основной продукции.
- Содержание подвижных форм элементов минерального питания в почве, по которому определяли степень ее обеспеченности азотом, фосфором и калием, что необходимо для дифференциации расчетных доз удобрений.

Условия проведения опытов.

По всем вариантам опыта почвы, рельеф, гидрологические условия были одинаковыми. Для исключения влияния почвенных разностей опыты закладывались в четырехкратной повторности. Размещение вариантов в пределах фактора А было рандомизированным.

Система орошения.

Для орошения использовали систему капельного орошения «НЕТАФИМ» со встроенными через 0,4 м капельницами полукомпенсированного типа с расходом воды 1,6 л/с.

Таким образом, проведенные исследования позволили получить достоверные данные о влиянии различных факторов на урожайность белокочанной капусты гибрида Валентина F1.

Результаты и обсуждение.

Факториальное воздействие метеорологических условий и агротехнологических мероприятий на продуктивность *Brassica oleracea* var. *capitata* L.

Brassica oleracea var. *capitata* L. представляет собой одну из ключевых сельскохозяйственных культур, возделываемых на территории Российской Федерации. Уровень её урожая обусловлен рядом экзогенных и эндогенных переменных, среди которых первостепенное значение имеют климатические факторы и агротехнические методы обработки посевных площадей. Данная публикация обобщает эмпирический материал, полученный в результате систематического мониторинга влияния различных технологий почвенной обработки, способов ирригационного обеспечения и норм внесения минеральных соединений на урожайность белокочанной капусты за период с 2013 по 2015 годы включительно.

Климатические параметры окружающей среды.

Анализ климатических показателей выявил зависимость величины валового сбора продукции от количества атмосферных осадков, выпавших в течение периода вегетации растения. Так, в 2013 году суммарный объем осадков составил 288,3 мм, что классифицирует указанный временной интервал как увлажнённый. Напротив, 2014 год отличался минимальной водностью – всего лишь 64,2 мм осадков, вследствие чего рассматриваемый период был признан засушливым. Показатели 2015 года свидетельствуют о промежуточном характере водного режима (81 мм осадков), что определяет указанный год как среднезасушливый.

Способы механической обработки грунта и системы подкормки растений.

Рассада капусты была пересажена в открытый грунт соответственно следующим датам: 30 мая 2013 года и 1 июня в последующие два года исследования. Удобрения вводились методом фертигации, предусматривающим введение питательных веществ непосредственно через поливочную воду. Применялись исключительно легкорастворимые минеральные соединения, равномерно распределённые по фазам роста исследуемого биологического объекта.

Агроэкологические мероприятия и динамика урожайности.

Проведённое исследование продемонстрировало значительную корреляционную связь между уровнем реализации агротехнологий и показателями плодоношения культивируемых экземпляров *Brassica oleracea* var. *capitata* L. Обоснованно утверждать, что применение рациональных методов механизированной подготовки земельного участка и оптимальное использование органических и минеральных ресурсов способно существенно увеличить выход сельскохозяйственной продукции.

На основании полученных результатов сделан вывод о значительном влиянии природных и антропогенно обусловленных факторов на производительность сорта *Brassica oleracea* var. *capitata* L. Подтверждено положительное воздействие грамотно организованных агротехнических процедур, включая подготовку плодородного слоя и систему подачи питательного субстрата, на повышение уровня урожайности данной сельскохозяйственно важной культуры. Полученные данные представляют теоретико-практическую ценность и рекомендованы к применению в последующих циклах производства капустных сортов.

Зависимость урожайности сельскохозяйственных культур от коэффициента водопотребления определяется взаимодействием множества факторов, включая климатические условия, агротехнические приемы, генетику растений и качество почвы.

Коэффициент водопотребления – показатель, характеризующий количество воды, необходимое растению для формирования единицы урожая сухой массы. Этот коэффициент показывает эффективность использования влаги растениями и зависит от типа культуры, условий выращивания и уровня управления водными ресурсами.

Коэффициент водопотребления сельскохозяйственных культур, возделываемых на орошении, имеет большое значение для сельхозтоваропроизводителей, так как, в связи с высокой ценой, связанной с подачей воды, затраты на орошение превышают все остальные затраты, вместе взятые, и могут достигать в структуре затрат до 70 %. А так как капуста белокочанная поздняя очень влаголюбивая овощная культура, то, соответственно зависимость рентабельности производства в большой степени зависит от коэффициента водопотребления, то есть от количества воды, потраченного на единицу овощной продукции. В 2013 году исследования показали, что наименьший коэффициент водопотребления был зафиксирован на третьем варианте предлагаемой системы основной и предпосадочной подготовки почвы. Этот вариант включал двойное дискование зяби, боронование, объемное полосное рыхление и предпосадочное фрезерование с последующей высадкой рассады. При режиме орошения 80-80 % НВ и дозе внесения удобрений $N_{285}P_{130}K_{260}$ коэффициент водопотребления составил $37,3 \text{ м}^3/\text{т}$. При этом, на том же третьем варианте, но при режиме орошения 80-90 % НВ, коэффициент водопотребления снизился еще на $0,9 \text{ м}^3/\text{т}$, что свидетельствует о высокой эффективности данной системы подготовки почвы.

Наибольший коэффициент водопотребления был зафиксирован на втором варианте предлагаемой системы, включающей дискование, вспашку, боронование и предпосадочное фрезерование с последующей высадкой рассады. При режиме орошения 80-70 % НВ и дозе внесения удобрений $N_{155}P_{70}K_{40}$ коэффициент водопотребления составил $57,2 \text{ м}^3/\text{т}$, что на $19,9 \text{ м}^3/\text{т}$ больше по сравнению с минимальным значением.

Таким образом, результаты исследований 2013 года показывают, что выбор оптимального режима орошения и дозы внесения удобрений оказывает значительное влияние на коэффициент водопотребления. Это подчеркивает важность тщательного планирования и подготовки почвы для обеспечения максимальной эффективности использования водных ресурсов в сельском хозяйстве.

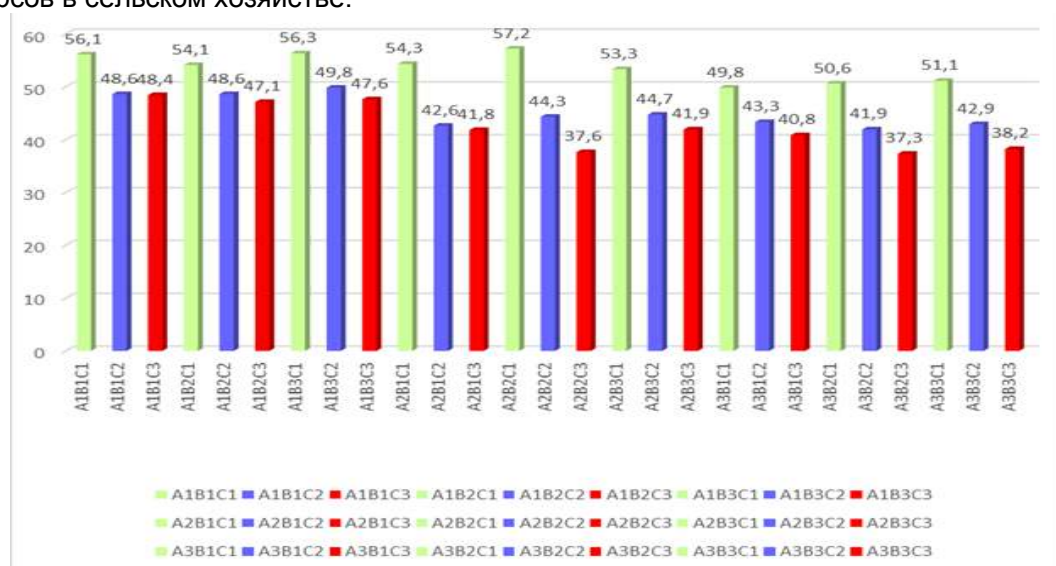


Рисунок 1 – Коэффициент водопотребления капусты белокочанной в 2013 году, $\text{м}^3/\text{т}$
Figure 1 – Coefficient of water consumption of white cabbage in 2013, $\text{м}^3/\text{т}$

В 2014 году исследования показали, что наименьший коэффициент водопотребления был достигнут на третьем варианте системы основной и предпосадочной подготовки почвы. Этот вариант включал двойное дискование зяби, боронование, объемное полосное рыхление и предпосадочное фрезерование с последующей высадкой рассады. При режиме орошения 80-80 % НВ и дозе внесения удобрений $N_{285}P_{130}K_{260}$ коэффициент водопотребления составил $40,1 \text{ м}^3/\text{т}$. Это значение оказалось на $2,8 \text{ м}^3/\text{т}$ выше, чем в 2013 году.

Наибольший коэффициент водопотребления был зафиксирован на втором варианте системы подготовки почвы. Он включал дискование, вспашку, боронование и предпосадочное фрезерование с последующей высадкой рассады. При режиме орошения 80-70 % НВ и дозе внесения удобрений $N_{155}P_{70}K_{40}$ коэффициент водопотребления составил $58,9 \text{ м}^3/\text{т}$. Это значение оказалось на $1,7 \text{ м}^3/\text{т}$ выше, чем в 2013 году, и на $18,8 \text{ м}^3/\text{т}$ больше по сравнению с минимальным значением.

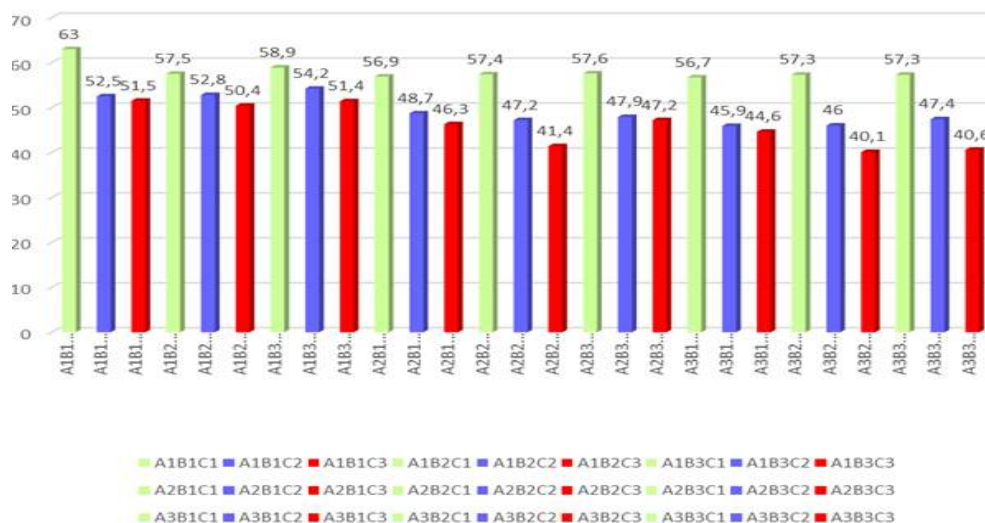


Рисунок 2 – Коэффициент водопотребления капусты белокочанной в 2014 году, м³/т
Figure 2 – Coefficient of water consumption of white cabbage in 2014, m³/t

В 2015 году наименьший коэффициент водопотребления был зафиксирован на третьем варианте системы основной и предпосадочной подготовки почвы. Этот вариант включал двойное дискование зяби, боронование, объемное полосное рыхление и предпосадочное фрезерование с последующей высадкой рассады. Режим орошения составлял 80-80 % НВ, а доза внесения удобрений – $N_{285}P_{130}K_{260}$. Коэффициент водопотребления на этом варианте составил 39,1 м³/т, что на 1,8 м³/т больше, чем в 2013 году, и на 1,0 м³/т больше, чем в 2014 году.

Наибольший коэффициент водопотребления был отмечен на втором варианте системы основной и предпосадочной подготовки почвы. Этот вариант включал дискование, вспашку, боронование и предпосадочное фрезерование с последующей высадкой рассады. Режим орошения составлял 80-70 % НВ, а доза внесения удобрений – $N_{155}P_{70}K_{40}$. Коэффициент водопотребления на этом варианте составил 59,3 м³/т, что на 2,1 м³/т больше, чем в 2013 году, на 0,4 м³/т больше, чем в 2014 году, и на 20,2 м³/т больше по сравнению с минимальным значением.

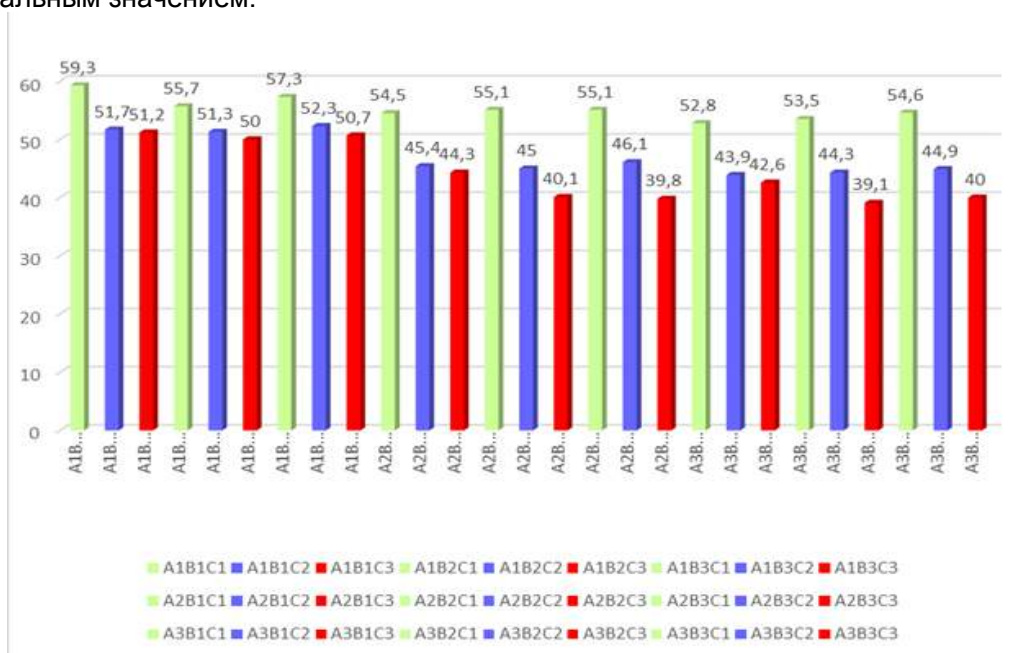


Рисунок 3 – Коэффициент водопотребления капусты белокочанной в 2015 году, м³/т
Figure 3 – Coefficient of water consumption of white cabbage in 2015, m³/t

В период с 2013 по 2015 год исследования показали, что коэффициент водопотребления существенно варьировался в зависимости от применяемой системы основной и предпосадочной подготовки почвы, режима орошения и доз внесения удобрений.

Наименьший коэффициент водопотребления был зафиксирован на третьем варианте предлагаемой системы, где режим орошения составлял 80-80 % НВ, а доза внесения удобрений – $N_{285} P_{130} K_{260}$. В этих условиях коэффициент водопотребления составил $38,8 \text{ м}^3/\text{т}$.

Наибольший коэффициент водопотребления наблюдался на первом варианте системы, где режим орошения был установлен на уровне 80-70 % НВ, а доза внесения удобрений составляла $N_{155} P_{70} K_{40}$. В данном случае коэффициент водопотребления достигал $59,9 \text{ м}^3/\text{т}$, что на $21,1 \text{ м}^3/\text{т}$ больше по сравнению с минимальным значением.

Таким образом, результаты исследований демонстрируют, что оптимизация режимов орошения и доз внесения удобрений может существенно снизить водопотребление, что имеет большое значение для повышения эффективности использования водных ресурсов в сельском хозяйстве.



Рисунок 4 – Коэффициент водопотребления капусты белокочанной в среднем за 2013-2015 годы, $\text{м}^3/\text{т}$
Figure 4 – Coefficient of water consumption of white cabbage on average for 2013-2015, $\text{м}^3/\text{т}$

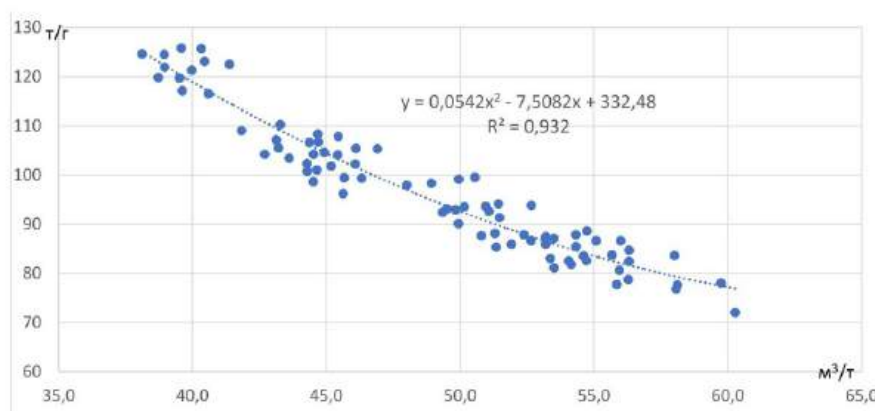


Рисунок 5 – Урожайность и коэффициент водопотребления
Figure 5 – Yield and water consumption coefficient

Заключение. Коэффициент водопотребления был наименьшим на третьем варианте предлагаемой системы основной и предпосадочной подготовки почвы при режиме орошения 80-80 % НВ с дозой внесения удобрений $N_{285} P_{130} K_{260}$ и составлял $38,8 \text{ м}^3/\text{т}$.

Понимание зависимости урожайности от коэффициента водопотребления важно для разработки устойчивых методов земледелия, особенно в условиях изменения климата и дефицита водных ресурсов. Использование современных технологий мониторинга влажности почвы и точного полива позволяет оптимизировать использование воды и увеличить урожайность.

Таким образом, зависимость урожайности от коэффициента водопотребления является сложной системой, зависящей от многих переменных. Эффективное управление этими факторами имеет решающее значение для устойчивого сельскохозяйственного производства и повышения продовольственной безопасности.

Conclusion. The coefficient of water consumption was lowest in the third variant of the proposed system of basic and pre-planting soil preparation with an irrigation regime of 80-80 % HB with a fertilizer application dose of $N_{285}P_{130}K_{260}$ and was $38.8 \text{ m}^3/\text{t}$.

Understanding the dependence of yield on water consumption is important for developing sustainable farming methods, especially in the context of climate change and water scarcity. The use of modern technologies for monitoring soil moisture and precise irrigation makes it possible to optimize water use and increase yields.

Thus, the dependence of yield on the coefficient of water consumption is a complex system that depends on many variables. Effective management of these factors is crucial for sustainable agricultural production and improved food security.

Библиографический список

1. Бабичев А. Н., Котляров Д. Ю., Бабенко А. А. Продуктивность капусты белокочанной в зависимости от режима орошения при капельном способе полива. Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2023. № 1 (89). С. 188-195.
2. Бородычев В. В., Щепотько Н. А. Водный режим почвы и продуктивность белокочанной капусты при капельном орошении. Научная жизнь. 2017. № 8. С. 42-51.
3. Бухаров А. Ф., Петрищев А. В., Пронькин В. В. Влияние стартового развития высаженных маточников на продуктивность фотосинтеза и урожайность семенных растений капусты белокочанной. Альманах современной науки и образования. 2011. № 12. С. 74-76.
4. Гиш Р. А. Овощеводство открытого грунта юга России. Состояние и тенденции развития Овощи России. 2021. № 4. С. 5-10.
5. Котов В. П., Адрицкая Н. А., Завьялова Т. И. Биологические основы получения высоких урожаев овощных культур. СПб.: Лань, 2022. 128 с.
6. Максаев А. А. и др. Место отрасли овощеводства в организационно-экономической сфере логистики при формировании продовольственных ресурсов. Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики. 2021. № 4. С. 114-121.
7. Мусаев М. Р. и др. Оптимальный режим орошения - залог высоких урожаев капусты белокочанной. Известия Дагестанского ГАУ. 2019. № 1 (1). С. 160-164.
8. Пронько Н. И., Рябцева Т. Г. Выращивание капусты белокочанной при капельном орошении на черномеземе Южном Нижнего Поволжья. Основы рационального природопользования: сборник материалов V международной конференции. Саратов: ООО Издательский центр "Наука", 2016. С. 138-142.
9. Пчелкин В. В., Попова Е. А., Солошенко А. Д. Влияние водного режима дерново-подзолистых почв на урожайность белокочанной капусты при капельном поливе. Научная жизнь. 2024. Т. 19. № 3 (135). С. 380-387.
10. Пчелкин В. В., Попова Е. А. Анализ водных балансов зоны аэрации при производстве белокочанной капусты. Мелиорация и водное хозяйство. 2025. № 5. С. 35-38.
11. Пчелкин В. В., Попова Е. А., Определение водопотребления белокочанной поздней капусты на основе испаряемости при капельном поливе. Природообустройство. 2025. № 5. С. 55-62.
12. Мусаев М. Р. и др. Разработка элементов технологии возделывания сортов и гибрида капусты белокочанной в условиях предгорной подпровинции Республики Дагестан. Известия Дагестанского ГАУ. 2019. № 1 (1). С. 152-156.
13. Рябцева Т. Г., Голик К. С., Пронько Н. А. Выращивание капусты белокочанной и баклажан при капельном поливе в саратовском правобережье. Аграрный научный журнал. 2017. № 12. С. 45-48.
14. Тютюма Н. В., Бондаренко А. Н., Костыренко О. В. Применение современных ростостимулирующих препаратов при возделывании капусты белокочанной позднего срока созревания. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 2 (66). С. 81-87.
15. Анишко М. Ю., Щепотько Н. А. Влияние фотосинтетической деятельности на урожайность белокочанной капусты при капельном орошении на светло-каштановых почвах Волгоградской области. Проблемы развития АПК региона. 2023. № 3 (55). С. 6-13.
16. Анишко М. Ю., Щепотько Н. А., Соловьев А. В. Оптимальная продуктивность белокочанной капусты в зависимости от обработки почвы, воздействия водных и минеральных факторов в Нижнем Поволжье. Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2024. № 2 (60). С. 26-30.
17. Ахмедов А. Д., Абдуова Р. Ю. Фотосинтетическая деятельность посевов капусты на орошаемых светло-каштановых почвах Волгоградской области. Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в условиях цифровой трансформации: материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград, 2022. С. 72-80.
18. Ахмедов А. Д., Абдуова Р. Ю. Эффективность влияния режима орошения и минерального питания на урожайность и качество белокочанной капусты. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 1 (79). С. 43-52.

19. Ахмедов А. Д., Кравцов А. А. Влияние режима орошения и минерального питания на урожайность капусты при капельном орошении. Овощеводство и тепличное хозяйство. 2015. № 10. С. 47-50.
20. Popova L., Balashova N., Bocharnikov V., Ivanov V. Prospects for the Digitalization of Regional Agro-industrial Complex. Digital Future Economic Growth, Social Adaptation, and Technological Perspectives. Switzerland: Springer Nature, 2020. V. 111. Pp. 687-694.
21. Овчинников А. С., Бочарников В. С., Бочарникова О. В. Регулирование водного и пищевого режимов почвы при капельном орошении в условиях Волгоградской области. Плодородие. 2012. № 3 (66). С. 35-36.
22. Овчинников А. С., Бочарников В. С., Мещеряков М. П. Совершенствование технических средств капельного и внутрипочвенного орошения. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2012. № 2 (26). С. 146-150.
23. Пронько Н. А. Вынос элементов питания овощными культурами при капельном орошении в саратовском правобережье. Научная жизнь. 2023. Т. 18. № 4 (130). С. 520-529.
24. Пронько Н. А., Корсаков К. В., Пронько В. В., Корсак В. В. Водопотребление и урожайность капусты белокочанной поздней агроскорости f1 при применении гуминовых удобрений на орошаемых темно-каштановых почвах Саратовского Заволжья. Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15. № 1. С. 118-129.
25. Хасаева З. М. Урожайность капусты белокочанной в зависимости от поливного режима в предгорной подпровинции Дагестана. Овощи России. 2019. № 5 (49). С. 46-51.
26. Щепотко Н. А., Анишко М. Ю. Влияние способов обработки почвы на продуктивность белокочанной капусты в Нижнем Поволжье. Проблемы развития АПК региона. 2023. № 3 (55). С. 91-97.
27. Пронько Н. А., Рябцева Т. Г. Водопотребление капусты белокочанной при капельном орошении в саратовском правобережье. Аграрный научный журнал. 2018. № 1. С. 27-30.

References

1. Babichev A. N., Kotlyarov D. Yu., Babenko A. A. Productivity of white cabbage depending on the irrigation regime with drip irrigation method. Ways to improve the efficiency of irrigated agriculture. 2023. No. 1 (89). Pp. 188-195.
2. Borodichev V. V., Shchepotko N. A. Water regime of soil and productivity of white cabbage under drip irrigation. Scientific life. 2017. No. 8. Pp. 42-51.
3. Bukharov A. F., Petrishchev A.V., Pronkin V. V. The effect of the initial development of planted queen cells on photosynthetic productivity and yield of white cabbage seed plants. The Almanac of Modern Science and Education. 2011. No. 12. Pp. 74-76.
4. Gish R. A. Vegetable growing in the open ground of the South of Russia. The state and development trends of Vegetables in Russia. 2021. No. 4. Pp. 5-10.
5. Kotov V. P., Adritskaya N. A., Zavialova T. I. Biological foundations of obtaining high yields of vegetable crops. St. Petersburg: Lan, 2022. 128 p.
6. Maksaev A. A. and others. The place of the vegetable growing industry in the organizational and economic sphere of logistics in the formation of food resources. Fundamental and applied research of the cooperative sector of the economy. 2021. No. 4. Pp. 114-121.
7. Musaev M. R. et al. The optimal irrigation regime is the key to high yields of white cabbage. News of the Dagestan SAU. 2019. № 1 (1). Pp. 160-164.
8. Pronko N. I., Ryabtseva T. G. Cultivation of white cabbage with drip irrigation in the Southern chernozem of the Lower Volga region. Fundamentals of rational environmental management: collection of materials of the V International Conference. Saratov: OOO Publishing Center "Nauka", 2016. Pp. 138-142.
9. Pchelkin V. V., Popova E. A., Soloshenkov A.D. The influence of the water regime of sod-podzolic soils on the yield of white cabbage with drip irrigation. Scientific life. 2024. Vol. 19. No. 3 (135). Pp. 380-387.
10. Pchelkin V. V., Popova E. A. Analysis of the water balances of the aeration zone in the production of white cabbage. Land reclamation and water management. 2025. No. 5. Pp. 35-38.
11. Pchelkin V. V., Popova E. A., Determination of water consumption of white cabbage based on evaporation during drip irrigation. Environmental management. 2025. No. 5. Pp. 55-62.
12. Musaev M. R. et al. Development of technology elements for cultivating varieties and hybrids of white cabbage in the conditions of the foothill sub-province of the Republic of Dagestan. News of the Dagestan SAU. 2019. № 1 (1). Pp. 152-156.
13. Ryabtseva T. G., Golik K. S., Pronko N. A. Cultivation of white cabbage and eggplant with drip irrigation in the Saratov right bank. Agricultural scientific journal. 2017. No. 12. Pp. 45-48.
14. Tyutyuma N. V., Bondarenko A. N., Kostyrenko O. V. The use of modern growth-stimulating drugs in the cultivation of late-ripening white cabbage. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2022. No. 2 (66). Pp. 81-87.
15. Anishko M. Yu., Shchepotko N. A. The effect of photosynthetic activity on the yield of white cabbage during drip irrigation on light chestnut soils of the Volgograd region. Problems of agro-industrial complex development in the region. 2023. No. 3 (55). Pp. 6-13.
16. Anishko M. Yu., Shchepotko N. A., Solovyov A.V. Optimal productivity of white cabbage depending on tillage, exposure to water and mineral factors in the Lower Volga region. Theoretical and applied problems of the agro-industrial complex. 2024. No. 2 (60). Pp. 26-30.
17. Akhmedov A. D., Abduova R. Y. Photosynthetic activity of cabbage crops on irrigated light chestnut soils of the Volgograd region. Innovative technologies in the agro-industrial complex in the context of digital transformation: proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Volgograd, 2022. Pp. 72-80.
18. Akhmedov A. D., Abduova R. Y. The effectiveness of the influence of irrigation regime and mineral nutrition on the yield and quality of white cabbage. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2025. No. 1 (79). Pp. 43-52.
19. Akhmedov A. D., Kravtsov A. A. Influence of irrigation regime and mineral nutrition on cabbage yield during drip irrigation. Vegetable growing and greenhouse farming. 2015. No. 10. pp. 47-50.
20. Popova L., Balashova N., Bocharnikov V., Ivanov V. Prospects for the Digitalization of Regional Agro-industrial Complex. Digital Future Economic Growth, Social Adaptation, and Technological Perspectives. Switzerland: Springer Nature, 2020. V. 111. Pp. 687-694.

21. Ovchinnikov A. S., Bocharnikov V. S., Bocharnikova O. V. Regulation of water and food regimes of soil during drip irrigation in the Volgograd region. *Fertility*. 2012. No. 3 (66). Pp. 35-36.
22. Ovchinnikov A. S., Bocharnikov V. S., Meshcheryakov M. P. Improvement of technical means of drip and intra-soil irrigation. *Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education*. 2012. No. 2 (26). Pp. 146-150.
23. Pronko N. A. Removal of food elements by vegetable crops during drip irrigation in the Saratov right bank. *Scientific Life*. 2023. V. 18. No. 4 (130). Pp. 520-529.
24. Pronko N. A., Korsakov K. V., Pronko V. V., Korsak V. V. Water consumption and yield of late aggressor f1 cabbage when using humic fertilizers on irrigated dark chestnut soils of the Saratov Trans-Volga region. *Land reclamation and hydraulic engineering*. 2025. V. 15. No. 1. Pp. 118-129.
25. Khasaeva Z. M. White cabbage yield depending on the irrigation regime in the foothill sub-province of Dagestan. *Vegetables of Russia*. 2019. No. 5 (49). Pp. 46-51.
26. Shchepotko N. A., Anishko M. Yu. The influence of tillage methods on the productivity of white cabbage in the Lower Volga region. *Problems of agro-industrial complex development in the region*. 2023. No. 3 (55). Pp. 91-97.
27. Pronko N. A., Ryabtseva T. G. Water consumption of white cabbage during drip irrigation in the Saratov right bank. *Agricultural scientific journal*. 2018. No. 1. Pp. 27-30.

Информация об авторах

Щепотько Наталья Александровна, преподаватель, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: schepotko.n@yandex.ru

Бочарникова Олеся Владимировна, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: olesya.bocharnikova@mail.ru

Овчинников Алексей Семенович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: volgau@volgau.com

Authors' Information

Shchepotko Natalia Aleksandrovna, teacher, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: schepotko.n@yandex.ru

Bocharnikova Olesya Vladimirovna, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: olesya.bocharnikova@mail.ru

Ovchinnikov Aleksey Semenovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: volgau@volgau.com

**ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ /
ANIMAL SCIENCE AND VETERINARY MEDICINE**

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-28

**THE PRODUCTIVITY AND MILK QUALITY OF COWS OF DIFFERENT BREEDS IN THE
CONDITIONS OF THE SOUTHERN FEDERAL DISTRICT****Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Antipova T. A., Mosolov A. A., Kudryashova O. V.,
Vorontsova E. S., Mosolova E. A.***Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: niimmp@mail.ru

Received 21.12.2025

Submitted 02.02.2026

The work was carried out within the framework of the Russian Science Foundation grant No. 22-16-00041-P.**Abstract**

Introduction. The southern regions of Russia, with their favorable climate, have a high potential for the development of the livestock industry. The most common breeds of cows in the southern federal district include the Holstein, Ayrshire, Red Steppe, Black-and-White, and other breeds. All of these breeds are characterized by high milk production, high fat and protein content, good acclimatization, and resistance to diseases. The diverse quality of milk allows for the production of food products with specific functional properties and a wide range of nutritional and biological values that meet industry standards. In this regard, the issues of increasing the productivity and quality of milk obtained from cows of different breeds, taking into account the influence of natural and climatic factors, are of interest in the scientific and practical fields of activity. **Materials and methods.** Statistical data from economic entities that are publicly available, using approaches and methods of comparative analysis of tabular data. **Results and conclusion.** The analysis of data on the productivity and quality of milk from different breeds of cows in the Southern Federal District, which form the basis of the region's dairy herds and contribute to the production of raw materials for processing enterprises. The superiority of the productivity of Holstein (10610 kg) and Black-and-White (10161 kg) breeds was established. In terms of quality characteristics, the highest fat content (4.0 %) was observed in Simmental cows, and the highest protein content (3.34 %) was observed in Montbéliarde cows. The overall fat content ranged from 3.75 to 4.0 %, and the protein content ranged from 3.19 to 3.34 %. The dry matter content in the milk of cows of all breeds was in the range of 12.48-12.83 %. The highest level is found in the Simmental breed. Cows of the Montbéliard breed had the maximum live weight of 676 kg, and the milk production coefficient was black and mottled (1789 kg). The coefficients of biological efficiency of cows and the biological value of milk prevail in cows of Holstein and black-and-white breeds. The analysis of the studied indicators in the subjects of the Southern Federal District shows their variability both within each subject and according to their territorial distribution.

Keywords: breeds of cows, dairy productivity of cows, quality of milk of cows, development of dairy cattle breeding, conditions of keeping cows.

Citation. Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Antipova T. A., Mosolov A. A., Kudryashova O. V., Vorontsova E. S., Mosolova E. A. The productivity and milk quality of cows of different breeds in the conditions of the Southern Federal district. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 280-287 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-28.

Authors' contribution. All authors of this study were directly involved in conducting the research and analyzing the results. All authors of this article have read and approved the final version.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 636.2.034+637.12.04

**ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО МОЛОКА РАЗНЫХ ПОРОД КОРОВ В УСЛОВИЯХ
ЮЖНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА**

Горлов И. Ф., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН
Сложеникина М. И., доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН
Антипова Т. А., доктор биологических наук
Мосолов А. А., доктор биологических наук
Кудряшова О. В., кандидат биологических наук
Воронцова Е. С., кандидат биологических наук
Мосолова Е. А., лаборант-исследователь

*ФГБНУ «Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции»
г. Волгоград, Российская Федерация*

Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 22-16-00041-П.

Актуальность. Южные регионы России, с присущим им благоприятным климатом, обладают высоким ресурсом развития отрасли животноводства. К числу наиболее распространенных пород коров ЮФО относятся: голштинская, айрширская, красная степная, черно-пестрая и др. Все породы

характеризуются высокой молочной продуктивностью в сочетании с высокими показателями содержания жира и белка, хорошей акклиматизацией и устойчивостью к заболеваниям. Разнообразие качественного состава молока позволяет получать пищевые продукты с определенной функциональной принадлежностью, широкого диапазона показателей пищевой и биологической ценности, отвечающих требованиям отраслевых стандартов. В этой связи вопросы повышения продуктивности и качества молока, полученного от коров разных пород, с учетом влияния природно-климатических факторов, вызывают интерес в научной и практической сферах деятельности. **Материалы и методы.** Статистические материалы хозяйственных субъектов, представленные в открытом доступе, с применением подходов и методов сравнительного анализа табличных данных. **Результаты и заключение.** Проведен анализ данных по продуктивности и качеству молока разных пород коров в условиях Южного Федерального округа, являющихся, основой молочного стада региона и формирующих объемы производства сырья для перерабатывающих предприятий. Установлено превосходство в продуктивности животных голштинской (10610 кг) и черно-пестрой (10161 кг) пород. По качественным характеристикам наивысший показатель массовой доли жира (4,0 %) отмечен у коров симментальской породы; белка (3,34 %) – у коров монбельярдской. Общий показатель содержания жира находился в пределах 3,75-4,0 %; белка – 3,19-3,34 %. Содержание сухих веществ в молоке коров всех пород находилось в пределах 12,48-12,83 %. Наиболее высокий уровень отмечен у симментальской породы. Максимальное значение живой массы, составляющее 676 кг, имели коровы монбельярдской породы, коэффициента молочности – черно-пестрой (1789 кг). Коэффициенты биологической эффективности коров и биологической полноценности молока преобладают у коров голштинской и черно-пестрой пород. Анализ исследуемых показателей в субъектах ЮФО показывает их вариабельность как внутри каждого субъекта, так и по их территориальной размещенности.

Ключевые слова: породы коров, молочная продуктивность коров, качество молока коров, развитие молочного скотоводства, условия содержания коров.

Цитирование. Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Антипова Т. А., Мосолов А. А., Кудряшова О. В., Воронцова Е. С., Мосолова Е. А. Продуктивность и качество молока разных пород коров в условиях Южного Федерального округа. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 280-287. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-28.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в выполнении исследований и анализе полученных результатов. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Приоритет в выборе и разведении породы молочного направления скота во многом определяется природно-климатическими условиями каждого отдельно взятого региона. В этой связи, животные, обладающие высоким адаптационным потенциалом в конкретных условиях, получают дальнейшее развитие и совершенствование. Высокая обеспеченность собственными кормами, внедрение прогрессивных региональных технологических решений, способствуют повышению продуктивности животных при меньших затратах труда и средств [1, 2].

Южные регионы России, с присущим им благоприятным климатом, обладают высоким ресурсом развития отрасли животноводства. Отмечаемый стабильный рост поголовья скота, связанный с мерами государственной поддержки, высокой квалификацией сотрудников в сельском хозяйстве и отраслях перерабатывающей промышленности, позволяют поддерживать на высоком уровне племенную работу и обеспечивать молочной продукцией не только свой регион, гарантируя при этом продовольственную безопасность [3, 4].

Племенная работа, направленная на разведение и селекцию крупного рогатого скота в регионах проводится в отношении молочных коров с разнообразной породной принадлежностью, способствующих стабильной тенденции увеличения объемов производства молока и повышения качества молочной продукции [5, 6].

Природно-климатические условия региона определяют целесообразность разведения той или иной породы, и селекционная работа связана с повышением продуктивности и приспособленностью животных к местным условиям [1]. Создание крупных агропромышленных комплексов способствует росту инвестиций в развитие отрасли и модернизации существующих производственных площадей [7]. К числу наиболее распространенных пород коров ЮФО относятся: голштинская, айрширская, красная степная, черно-пестрая и др. Все породы характеризуются высокой молочной продуктивностью в сочетании с высокими показателями содержания жира и белка, хорошей акклиматизацией и устойчивостью к заболеваниям. В общем поголовье КРС голштинская порода занимает 81,2 %; черно-пестрая – 10,0 %; айрширская – 6,64 %; красная степная – 5,7 % [8].

Среди преобладающих факторов, влияющих на качественные параметры молока, традиционно выделяют генетическую предрасположенность, обусловленную породной принадлежностью [9-13]. Разнообразие качественного состава молока позволяет получать

пищевые продукты с определенной функциональной принадлежностью, широкого диапазона показателей пищевой и биологической ценности, отвечающих требованиям отраслевых стандартов.

Промышленная переработка молочного сырья с использованием прогрессивных технологий представляет реальную возможность увеличения существующих мощностей и расширения ассортимента пищевой продукции региональных отраслевых предприятий. В этой связи вопросы повышения продуктивности и качества молока, полученного от коров разных пород, с учетом влияния природно-климатических факторов, вызывают интерес в научной и практической сферах деятельности.

Целью работы является анализ данных по продуктивности и качеству молока разных пород коров в условиях Южного Федерального округа, формирующих молочное стадо и влияющих на общее производство молока в регионе для его промышленной переработки.

Материалы и методы. Для проведения исследований использовали нормативные и законодательные документы, а также статистические материалы хозяйственных субъектов, представленные в открытом доступе, с применением подходов и методов сравнительного анализа табличных данных.

Полученные в ходе работы данные, использованы для оценки биологической ценности коров с применением коэффициентов биологической эффективности коров (БЭК) по формуле В. Н. Лазаренко (1990 г) и коэффициента биологической полноценности молока (КБП) по формуле О. В. Горелик (1998 г):

$$\text{БЭК} = (Y \cdot C) / Ж; \quad \text{КБП} = (Y \cdot \text{СОМО}) / Ж,$$

где, Y – удой за 305 дней лактации, кг; C – содержание сухих веществ в молоке, %; Ж – живая масса, кг; СОМО – содержание сухого обезжиренного молочного остатка в молоке, %.

В исследовании включены хозяйства пяти субъектов Южного Федерального округа (ЮФО): Краснодарского края, Волгоградской, Ростовской, Запорожской областей и Республики Крым. Анализ данных осуществляли по результатам «Ежегодника по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации» за 2024 год.

Результаты исследований. Данные молочной продуктивности и качества молока разных пород коров в ЮФО приведены на рисунках 1 и 2.

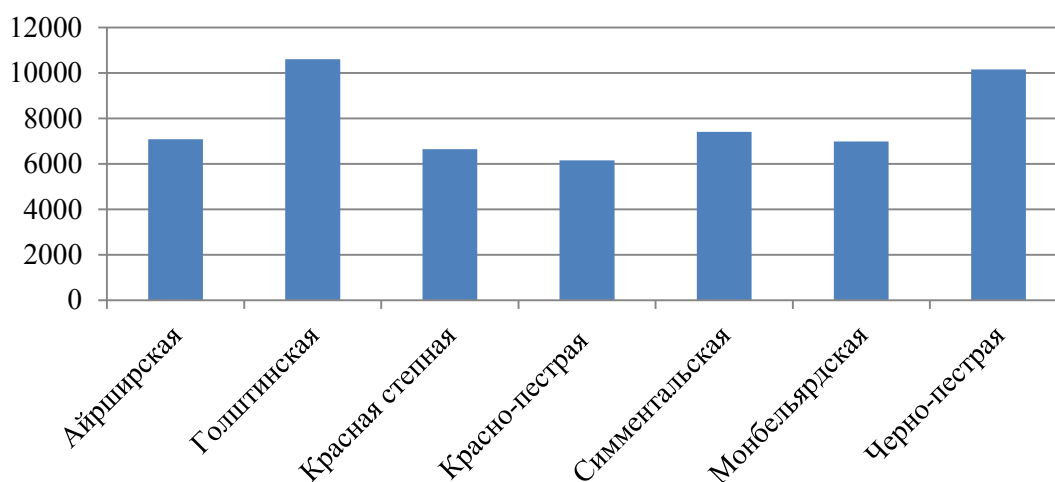


Рисунок 1 – Продуктивность разных пород коров, кг
Figure 1 – Productivity of different cow breeds, kg

Анализ полученных результатов позволяет отметить превосходство животных голштинской (10610 кг) и черно-пестрой (10161 кг) пород. Их удой значительно превышает показатель других пород коров, в частности: красно-пестрой на 72,2 и 64,9 %; красной степной – на 59,7 и 52,8 %; симментальской – на 51,8 и 45,4 %; айрширской – на 49,6 и 43,4 %; монбельярдской – на 43,2 и 37,1 %.

Химический состав молока, являясь характеристикой его полноценности, позволил установить превосходство по массовой доле жира (4,0 %) у коров симментальской породы; по белку (3,34 %) – у коров монбельярдской породы. Общий показатель содержания жира находился в пределах 3,75-4,0 %; белка – 3,19-3,34 %.

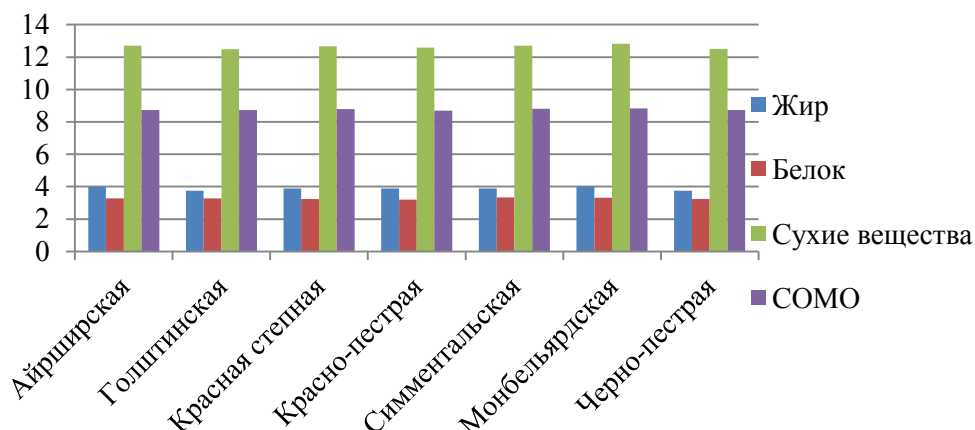


Рисунок 2 – Качественные показатели молока разных пород коров, %
Figure 2 – Quality indicators of milk from different breeds of cows, %

Содержание сухих веществ в молоке коров всех пород находилось в пределах 12,48-12,83 %. Наиболее высокий уровень отмечен у симментальской породы, превышающий показатель голштинской породы на 0,35 %.

Для оценки натуральности молока использовали показатель сухого обезжиренного молочного остатка (СОМО), диапазон изменения которого составил 8,69-8,83 % и максимальный – у коров симментальской породы. Согласно ГОСТ 31449-2013 «Молоко коровье сырое. Технические условия», показатель СОМО должен быть не менее 8,2 %, что свидетельствует о высокой степени натуральности молока всех пород коров.

Анализ данных по продуктивности и качеству молока показывает, что эти параметры существенно варьируются между породами коров. Эта вариабельность является существенным аспектом для оптимизации процессов переработки молока и улучшения его потребительских свойств.

Продуктивность животного наиболее полно оценивается по количеству произведенного молочного жира и белка. Эти показатели демонстрировали значительные различия между породами: от 398,0 кг жира и 347,0 кг белка до 240,0 кг жира и 147,0 кг белка. Наибольший выход молочного жира и белка был зафиксирован у представителей голштинской породы, демонстрирующих также наивысший уровень молочной продуктивности.

Результаты по выходу сухих веществ оказались схожими: голштинские и черно-пестрые коровы имели наилучшие показатели. Наиболее низкое значение имели коровы красно-пестрой породы, у которых установлен и минимальный удой за 305 дней лактационного периода (рисунок 3).

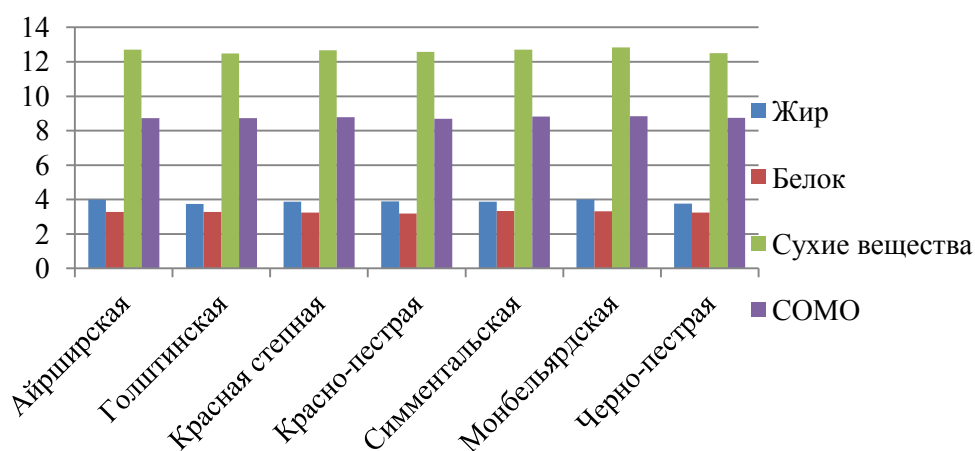


Рисунок 3 – Количество полученного жира, белка, СОМО и сухих веществ, кг
Figure 3 – Amount of fat, protein, LPC, and dry matter obtained, kg

При оценке показателя живой массы животных, влияющей на продуктивность и качество молока, установлено, что максимальное значение, составляющее 676 кг, имели коровы монбельярдской породы, далее в порядке убывания: голштинская – 586 кг; черно-пестрая – 568 кг; красно-пестрая – 562 кг; симментальская – 554 кг; красная степная – 548 кг; айрширская – 524 кг. Полученные данные не выявили прямой зависимости между живой массой животных и качественными показателями молока.

По коэффициенту молочности животные ранжированы следующим образом: черно-пестрая – 1789 кг; голштинская – 1810 кг; айрширская – 1354 кг; симментальская – 1262 кг; красная степная – 1182 кг; монбельярдская и красно-пестрая – 1096 кг. Наиболее высокий коэффициент молочности свидетельствует об эффективности использования питательных веществ корма животными и активном синтезе молока (рисунок 4).

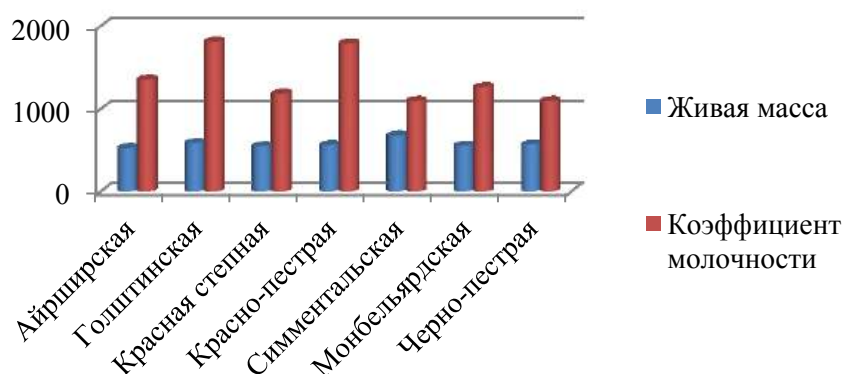


Рисунок 4 – Живая масса и коэффициент молочности, кг
Figure 4 – Live weight and milk yield coefficient, kg

Полученные данные являются средними значениями по ЮФО. Однако анализ результатов в разрезе показателей продуктивности и качества молока по отдельным субъектам, имеет научную и практическую ценность для широкого круга специалистов.

Оценивая породную принадлежность животных, следует констатировать, что наиболее распространенной, присутствующей практически во всех регионах, является голштинская и красная степная породы коров. Что касается монбельярдской породы, обладающей высокой адаптационной приспособленностью и характеризующейся высокими показателями содержания белка в молоке, пригодном для производства сыров, то ее территориальное распространение отмечено только в одном регионе ЮФО – Краснодарском крае. Такие породы, как симментальская и черно-пестрая распространены всего в двух регионах: симментальская – в Волгоградской и Ростовской области и черно-пестрая – в Краснодарском крае и Волгоградской области. Наиболее широким породным набором коров отличается Волгоградская область, в которой распространены шесть пород животных.

Породные различия показателей продуктивности и качественных характеристик молока в пределах одного региона изменяются в достаточно широких пределах. Так в Краснодарском крае по качественным показателям молока, айрширская порода лидирует по содержанию жира, а монбельярдская – по содержанию белка. В Волгоградской области эти показатели соответственно демонстрируют айрширская и симментальская породы. В Ростовской области первенство по жиру принадлежит симментальской породе, а по белку – голландской. В Республике Крым красная степная порода выделяется высоким содержанием жира, а голштинская – белка.

По показателям продуктивности во всех субъектах (из числа имеющихся пород) лидирует голштинская порода. Однако внутри каждого субъекта различия в данном показателе достаточно велики и составляют 3543 кг (49,4 %) – в Краснодарском крае; 4998 кг (в 2,2 раза) – в Волгоградской области; 4924 кг (88,1 %) – в Ростовской области; 4841 кг (75,6 %) – в Республике Крым.

Оценивая показатели продуктивности и качества молока разных пород коров по субъектам ЮФО, следует отметить, что наиболее высокие показатели установлены у коров голштинской породы в Республике Крым (11248 кг), Краснодарском крае (10712 кг) и Ростовской области (10512 кг). Среди других пород, лидерство красной степной (7480 кг)

установлено в Краснодарском крае; красно-пестрой (6471 кг) – в Волгоградской области; симментальской (7811 кг) – в Ростовской области; черно-пестрой (10611 кг) – в Краснодарском крае; айрширской (8839 кг) – в Волгоградской области. Различия между субъектами по айрширской породе составляют: 38,2 %; голштинской – 25,2 %; красной степной – 87,5 %; красно-пестрой – 15,8 %; симментальской – 50,5 %; черно-пестрой – 54,2 %.

Сравнивая показатели молока айрширской породы коров по регионам, установлено, что самое высокое содержание жира (4,12 %) зафиксировано в Волгоградской области; белка (3,33 %) – в Краснодарском Крае. В молоке голштинской породы наивысший показатель жира (3,94 %) отмечен в Волгоградской области; белка (3,31 %) – в Волгоградской и Ростовской области. Красная степная порода по содержанию жира (4,04 %) имеет преимущество в Республике Крым; по содержанию белка (3,25 %) – в Краснодарском крае. Показатели жира и белка в молоке красно-пестрой породы наиболее высокими оказались в Республике Крым. Качественные показатели молока симментальской и черно-пестрой породы имеют преимущества в Волгоградской области.

Пищевая и биологическая ценность молока определяется не отдельными компонентами, входящими в его состав, а их совокупностью. В молочном скотоводстве приняты различные коэффициенты, характеризующие использование животного по показателям биологической эффективности и биологической полноценности производимого молока, представляющие взаимосвязь величины удоя, содержания сухих веществ и живой массы (рисунок 5).

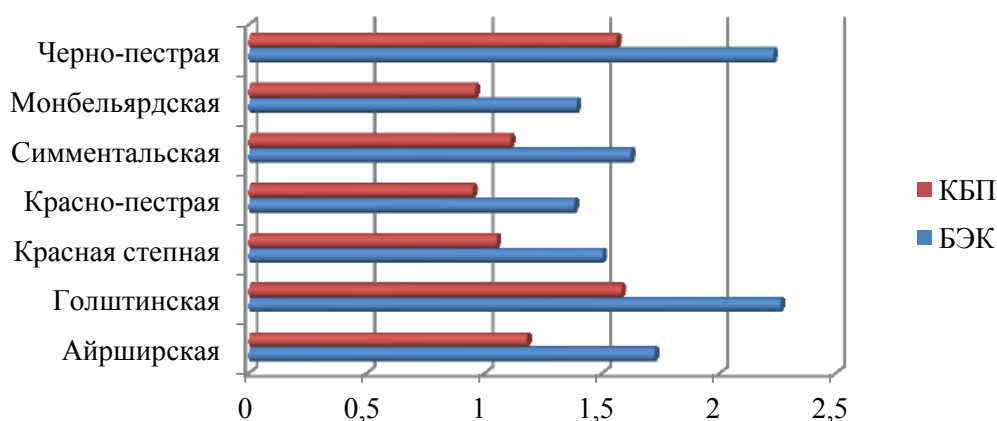


Рисунок 5 – Биологическая ценность коров разных пород
Figure 5 – Biological value of cows of different breeds

Биологическая эффективность (БЭК) коров голштинской породы составила 2,26 и была выше, чем у животных айрширской породы на 31,4 %; красной степной – 51,0 %; красно-пестрой – на 63,7 %; симментальской – на 39,5 %; монбельярдской – на 62,6 %; черно-пестрой – на 1,3 %. По показателю биологической полноценности (КБП) лидировали также коровы голштинской породы.

Согласно полученным результатам, лучшую эффективность производства молока на 1 кг живой массы показывают животные голштинской и черно-пестрой породы, у которых коэффициенты имеют высокие и достаточно близкие значения.

Закключение. Анализ данных по ЮФО свидетельствует о значительных возможностях для развития молочного животноводства как в целом по региону, так и по субъектам. Породное разнообразие животных, высокие показатели продуктивности, способствуют развитию сырьевой базы получаемого сырья и увеличению производимой продукции. Качественные показатели производимого животными молока определяют ассортимент выпускаемой продукции и направления в его совершенствовании.

Conclusion. The analysis of data on the Southern Federal District indicates significant opportunities for the development of dairy farming both in the region as a whole and by subjects. The breed diversity of animals, high productivity rates, contribute to the development of the raw material base of the obtained raw materials and an increase in production. The quality indicators of milk produced by animals determine the range of products and directions in its improvement.

Библиографический список

1. Гукежев В. М., Габаев М. С., Губжиков М. А. Красная степная порода – перспектива для юга России. Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2019. № 2 (88). С. 89-95.
2. Исламова Г. И. Продуктивность и качество молока у коров разных пород. Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Баумана. 2024. Т. 260. № 4. С. 110-114.
3. Чернявская С. А., Карапетов А. С., Егоров М. С. Анализ динамики развития отрасли животноводства в отдельных регионах юга России. Прикладные экономические исследования. 2025. № 2. С. 98-105.
4. Артеменко Д. Д., Бувевич А. П. Актуальные вызовы и перспективы развития животноводства в России. Продовольственная политика и безопасность. 2025. Т. 12. № 2. С. 495-510.
5. Шевелева О. М., Свяженина М. А., Часовщикова М. А. Селекционно-генетические параметры отбора коров по молочной продуктивности при совершенствовании стада крупного рогатого скота. Вестник Курганской ГСХА. 2023. № 1 (45). С. 60-68.
6. Абрамова Н. И., Иванова Д. А. Влияние породной принадлежности коров на качественные показатели молока. Молочнохозяйственный вестник. 2020. № 3 (39). С. 12-21.
7. Кундиус В. А., Новиков И. Ю. Инвестиции в экономику агропромышленного комплекса: тенденции и перспективы. Grand Altai Research & Education. 2024. № 1 (21). С. 3-17.
8. Воскресенский С. Б., Луконина О. Н., Сафина Г. Ф. Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации за 2024 год. Издательство ФГБНУ ВНИИплем. 2025. С. 274.
9. Родина Н. Д., Симоненкова А. П., Демина Е. Н., Сергеева Е. Ю. Взаимосвязь между технологическими характеристиками различных пород коров и качеством молока-сырья. Ползуновский вестник. 2022. № 1. С. 47-54.
10. Горелик О. В., Федосеева Н. А., Горелик А. С., Кокшаров Е. В. Изменение показателей продуктивности голштинизированных черно-пестрых пород по лактациям. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2021. № 2 (65). С. 82-86.
11. Исламова Г. И. Продуктивность и качество молока у коров разных пород. Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины имени Н. Э. Баумана. 2024. № 260. Т. 4. С. 110-114.
12. Химичева С. Н., Мошкина С. В. Изменение качественных показателей молока коров в зависимости от генотипических факторов. Вестник Аграрной науки. 2025. № 1 (112). С. 40-46.
13. Дешко И. А., Коробко А. В., Карпеня С. Л., Яцына О. А., Соголаева Е. Е., Песоцкий Н. И. Анализ молочной продуктивности коров различных линий. Сборник научных трудов «Сельское хозяйство – проблемы и перспективы». 2022. С. 39-47.

References

1. Gukezhov V. M., Gabaev M. S., Gubzhikov M. A. The red steppe breed – a perspective for the south of Russia. Proceedings of the Kabardino-Balkaria Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2019. No 2 (88). Pp. 89-95.
2. Islamova G. I. Productivity and quality of milk in cows of different breeds. Scientific notes of the Kazan Academy of Veterinary Medicine named after Bauman. 2024. Vol. 260. No. 4. Pp. 110-114.
3. Chernyavskaya S. A., Karapetov A. S., Egorov M. S. Analysis of the dynamics of the livestock industry in certain regions of southern Russia. Applied economic research. 2025. No. 2. Pp. 98-105.
4. Artemenko D. D., Buevich A. P. Current challenges and prospects for the development of animal husbandry in Russia. Food policy and security. 2025. Vol. 12. No. 2. Pp. 495-510.
5. Sheveleva O. M., Karenina M. A., Chasovshchikova M. A. Breeding and genetic parameters of cow selection for dairy productivity in improving cattle herds. Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy. 2023. No 1 (45). Pp. 60-68.
6. Abramova N. I., Ivanova D. A. The influence of the breed of cows on the quality of milk. Dairy farming bulletin. 2020. No 3 (39). Pp. 12-21.
7. Kundius V. A., Novikov I. Yu. Investments in the economy of the agro-industrial complex: trends and prospects. Grand Altai Research & Education. 2024. No 1 (21). Pp. 3-17.
8. Voskresenskiy S. B., Lukonina O. N., Safina G. F. Yearbook on breeding work in dairy cattle breeding in farms of the Russian Federation for 2024. Publishing house of VNIIPlem. 2025. P. 274.
9. Rodina N. D., Simonenkova A. P., Demina E. N., Sergeeva E. Y. The relationship between the technological characteristics of various breeds of cows and the quality of raw milk. Polzunovsky bulletin. 2022. No 1. Pp. 47-54.
10. Gorelik O. V., Fedoseeva N. A., Gorelik A. S., Koksharov E. V. Changes in productivity indicators of Holstein black-and-white breeds by lactation. Bulletin of Michurinsk State Agrarian University. 2021. No 2 (65). Pp. 82-86.
11. Islamova G. I. Milk productivity and quality in cows of different breeds. Scientific notes of the Kazan Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman. 2024. No 260. V. 4. Pp. 110-114.
12. Khimicheva S. N., Moshkina S. V. Changes in the quality of cows' milk depending on genotypic factors. Bulletin of Agrarian Science. 2025. No 1 (112). Pp. 40-46.
13. Deshko I. A., Korobko A. V., Karpenya S. L., Yatsyna O. A., Sogaeva E. E., Pesotsky N. I. Analysis of dairy productivity of cows of various lines. Collection of scientific papers "Agriculture – problems and prospects". 2022. Pp. 39-47.

Информация об авторах

Горлов Иван Федорович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, Волгоград, ул. Рокоссовского, 6); заведующий кафедрой, Волгоградский государственный технический университет (Российская Федерация, 400005, Волгоград, пр-т им. Ленина, 28); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8683-8159>; e-mail: niimmp@mail.ru

Сложенкина Марина Ивановна, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, Волгоград, ул. им. Рокоссовского, 6); профессор кафедры, Волгоградский государственный технический университет (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28); ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9542-5893>; e-mail: niimmp@mail.ru

Антипова Татьяна Алексеевна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции; (Российская Федерация, 400066, Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8683-8159>, e-mail: niimmp@mail.ru

Мосолов Александр Анатольевич, доктор биологических наук, главный научный сотрудник комплексной аналитической лаборатории, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции; (Российская Федерация, 400066, Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0730-853X>, e-mail: niimmp@mail.ru

Кудряшова Ольга Владимировна, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. им. М. Рокоссовского, 6), ORCID: 0000-0002-6634-3685, e-mail: niimmp@mail.ru

Воронцова Елена Сергеевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID 0000-0002-0730-853X, e-mail: esvoronts@mail.ru

Мосолова Елизавета Александровна, лаборант-исследователь, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID 0009-0003-3898-4439, e-mail: elizavetamosolova37@gmail.com

Authors' Information

Gorlov Ivan Fedorovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Sciences Supervisor, Volga Region Research Institute for Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovskogo str., 6); Head of the Department, Volgograd State Technical University; (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8683-8159>, e-mail: niimmp@mail.ru

Slozhenkina Marina Ivanovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director, Volga Region Research Institute for Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovskogo str., 6); Professor, Volgograd State Technical University; (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9542-5893>, e-mail: niimmp@mail.ru

Antipova Tatyana Alekseevna, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Volga Region Research Institute for Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovskogo str., 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8683-8159>, e-mail: niimmp@mail.ru

Mosolov Aleksandr Anatolyevich, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Volga Region Research Institute for Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovskogo str., 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0730-853X>, e-mail: niimmp@mail.ru

Kudryashova Olga Vladimirovna, Candidate of Biological Sciences, Junior Researcher, Volga Region Research Institute for Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovskogo str., 6), ORCID: 0000-0002-6634-3685, e-mail: niimmp@mail.ru

Vorontsova Elena Sergeevna, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Volga Region Research Institute for Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovskogo str., 6), ORCID 0000-0002-0730-853X, e-mail: esvoronts@mail.ru

Mosolova Elizaveta Aleksandrovna, laboratory assistant-researcher, Volga Region Research Institute for Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovskogo str., 6), ORCID 0009-0003-3898-4439, e-mail: elizavetamosolova37@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-29

THE EVALUATION OF THE SYNERGISTIC EFFECT OF SYMBIOTIC SUPPLEMENT COMPONENTS FOR THE JUVENILE STURGEON FISH

Koshchaev A. G., Kozubov A. S., Umansky M. I.

*Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin
Krasnodar, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: ackozubov@gmail.com

Received 01.12.2025

Submitted 19.12.2025

Summary

This article presents the results of an evaluation of the synergistic effect of the components of a symbiotic supplement for juvenile fish. The addition of inulin and a prebiotic complex (inulin + lactulose) increased the growth rate of *B. subtilis* 945 (B-5225).

Abstract

Introduction. In conditions of intensive aquaculture, traditional feeds are often unable to ensure optimal growth and stable resistance to stress. In this regard, feed actively includes various feed additives, including immunomodulatory ones such as probiotics, prebiotics and their complex – synbiotics, which demonstrate the potential to improve digestion, immunity and survival. When creating and using such drugs, an important criterion is awareness of the synergistic interactions of the components, which is insufficiently studied and limits their development. The study of the synergy of used probiotics with available prebiotics will make it possible to create scientifically sound compositions that optimize the biological parameters of fish and reduce the cost of aquaculture products. **An object.** The object of research is the probiotic bacteria *Bacillus subtilis* B-945 isolated from the probiotic drug Monosporin sukhoi (Biotechagro LLC). **Materials and methods.** The research was conducted in 2024 on the basis of the Department of Biotechnology, Biochemistry and Biophysics of the Kuban State Agrarian University using current microbiological methods. **Results and conclusions.** Adding inulin to the nutrient medium significantly stimulated the growth of *Bacillus subtilis*, increasing optical density by 17,8 % after 24 hours. Lactulose exhibited an inhibitory effect

(-2,6 %), but when combined with inulin, synergism was observed: their combined use resulted in maximum biomass growth (+13,0 % after 48 hours), exceeding the result of inulin alone by 1,26 %. These data support the potential of using a combination of inulin and lactulose in synbiotic supplements for sturgeon.

Keywords: probiotics, *Bacillus subtilis*, prebiotics, inulin, lactulose, synergy, sturgeon fish, feeding of sturgeon fish, juvenile sturgeon fish.

Citation. Koshchaev A. G., Kozubov A. S., Umansky M. I. The evaluation of the synergistic effect of synbiotic supplement components for the juvenile sturgeon fish. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 287-294 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-29.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 579.64+639.3.043.2

ОЦЕНКА СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА КОМПОНЕНТОВ СИНБИОТИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ ДЛЯ МОЛОДИ ОСЕТРОВЫХ РЫБ

Кощаев А. Г., доктор биологических наук, профессор, академик РАН

Козубов А. С., аспирант

Уманский М. И., магистрант

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»
г. Краснодар, Российская Федерация

Актуальность. В условиях ведения интенсивной аквакультуры, традиционные корма часто не способны обеспечить оптимальный рост и устойчивую резистентность к стрессам. В связи с этим, в комбикорма активно включают различные кормовые добавки, в том числе иммуномодулирующие, такие как пробиотики, пребиотики и их комплекс – синбиотики, которые демонстрируют потенциал в улучшении пищеварения, иммунитета и выживаемости. При создании и применении таких препаратов важным критерием является осведомленность о синергетических взаимодействиях компонентов, что является недостаточно изученным и ограничивает их разработку. Исследование синергии применяемых пробиотиков с доступными пребиотиками позволит создать научно обоснованные композиции, оптимизирующие биологические показатели рыб и снижающие себестоимость продукции аквакультуры. **Объект.** Объектом исследований являются пробиотические бактерии *Bacillus subtilis* В-945, выделенные из пробиотического препарата «Моноспорин сухой» (ООО «Биотехагро»). **Материалы и методы.** Исследования проводились в 2024 г. на базе кафедры биотехнологии, биохимии и биофизики ФГБОУ ВО Кубанского ГАУ с применением актуальных микробиологических методов. **Результаты и выводы.** Добавление инулина в питательную среду достоверно стимулировало рост *Bacillus subtilis*, увеличив оптическую плотность на 17,8 % через 24 часа. Лактулоза проявляла ингибирующий эффект (-2,6 %), однако в комплексе с инулином наблюдался синергизм: их совместное применение обеспечило максимальный прирост биомассы (+13,0 % через 48 часов), превзойдя результат только инулина на 1,26 %. Полученные данные обосновывают перспективность использования комбинации инулина и лактулозы в синбиотических добавках для осетровых.

Ключевые слова: пробиотики, *Bacillus subtilis*, пребиотики, инулин, лактулоза, синергия, осетровые рыбы, кормление осетровых рыб, молодь осетровых рыб.

Цитирование. Кощаев А. Г., Козубов А. С., Уманский М. И. Оценка синергетического эффекта компонентов синбиотической добавки для молоди осетровых рыб. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 287-294. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-29.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Развитие индустриального осетроводства ставит перед рыбаками ряд проблем, одной из которых является высокая смертность молоди, что вызвано такими факторами, как чувствительность к стрессовым факторам и бактериальным инфекциям, что приводит к значительным экономическим потерям. В связи с этим, поиск эффективных и экологически безопасных методов повышения жизнестойкости и улучшения производственных показателей молоди является приоритетной задачей современной аквакультуры [1,11].

Одним из наиболее перспективных направлений исследований, позволяющих решить данную проблему является модуляция кишечной микробиоты рыб с помощью функциональных кормовых добавок. Установлено, что сбалансированный состав микробиома кишечника играет ключевую роль в процессах пищеварения, усвоения питательных ве-

ществ, развитии иммунной системы и защите от патогенов. Нарушение этого баланса (дисбиоз) может приводить к снижению темпов роста и вспышкам заболеваний. С целью модуляции кишечной микробиоты можно использовать про-, пре- и синбиотические добавки, которые при введении в адекватных количествах приносят пользу организму хозяина зарекомендовав себя как эффективный инструмент для улучшения здоровья рыб. В качестве пробиотических бактерий особый интерес вызывают представители рода *Bacillus*, в частности *Bacillus subtilis*, благодаря их способности образовывать споры, что обеспечивает их выживаемость в процессе производства кормов и прохождения через агрессивную среду желудка. Кроме того, они способны продуцировать широкий спектр пищеварительных ферментов (протеаз, амилаз), улучшая переваримость корма, а также синтезировать антимикробные соединения, подавляющие рост патогенных бактерий (например, родов *Aeromonas* и *Vibrio*), которые являются частой причиной заболеваний и отхода молоди. В настоящее время на рынке представлено множество пробиотических препаратов, содержащих *Bacillus subtilis* как монокультуру («Моноспорин», «СУБ-ПРО» и др.) и составляющую поликультуры («Бонака АПК», «Бацелл-МТ» и др.) [1, 2, 3, 4, 9].

Для увеличения положительного эффекта пробиотиков рекомендуется совместно включать в рацион пребиотики, представляющие собой неперевариваемые компоненты пищи, которые избирательно стимулируют рост и активность полезных бактерий в кишечнике [8,10]. К наиболее изученным пребиотикам в аквакультуре относятся фруктоолигосахариды (ФОС) и маннанолигосахариды (МОС) [7]. ФОС служат питательным субстратом для полезных бактерий, таких как *Lactobacteria* и *Bifidobacteria*, в то время как МОС способны связывать патогены, предотвращая их адгезию к стенке кишечника, и оказывать иммуномодулирующее действие. Хорошо известными, однако мало изученными в рамках аквакультуры, пребиотиками являются инулин и лактулоза [12]. Первый представляет собой полисахарид растительного происхождения (фруктан), который не расщепляется пищеварительными ферментами рыб, достигая в неизменном виде задних отделов кишечника. Там он служит селективным субстратом для роста и метаболической активности бактерий. Второй является синтетическим дисахаридом, состоящим из остатков галактозы и фруктозы, который также не гидролизует собственными ферментами рыбы и обладает выраженным бифидогенным эффектом. Благодаря своей более простой структуре по сравнению с инулином, лактулоза может ферментироваться быстрее в верхних отделах кишечника.

Комбинированное применение пробиотиков и пребиотиков в виде единого препарата (синбиотика) позволяет добиться синергетического эффекта, что также используется в рыбоводстве [5]. Пребиотик целенаправленно поддерживает рост и колонизацию интродуцированного пробиотического штамма, повышая его эффективность и выживаемость в конкурентной среде кишечника. Исследования на различных видах рыб показали, что синбиотики способны более эффективно улучшать рост, иммунный ответ и устойчивость к болезням по сравнению с отдельным применением их компонентов.

Важным критерием в выборе пробиотических штаммов для синбиотических препаратов является технологическая стабильность, а именно устойчивость спор пробиотика к процессам производства комбикормов (грануляции, экструзии) и воздействию других компонентов корма. Доказано, что применение комбинированных препаратов, включающих как пробиотический штамм, так и пребиотический комплекс (синбиотиков), является наиболее эффективным методом. В настоящее время при испытании синбиотика актуальной является оценка его способности формировать так называемую «супрессивную среду» в кишечнике [1, 6, 11]. Супрессивная кишечная среда представляет собой микробиоценоз, в котором доминируют полезные микроорганизмы, способные обеспечить эффективную защиту рыбы от различных заболеваний путем конкурентного вытеснения патогенов.

Производство и использование подобных синбиотических препаратов на биологической основе является ведущим направлением в мировой аквакультуре, нацеленным на снижение применения антибиотиков и повышение экологической устойчивости производства. В связи с этим, отбор высокоактивных пробиотических штаммов и изучение их работы в комбинации с различными функциональными пребиотиками является актуальным научным направлением.

Целью нашего исследования являлась оценка пребиотического действия инулина и лактулозы вместе и отдельно на скорость роста бактерий *Bacillus subtilis* 945 (B-5225), выделенных из отечественного пробиотического препарата «Моноспорин сухой».

Материалы и методы. Лабораторные исследования выполнены в 2024 г. на кафедре биотехнологии, биохимии и биофизики института ветеринарной медицины, зоотехнии и биотехнологии ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ.

Для оценки активности роста пробиотического штамма *Bacillus subtilis*, содержащегося в препарате «Моноспорин сухой», отдельно и совместно с выбранными монопребиотиками и их комплексом вносили инулин и лактулозу в жидкую питательную среду LB на этапе ее приготовления, перед автоклавированием. Состав опытных питательных сред представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав питательных сред
Table 1 – Composition of nutrient media

Компонент питательной среды / A component of the nutrient medium	Контроль / Control	Опыт 1 (LB+лактоза) / Experiment 1 (LB+lactulose)	Опыт 2 (LB+инулин) / Experiment 2 (LB+inulin)	Опыт 3 (LB+пребиотический комплекс) / Experiment 3 (LB+prebiotic complex)
Пептон, г/л / Peptone, g/l	10	10	10	10
Экстракт дрожжей, г/л / Yeast extract, g/l	5	5	5	5
Натрий хлор, г/л / Sodium chloride, g/l	10	10	10	10
Инулин, г/л / Inulin, g/l	–	–	5	5
Лактулоза, г/л / Lactulose, g/l	–	5	–	5

После автоклавирования вносили в колбы с опытными питательными средами по 2 мл суспензии пробиотического препарата «Моноспорин сухой» и проводили культивирование в лабораторном шейкере-инкубаторе модели Orbital Shaker – Incubator ES 20/60 в течение 48 ч. при 28°C и 140 об/мин (рисунок 1).



Рисунок 1 – Инкубация культур *B. subtilis* на опытных средах
Figure 1 – Incubation of *B. subtilis* cultures on experimental media

Оценку интенсивности роста проводили путем измерения оптической плотности культур на опытных питательных средах через 24 ч. с начала инкубации (рисунок 2) на спектрофотометре Thermoscientific Genesys 40, используя кюветы 4 мл, толщиной 1 см. Оптическую плотность определяли при длине волны 600 нм.



Рисунок 2 – Культуры *B. subtilis* на опытных средах после 24 ч. инкубации
Figure 2 – *B. subtilis* cultures on experimental media after 24 hours of incubation

Результаты и обсуждение. Для определения динамики роста бактерий, оптическую плотность суспензий определяли после 24 и 48 ч культивирования. Результаты измерений представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Результаты измерения оптической плотности суспензий спустя 24 ч.
Table 2 – Results of measuring the optical density of suspensions after 24 hours

Оптическая плотность / Optical density				
№ измерения / Measurement number	контроль (1) / control (1)	(ину+лакт) 2 / (inu+lact) 2	(инулин) 3 / (inulin) 3	(лактолоза) 4 / (lactulose) 4
1 повторность / repetition 1	1,249	1,477	1,474	1,214
2 повторность / repetition 2	1,249	1,47	1,47	1,216
3 повторность / repetition 3	1,248	1,468	1,469	1,219
Ср. значение / Average value	1,249	1,472	1,471	1,216
% от контроля / % of the control	0,0	17,86	17,81	-2,59

Исходя из данных в таблице 2, оптическая плотность суспензий с добавлением комплекса пребиотиков и инулина практически не различались, имея разницу в 0,05 % относительно контроля, в пользу комплекса. При добавлении в питательную среду LB только лактулозы наблюдали сниженные показатели оптической плотности относительно контрольной группы (-2,59 %), что указывает на низкую эффективность использования этого компонента в качестве субстрата для *B. subtilis* 945 (B-5225), а также свидетельствует о высокой эффективности инулина, как специфического пребиотика для данного штамма бактерий, что отражается на значительно более высокой интенсивности их роста на питательных средах с его добавлением.

Таблица 3 – Результаты измерения оптической плотности суспензий спустя 48 ч.
Table 3 – Results of measuring the optical density of suspensions after 48 hours.

Оптическая плотность / Optical density				
	контроль (1) / control (1)	(ину+лакт) 2 / (inu+lact) 2	(инулин) 3 / (inulin) 3	(лактолоза) 4 / (lactulose) 4
1 повторность / repetition 1	1,952	2,210	2,185	1,929
2 повторность / repetition 2	1,956	2,211	2,186	1,931
3 повторность / repetition 3	1,961	2,211	2,187	1,932
Ср. значение / Average value	1,956	2,211	2,186	1,931
% от контроля / % of the control	0	13,00	11,74	-1,31

Спустя 48 ч., согласно данным в таблице 3, разница оптической плотности суспензий с пребиотиками и без стала менее существенной, однако при сравнении с контролем стало более явным положительное действие комплекса инулина и лактулозы, что дало разницу в сравнении с использованием только инулина. Это свидетельствует о том, что на питательной среде с двумя пребиотиками продолжилось накопление биомассы после того как на среде с одним замедлилось. Изменение в значении разницы между показателями данных проб с 0,05 % на 1,26 % может объясняться явлением диауксии. Оптическая плотность суспензии с лактулозой сократила своё отставание по интенсивности роста от контроля на 1,28 %, с -2,59 до -1,31, изменение значения показателя составило 49,4 %, это может быть связано с ускоренным переходом культур, выращенных с добавлением пребиотика, в стационарную фазу роста. Таким образом создается ситуация, когда одновременно стартовавшие культуры по-разному переходят между фазами роста и наблюдается отставание показателей при использовании менее "удачных" вариантов сред. Полученные данные позволяют сделать заключение о положительном синергетическом эффекте инулина и лактулозы на рост *B. subtilis* 945 (B-5225).

Заключение. Проведенное исследование демонстрирует перспективность использования комбинации инулина и лактулозы в составе синбиотических кормовых добавок для осетровых рыб. Установленный синергетический эффект в отношении штамма *Bacillus subtilis* 945 позволяет предположить, что в кишечнике рыб инулин будет целенаправленно стимулировать рост и метаболическую активность введенного пробиотика, в то время как лактулоза, обладающая доказанным бифидогенным действием, будет селективно поддерживать рост аутохтонной полезной микрофлоры (лактобактерий и бифидобактерий).

Предложенная синбиотическая композиция способна обеспечить комплексный положительный эффект за счет одновременной модуляции как вводимой, так и аутохтонной микрофлоры кишечника. Это может привести к улучшению переваримости корма, усилению иммунного статуса и повышению общей резистентности молоди осетровых к стрессам и заболеваниям, что является ключевым фактором в индустриальной аквакультуре. Для подтверждения полученных данных *in vitro* и оценки эффективности добавки в производственных условиях будут проведены дальнейшие эксперименты на молоди осетровых рыб.

Conclusions. The study demonstrates the potential of using a combination of inulin and lactulose in synbiotic feed additives for sturgeon. The observed synergistic effect against the *Bacillus subtilis* 945 strain suggests that inulin will specifically stimulate the growth and metabolic activity of the introduced probiotic in the fish intestine, while lactulose, with its proven bifidogenic effect, will selectively support the growth of the beneficial autochthonous microflora (lactobacilli and bifidobacteria).

The proposed synbiotic composition is capable of providing a comprehensive positive effect by simultaneously modulating both the introduced and autochthonous intestinal microflora. This may lead to improved feed digestibility, enhanced immune status, and increased overall resistance of juvenile sturgeon to stress and disease, which is a key factor in industrial aquaculture. To confirm the obtained *in vitro* data and evaluate the effectiveness of the supplement under production conditions, further experiments will be conducted on juvenile sturgeon.

Библиографический список

1. Зуева М. С. Современный опыт включения биологически активных кормовых добавок в рацион рыб. Животноводство и кормопроизводство. 2022. № 4. С. 146-164.

2. Конькова А. В. и др. Влияние кормовой пробиотической добавки "Ветоспорин-ж" (*Bacillus subtilis*) и минеральной добавки "цеолит" (опока) на проявление генотоксических эффектов в клетках крови молоди стерляди (*Acipenser ruthenus*) в условиях аквакультуры. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2024. № 2. С. 90-100.
3. Руденко Р. А., Каратунов В. А. Физиологическая характеристика прудового карпа при введении в рацион кормового пробиотика "Субтилис". Инновации и инвестиции. 2020. № 1. С. 213-216.
4. Текебаева Ж. Б. и др. Изучение роли пробиотиков в отношении патогенных бактерий рода *Aeromonas* и *Pseudomonas* в аквакультуре карпа *in vitro*. Проблемы региональной экологии. 2022. № 1. С. 16-23.
5. Ткачева И. В. и др. Новая углеводно-минеральная добавка для садкового выращивания осетровых видов рыб. Известия НВ АУК. 2024. № 5 (77). С. 201-209.
6. Шленкина Т. М. и др. Влияние компонентов биологически активной добавки для функциональных комплексов кормления на показатели крови рыб. Вестник Ульяновской ГСХА. 2021. № 4 (56). С. 124-129.
7. Abate T., Getahun A., Feyyisa A. G., Solomon D., Walker J., Ambaw G. Effects of Inulin and Mannan-oligosaccharide on growth, feed utilization, fatty acid profiles, and intestinal morphology of Chamo strain Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry reared under suboptimal temperature. SINET: Ethiopian Journal of Science. 2024. V. 47. № 1. Pp. 1-18.
8. Agustina A., Susanto A. Inulin supplementation in feed as a prebiotic for red tilapia *Oreochromis* sp. Jurnal Akuakultur Indonesia. 2024. V. 23. № 1. Pp. 45-56.
9. Forough D., Mehdi S., Abdolhay H. A., Mehdi. S. M. Improvement of growth performance, digestive enzymes and body composition of Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) following feeding on probiotics: *Bacillus licheniformis*, *Bacillus subtilis* and *Saccharomyces cerevisiae*. Aquaculture Research. 2019. No 51 (2). Pp. 1-8.
10. Pradhan P., Mohanty N., Nayak H., Kumar P., Gopal W. S., Rout R. K. Incorporation of inulin in the diets of Amur common carp (*Cyprinus carpio haematopterus*) feed to enhance growth, haematological parameters and immunological parameters. International Journal of Advanced Biochemistry Research. 2025. V. 9. № 1. Pp. 112-120.
11. Srirengaraj V., Razafindralambo H., Rabetafika H., Nguyen H. Yun-Zhang S. Synbiotic agents and their active components for sustainable aquaculture: concepts, action mechanisms, and applications. Biology. 2023. No 12. 1498.
12. Wang S., Xu G., Zou J. Soluble non-starch polysaccharides in fish feed: implications for fish metabolism. Fish Physiology and Biochemistry. 2022. V. 50. Pp. 1-22.

References

1. Zueva M. S. Modern experience of including biologically active feed additives in the fish diet. Animal husbandry and forage production. 2022. No. 4. Pp. 146-164.
2. Konkova A. V. et al. Effect of the probiotic feed additive "Vetospirin-zh" (*Bacillus subtilis*) and the mineral additive "zeolite" (flake) on the manifestation of genotoxic effects in the blood cells of juvenile sterlet (*Acipenser ruthenus*) under aquaculture conditions. Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries. 2024. No. 2. Pp. 90-100.
3. Rudenko R. A., Karatunov V. A. Physiological characteristics of pond carp when introducing the feed probiotic "Subtilis" into the diet. Innovations and Investments. 2020. No. 1. Pp. 213-216.
4. Tekebaeva Zh. B. et al. Study of the role of probiotics against pathogenic bacteria of the genus *Aeromonas* and *Pseudomonas* in carp aquaculture *in vitro*. Problems of Regional Ecology. 2022. No. 1. Pp. 16-23.
5. Tkacheva I. V. et al. New carbohydrate-mineral supplement for cage farming of sturgeon fish species. Proceedings of the LV AUC. 2024. No. 5 (77). Pp. 201-209.
6. Shlenkina T. M. et al. Effect of components of a biologically active additive for functional feeding complexes on fish blood parameters. Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2021. No 4 (56). Pp. 124-129.
7. Abate T., Getahun A., Feyyisa A. G., Solomon D., Walker J., Ambaw G. Effects of Inulin and Mannan-oligosaccharide on growth, feed utilization, fatty acid profiles, and intestinal morphology of Chamo strain Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry reared under suboptimal temperature. SINET: Ethiopian Journal of Science. 2024. V. 47. No 1. Pp. 1-18.
8. Agustina A., Susanto A. Inulin supplementation in feed as a prebiotic for red tilapia *Oreochromis* sp. Jurnal Akuakultur Indonesia. 2024. V. 23. No 1. Pp. 45-56.
9. Forough D., Mehdi S., Abdolhay H. A., Mehdi. S. M. Improvement of growth performance, digestive enzymes and body composition of Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) following feeding on probiotics: *Bacillus licheniformis*, *Bacillus subtilis* and *Saccharomyces cerevisiae*. Aquaculture Research. 2019. No 51 (2). Pp. 1-8.
10. Pradhan P., Mohanty N., Nayak H., Kumar P., Gopal W. S., Rout R. K. Incorporation of inulin in the diets of Amur common carp (*Cyprinus carpio haematopterus*) feed to enhance growth, haematological parameters and immunological parameters. International Journal of Advanced Biochemistry Research. 2025. V. 9. No 1. Pp. 112-120.
11. Srirengaraj V., Razafindralambo H., Rabetafika H., Nguyen H. Yun-Zhang S. Synbiotic agents and their active components for sustainable aquaculture: concepts, action mechanisms, and applications. Biology. 2023. No 12. 1498.
12. Wang S., Xu G., Zou J. Soluble non-starch polysaccharides in fish feed: implications for fish metabolism. Fish Physiology and Biochemistry. 2022. V. 50. Pp. 1-22.

Информация об авторах

Кошаев Андрей Георгиевич, доктор биологических наук, академик РАН, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. им. Калинина, 13), e-mail: koshhaev.a@kubsau.ru

Козубов Алексей Сергеевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. им. Калинина, 13), e-mail: askozubov@gmail.com

Уманский Михаил Игоревич, магистрант, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. им. Калинина, 13), e-mail: ymanskiymihail@gmail.com

Authors' Information

Koshchaev Andrey Georgievich, Doctor of Biological Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, Kalinin Str., 13), e-mail: koshhaev.a@kubsau.ru

Kozubov Aleksey Sergeevich, postgraduate student, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, Kalinin Str., 13), e-mail: ackozubov@gmail.com

Umansky Mikhail Sergeevich, master's student, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, Kalinin Str., 13), e-mail: ymanskiymihail@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-30

THE EFFECTIVENESS OF USING A NEW FEED ADDITIVE IN THE PIG FARMING

Slozhenkina M. I., Gorlov I. F., Khoroshevskaya L. V., Mosolova N. I., Sova I. A., Shmalyuk A. P.

*Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author e-mail: niimmp@mail.ru

Received 20.10.2025

Submitted 08.12.2025

The work was carried out under the grant of the Russian Science Foundation № 25-16-00303.

Abstract

Introduction. In a market economy, reducing feed costs is a key objective for increasing the profitability of pig farming. Today, consumers are becoming increasingly demanding of meat quality, preferring products with high taste, juiciness, and nutritional properties. Therefore, pork producers are forced to implement new approaches to achieve high-quality products. The development of feed production technologies that optimize the consumption of key ingredients and increase animal feed efficiency is a priority area of research. The use of the innovative additive "Imolact" significantly increases the nutritional value of finished feed and reduces the cost of purchasing traditional high-protein products. **The object of the study.** The object of the study is the new feed additive "Imolact". **Materials and Methods.** The Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products designed and implemented a technology for introducing the additive "Imolact" into piglet feed. Based on the breeding farm named after Experiments were conducted on fattening pigs at the Lenin Research Center (Surovinsky District, Volgograd Region) using balanced pelleted feeds containing varying proportions of the test additive. Laboratory studies were conducted at the New Biotechnologies Research and Implementation Center, LLC. The quality of pig carcasses was determined according to GOST 1213-74 "Pigs for Slaughter" and GOST 7724-77 "Pigs in Carcasses and Half-Carcasses." Meat product quality was assessed in accordance with GOST 7269-79, which describes sampling methods and organoleptic assessment of freshness, and GOST 9959-91, which establishes general rules for tasting meat products. **Results and Conclusions.** A study of productivity indicators demonstrates that the inclusion of the feed additive in piglet diets resulted in an increase in average daily weight gain. In the first experimental group, the live weight gain was 4.32 %, and in the second experimental group – 6.85 % compared to the control group. In addition, an improvement in feed efficiency was noted: in the first experimental group, feed conversion decreased by 4.12 %, and in the second experimental group – by 7.75 %. Biochemical analysis of the blood of fattening pigs in the experimental groups revealed differences from the control. In particular, the concentration of erythrocytes in the blood of animals of the first experimental group was 4.82 % higher, and in the second experimental group – by 7.22 %. Control slaughter showed that the average carcass weight of pigs of the first experimental group after slaughter exceeded the control value by 5.12 %, and the carcass yield increased by 1.28 %. Even higher indicators were recorded for animals of the second experimental group: slaughter yield was higher by 9.23 %, and the carcass yield increased by 2.86 % compared to the control group. Thus, the results of our study demonstrate that introducing the feed additive "Imolact" into pig diets has a positive effect on their productivity, increases feed efficiency, improves feed quality, and increases meat yield. This confirms the feasibility of using this additive in pig farming to increase production profitability.

Keywords: pig farming, pig feeding, granular feed, new feed additives, profitability of pig farming.

Citation. Slozhenkina M. I., Gorlov I. F., Khoroshevskaya L. V., Mosolova N. I., Sova I. A., Shmalyuk A. P. The effectiveness of using a new feed additive in the pig farming. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 294-301 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-30.

Authors' contribution. All authors took part in the preparation and conduct of the study and analysis of its results. The presented version of the article was agreed with all authors.

Conflict of interest. All authors declared no conflicts of interest.

УДК 636.4.087.7

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВОЙ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ В СВИНОВОДСТВЕ**Сложенкина М. И.**, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН**Горлов И.Ф.**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН**Хорошевская Л. В.**, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник**Мосолова Н. И.**, доктор биологических наук, главный научный сотрудник**Сова И. А.**, лаборант-исследователь**Шмалюк А. П.**, лаборант-исследователь*ФГБНУ "Поволжский научно-исследовательский институт производства
и переработки мясомолочной продукции"
г. Волгоград, Российская Федерация***Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 25-16-00303.**

Актуальность. В условиях рыночной экономики снижение затрат на корма является важной задачей для повышения рентабельности свиноводства. Сегодня потребители становятся все более требовательными к качеству мяса, отдавая предпочтение продуктам высокого уровня вкусовых качеств, сочности и полезных свойств. Поэтому производители свинины вынуждены внедрять новые подходы, позволяющие добиться высоких показателей качественного продукта. Разработка технологий производства кормов, позволяющих оптимизировать расход основных ингредиентов и увеличить эффективность кормления животных, является одним из приоритетных направлений исследования. Использование инновационной добавки «Имолакт» позволяет существенно повысить питательность готового корма и уменьшить затраты на приобретение традиционных высокобелковых продуктов. **Объект исследования.** Объектом исследования является новая кормовая добавка «Имолакт». **Материалы и методы.** В Поволжском научно-исследовательском институте производства и переработки мясомолочной продукции спроектировали и внедрили технологию введения добавки «Имолакт» в комбикорм для поросят. На базе племенного хозяйства им. Ленина (Суворовский район Волгоградской области) были проведены опыты по откорму свиней с применением сбалансированных гранулированных кормов, содержащих различные пропорции испытуемой добавки. Лабораторные исследования проводились в лаборатории ООО «Научно-внедренческий центр "Новые биотехнологии"». Для определения качества свиных туш использовались нормативы ГОСТ 1213-74 «Свиньи для убоя» и ГОСТ 7724-77 «Свиньи в тушах и полутушах». Качество мясной продукции оценивалось в соответствии с ГОСТ 7269-79, описывающим методы отбора проб и органолептическую оценку свежести, а также ГОСТ 9959-91, устанавливающим общие правила дегустации мясных изделий. **Результаты и выводы.** Исследование показателей продуктивности демонстрирует, что включение кормовой добавки в питание поросят привело к увеличению среднесуточных привесов. В 1 опытной группе прирост живой массы составил 4,32 %, а во 2 опытной – 6,85 % относительно контрольной группы. Кроме того, отмечено улучшение эффективности использования корма: в 1 опытной группе конверсия корма снизилась на 4,12 %, а во 2 опытной – на 7,75 %. Биохимический анализ крови свиней на откорме в экспериментальных группах выявил отличия от контрольной. В частности, концентрация эритроцитов в крови животных 1 опытной группы была на 4,82 % выше, а во 2 опытной – на 7,22 %. Контрольный убой показал, что средний вес туши у свиней 1 опытной группы после убоя превысил контрольный показатель на 5,12 %, а выход туши увеличился на 1,28 %. У животных 2 опытной группы зарегистрированы еще более высокие показатели: убойный выход оказался выше на 9,23 %, а выход туши увеличился на 2,86 % в сравнении с контрольной группой. Таким образом, результаты нашего исследования показывают, что введение кормовой добавки «Имолакт» в рацион свиней положительно влияет на их продуктивность, повышает эффективность использования корма, улучшает показатели корма и увеличивает выход мяса. Это подтверждает целесообразность использования данной добавки в свиноводстве для повышения рентабельности производства.

Ключевые слова: свиноводство, кормление свиней, гранулированные корма, новые кормовые добавки, рентабельность свиноводства.

Цитирование. Сложенкина М. И., Горлов И. Ф., Хорошевская Л. В., Мосолова Н. И., Сова И. А., Шмалюк А. П. Эффективность использования новой кормовой добавки в свиноводстве. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 294-301. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-30.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании проведения экспериментального исследования и интерпретации полученных результатов. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В условиях действующих ограничений, наложенных рядом государств, важнейшей целью для агропромышленного комплекса и органов власти становится обеспечение населения страны доступной и высококачественной мясной продукцией. По оценкам ведущих российских аналитиков в области экономики, ожидаемый прирост производства свинины, начиная с 2025 года, вероятно, не превысит 3 %. Этот объем, с одной стороны, сможет удовлетворить прогнозируемый рост внутреннего спроса. С другой стороны, он откроет возможности для решения экспортных поставок [9]. Активное внедрение передовых технологических решений, государственная поддержка и ориентация на экспорт являются ключевыми факторами [2-4], стимулирующими бурный рост свиноводческой отрасли. За счет оперативного производственного цикла, высокой прибыльности и ценовой доступности свинина занимает ведущее место в животноводстве. Прогнозируется, что к концу 2025 года потребление свиного мяса российским населением достигнет приблизительно 31,4 кг на человека в год при общем объеме потребления мяса около 83 кг на человека в год.

В последние годы пребиотические добавки стали объектом пристального изучения специалистами по кормлению животных. Это обусловлено расширением представлений об их биологической активности, когда метаболиты в ряде ситуаций способствуют благоприятным изменениям в микробиоценозе кишечника [3, 5, 8]. Научные данные свидетельствуют о том, что пребиотики оптимизируют состав естественной микрофлоры, стимулируя рост популяции полезных бактерий, характерных для организма.

Оптимизация пищеварения у растущего молодняка играет решающую роль в обеспечении интенсивного роста, полноценного развития и высокой продуктивности в будущем. В связи с этим в рацион была включена инновационная кормовая добавка пребиотического действия под названием «Имолакт», представляющая собой комплекс натуральных биологически активных компонентов (ТУ 10.91.10-284-10514645-2024). «Имолакт» создан путем объединения сухих пребиотиков – лактулозы и изомальтоолигосахарида.

Объект исследования. Объектом исследования стала новая кормовая добавка «Имолакт».

Материалы и методы. В Поволжском научно-исследовательском институте производства и переработки мясомолочной продукции (ГНУ НИИММП) разработана новая кормовая добавка «Имолакт», проведено изучение её влияния на рост и развитие свиноголовья. На базе племенного хозяйства имени Ленина Суровикинского района Волгоградской области осуществлены экспериментальные исследования по откорму свиней с использованием сбалансированных гранулированных кормов, включающих разные дозировки исследуемой добавки. Проведение лабораторных исследований было организовано в комплексной лаборатории ГНУ НИИММП.

Первый этап откорма проводился в возрасте от трёх до шести месяцев, когда свиньи достигали живой массы 100-105 кг. Диаметр гранул комбикорма составлял 4,8 мм. Вторым этапом эксперимента проводился в возрасте от шести до восьми месяцев, когда свиньи достигали живой массы 135-140 кг. Диаметр гранул комбикорма составлял 8 мм.

В производственном эксперименте участвовали 60 голов поросят, отобранных в 60-дневном возрасте и массой от 29 до 30 кг. Этих животных случайным образом распределили на три группы, по 20 голов в каждой. Кормление осуществлялось дважды в сутки (утром и вечером) с использованием сбалансированного по основным питательным веществам рациона. Непрерывный доступ к питьевой воде был обеспечен. Параметры микроклимата и условия содержания были идентичны для контрольной и экспериментальных групп.

Свиньи контрольной группы потребляли обычный гранулированный корм СК-6, не содержащий исследуемой добавки. Поросята 1 опытной группы в начальный период откорма питались комбикормом СК-6, включавшим 0,5 % кормовой добавки «Имолакт». Рацион поросят 2 опытной группы состоял из гранулированного комбикорма СК-6, содержащего 1,0 % кормовой добавки «Имолакт».

В течение второго этапа откорма использовался комбикорм СК-7 в виде гранул диаметром 8 мм, не содержащих каких-либо добавок. В то же время свиньи 1 опытной группы в период откорма получали аналогичный гранулированный корм СК-7, но с включением в гранулы 2 % исследуемой кормовой добавки «Имолакт», 2 опытная группа получала корм СК-7 в гранулах, содержащий 3 % вышеупомянутой добавки.

Для оценки качества питания и самочувствия свиней в экспериментальной группе проводился анализ крови. Образцы для морфологических и биохимических исследований отбирались из хвостовой вены непосредственно перед утренним кормлением. Этот метод позволял отслеживать любые изменения в состоянии здоровья, вызванные рационом.

Для определения качества свиных туш использовались нормативы ГОСТ 1213-74 «Свиньи для убоя» и ГОСТ 7724-77 «Свиньи в тушах и полутушах». Качество мясной продукции оценивалось в соответствии с ГОСТ 7269-79, описывающим методы отбора проб и органолептическую оценку свежести, а также ГОСТ 9959-91, устанавливающим общие правила дегустации мясных изделий.

Гематологические показатели, в том числе состав белковых фракций крови, количество красных кровяных телец, концентрация гемоглобина и уровень общего белка, определялись в аккредитованной лаборатории ГНУ НИИММП с использованием автоматического гематологического анализатора URiT 3020 Vet Plus (производство Китай). Питательная ценность исследуемой кормовой добавки и комбикормов определялась на полуавтоматическом анализаторе URiT-800 (Китай).

Результат и обсуждение. Изменения в живой массе исследуемых свиней регистрировали посредством индивидуального взвешивания в начале эксперимента и затем каждый месяц, до утреннего кормления. Ключевые показатели продуктивности свиней представлены в таблице (таблица 1).

Таблица 1 – Ключевые показатели продуктивности поголовья свиней, n=20
Table 1 – Key performance indicators of pig herds, n=20

Показатели / Indicators	Группа / Group		
	Контрольная группа / Control group	1 опытная / experimental 1	2 опытная / experimental 2
Вес 1 головы, кг / Weight of 1 head, kg			
В 60 дней / In 60 days	30,6±0,24	30,3±0,26	29,8±0,21
В 90 дней / In 90 days	40,7±0,42	41,1±0,53	41,4±0,49
В 120 дней / In 120 days	57,4±0,51	58,3±0,52	58,8±0,55
В 150 дней / In 150 days	74,3±0,88	76,7±0,84	77,3±0,86*
В 180 дней / In 180 days	94,7±0,82	98,2±0,87**	99,8±0,90***
В 210 дней / In 210 days	117,3±0,92	119,7±0,94	121,7±0,95**
В 240 дней / In 240 days	137,2±0,96	141,5±0,97**	143,7±0,99***
Ежедневный прирост, г / Daily gain, g	592,2	617,8	632,8
Конверсия корма, кг / Feed conversion, kg	2,78	2,67	2,58
Сохранность поголовья, % / Livestock survival, %	100	100	100

Примечание: *P < 0,05; **P < 0,01; ***P < 0,001

Note: *P < 0.05; **P < 0.01; ***P < 0.001

Анализ данной таблицы демонстрирует улучшение характеристик комбикорма при добавлении в него кормовой добавки «Имолакт», что положительно сказалось на поедаемости корма поросятами. Вероятно, содержание лактулозы и изомальтоолигосахарида не только обогатило питательный состав комбикорма, но и способствовало улучшенному усвоению и перевариванию питательных элементов в организме свиней. Это привело к увеличению привеса живой массы в группах, получавших кормовую добавку, на 4,32 % в 1 опытной группе и на 6,85 % во 2 опытной группе по сравнению с контрольной группой. Таким образом, наблюдалось снижение конверсии корма на единицу прироста живой массы в 1 опытной группе на 4,12 %, а во 2 опытной группе 7,75 % (P<0,001).

Наилучший результат наблюдался во 2 опытной группе. Это было достигнуто благодаря введению 1,0 % кормовой добавки «Имолакт» в состав комбикорма СК-6, а также 3,0 % этой же добавки в комбикорм СК-7.

Анализ крови, взятой у пяти свиней из каждой группы в начале эксперимента для оценки ключевых гематологических показателей, не выявил значимых расхождений между контрольной и опытными группами. Общее состояние здоровья свиней было удовлетворительным, и компоненты крови у всех групп находились в пределах нормальных физиологических значений [9]. По завершении опыта, несмотря на то, что анализы крови всех подопытных групп оставались в рамках здоровых значений, ключевые гематологические показатели у опытных животных демонстрировали тенденцию к увеличению относительно контрольной группы (рисунок 1).

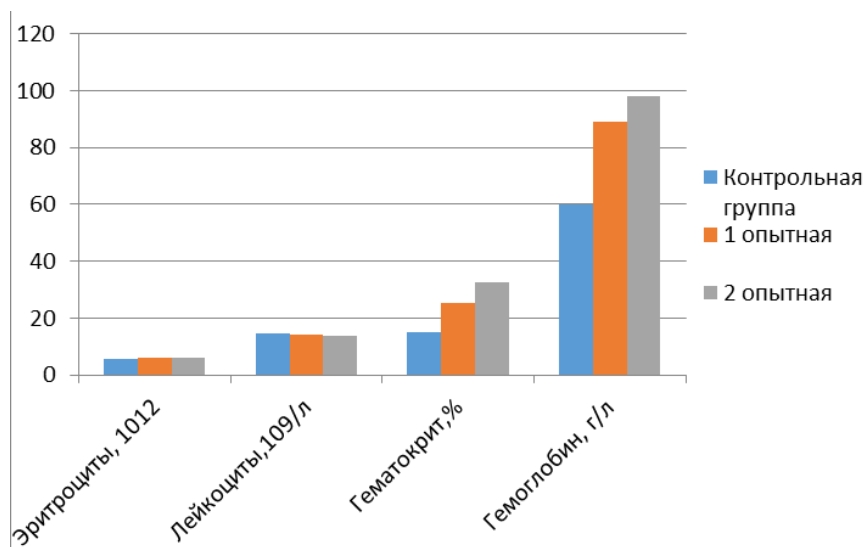


Рисунок 1– Гематологические показатели у опытных животных в конце эксперимента
Figure 1 – Hematological parameters in experimental animals at the end of the experiment

У свиней на откорме, получавших кормовую добавку, содержание эритроцитов существенно отличалось от контрольных значений. В частности, у свиней 1 опытной группы этот показатель был выше на 4,82 % ($P < 0,05$), а во 2 опытной группе – на 7,22 % ($P < 0,01$). Схожая тенденция наблюдалась и в отношении уровня гемоглобина: у свиней из 1 опытной группы он превышал контрольные значения на 3,5 % ($P < 0,01$), а у животных 2 опытной группы – на 8,59 % ($P < 0,01$).

В обеих экспериментальных группах, получивших исследуемую кормовую добавку, зафиксировано сокращение числа лейкоцитов относительно контрольной группы. Это указывает на усиление иммунитета у свиней, получавших добавку. Вероятно, положительное влияние на процесс формирования иммунных клеток в организмах животных, входящих в состав экспериментальных групп, обеспечила кормовая добавка «Имолакт», включенная в их рацион.

Таблица 2 – Результаты исследования мясной продуктивности свиней, n=5
Table 2 – Results of the study of meat productivity of pigs, n=5

Показатели / Indicators	Группа / Group		
	Контрольная группа / Control group	1 опытная / experimental 1	2 опытная / experimental 2
Средняя живая масса свиней в конце откорма, кг / Average live weight of pigs at the end of fattening, kg	137,2	141,5	143,7
Убойная масса туши, кг / Slaughter weight of carcass, kg	105,71	110,83	114,94
Убойный выход, % / Slaughter yield, %	77,04	78,32	79,9
Выход мышечной ткани, % / Muscle tissue yield, %	57,7	57,9	57,8
Выход жировой ткани, % / Fat tissue yield, %	31,3	31,8	32,0
Выход костной ткани, % / Bone tissue yield, %	13,1	12,4	12,3
Площадь «мышечного глазка», см / Area of the "muscular eye", cm	30,1	31,5	31,9
Масса окорока, кг / Weight of ham, kg	15,2	16,4	17,3
Толщина шпика над 6-7 грудным позвонком, мм / Thickness of fat above the 6th-7th thoracic vertebrae, mm	26,7	28,3	30,2
Категория упитанности в соответствии с требованиями ГОСТ 31476-2012 / Fatness category in accordance with the requirements of GOST 31476-2012	2	2	2

По завершении научно-производственного опыта был осуществлен контрольный забой. На основании полученных данных оценивались мясные характеристики откармливаемых поросят, на которые оказывала влияние включенная в комбикорм исследуемая кормовая добавка. Анализ результатов контрольного забоя свиней показал, что у животных 1 опытной группы средняя масса туши после убоя оказалась выше на 5,12 %, а процентный выход мяса увеличился на 1,28 % по сравнению с контрольной. У свиней 2 опытной группы зафиксированы более высокие показатели убойного выхода, превышающие контрольные значения на 9,23 % и убойный выход увеличился на 2,86 %. После обвалки туш был произведен анализ соотношения мышечной, жировой и костной ткани. Сравнительный анализ содержания мяса, жира и костей в тушах не выявил значительных расхождений между опытными группами (таблица 2).

Свиней крупной белой породы, ориентированных на производство сала, разводят для достижения высокого качества сала, используемого в колбасном производстве. Для оценки качества полученного продукта по завершении опыта нами был проанализирован химический состав сала, а также его вкусовые характеристики (таблица 3).

Таблица 3 – Химический состав сала, % n=5
Table 3 – Chemical composition of lard, % n=5

Показатели / Indicators	Группа / Group		
	Контрольная группа / Control group	1 опытная / experimental 1	2 опытная / experimental 2
Влага, % / Moisture, %	4,61±0,15	4,57±0,18	5,25±0,22
Протеин, % / Protein, %	1,95±0,09	1,97±0,08	1,98±0,05
Жир, % / Fat, %	92,19±0,24	92,72±0,32	93,20±0,27
Зола, % / Ash, %	0,57±0,08	0,67±0,08	0,73±0,06

Во 2 опытной группе отмечена тенденция к увеличению содержания влаги, белка и жира в шпике относительно 1 опытной и контрольной групп. С целью определения питательной ценности мяса и шпика, а также исключения появления посторонних запахов, связанных с введением исследуемой добавки, произведена органолептическая оценка мяса и бульона с использованием 5-балльной шкалы (таблица 4).

Таблица 4 – Дегустационная оценка мяса и шпика, баллы, n=5
Table 4 – Tasting assessment of meat and lard, points, n=5

Показатели / Indicators	Группа / Group		
	Контрольная группа / Control group	1 опытная / experimental 1	2 опытная / experimental 2
Внешний вид / Appearance	4,75	4,76	4,77
Аромат / Aroma	4,84	4,89	4,97
Вкус / Taste	4,76	4,87	4,91
Крепость / Fortress	4,68	4,75	4,96
Наваристость / Richness	4,88	4,93	5,0
Общая оценка / Overall rating	4,75	4,87	4,95

При проведении дегустации бульона, сваренного из мяса и шпика, полученных от исследуемых животных, никаких отклонений во вкусе или посторонних запахов выявлено не было. Оценка качества бульона, полученного от свиней 1 опытной группы, превосходила контрольные показатели на 0,12 балла, в то время как бульон свиней 2 опытной группы был оценен выше контрольного на 0,2 балла.

Заключение. Результаты экспериментального исследования подтверждают, что включение новой кормовой добавки "Имолакт" в состав гранул комбикорма СК-6 (1,0 %) и СК-7 (3,0 %) для свиней на откорме оказывает комплексное положительное воздействие. Было установлено, что добавка стимулирует обменные процессы, улучшает переваримость корма, оптимизирует морфологические и биохимические показатели крови, а также способствует увеличению продуктивности и убойного выхода. На основании полученных данных можно заключить, что применение "Имолакта" при производстве комбикормов позволяет повысить как количественные, так и качественные показатели свиноводческой продукции, одновременно снижая ее себестоимость.

Conclusion. The results of the experimental study confirm that the inclusion of the new feed additive "Imolact" in the pellets of SK-6 (1.0 %) and SK-7 (3.0 %) compound feed for fattening pigs has a comprehensive positive effect. It was found that the additive stimulates metabolic processes, improves feed digestibility, optimizes morphological and biochemical parameters of blood, and contrib-

utes to increased productivity and slaughter yield. Based on the obtained data, it can be concluded that the use of "Imolact" in compound feed production improves both the quantitative and qualitative characteristics of pig products, while simultaneously reducing their cost.

Библиографический список

1. Алейник С. Н., Походня Г. С., Косов А.В. Эффективность использования различных кормовых добавок в рацион свиней: монография. Белгород, 2023. 504 с.
2. Власов А., Григорьев Д., Херувимских Е. Влияние препарата с монобутирином на рост и развитие поросят. Комбикорма. 2022. № 12. С. 46-47.
3. Гяглов А. Ч. и др. Конкурентоспособная рецептура обогатительной кормовой добавки для поросят. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2023. № 3 (74). С. 73-78.
4. Горлов И. Ф. и др. Новые технологии производства свинины с включением кормового полисахаридного экстракта. Свиноводство. 2023. № 3. С. 55-60.
5. Данкфорт А. Экомясое собственного производства. М.: Эксмо, 2019. 496 с.
6. Косова А. В., Походня Г. С., Бреславец Ю. П., Бреславец А. П., Гусь Р. В., Гампенко В. Н., Кошчаева А. Г. Эффективность использования кормовой добавки в рационах ремонтных свинок в период подготовки их к осеменению. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2023. №5 (107). С.230-235.
7. Лаврентьев А., Михайлова Л., Жестянова Л. Особенности выращивания поросят-сосунков. Животноводство России. 2023. № S1. С. 51-52.
8. Мотовилов К. Я., Волончук С. К., Наumenко И. В., Резепин А. И. Технология производства сухого белково-углеводного композита кормового назначения с использованием вторичного сырья. Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 4. С. 72-75.
9. Походня Г. С., Бреславец П. И., Бреславд Ю. П., Бреславец А. П., Кирьян К. И., Крючин Д. В., Кошчаев А. Г. Рост, развитие и мясные качества некастрированных и кастрированных хрячков. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2023. № 7 (109). С.226-231.
10. Рябцева С. А. и др. Физиологические эффекты, механизмы действия и применение лактулозы. Вопросы питания. 2020. Т. 89. № 2. С. 5-20.
11. Шахов А. Г. и др. Состояние неспецифического иммунитета у поросят под влиянием технологического стресса. Ветеринарный фармакологический вестник. 2020. № 2 (11). С. 166-176.

References

1. Aleinik S. N., Pokhodnya G. S., Kosov A. V. Efficiency of using various feed additives in the diet of pigs: monograph. Belgorod, 2023. 504p.
2. Vlasov A., Grigoriev D., Kheruvimskikh E. The effect of a drug with monobutyrim on the growth and development of piglets. Compound feed. 2022. No 12. Pp. 46-47.
3. Gaglov A. Ch. et al. Competitive formulation of an enriching feed additive for piglets. Bulletin of Michurinsk State Agrarian University. 2023. No 3 (74). Pp. 73-78
4. Gorlov I. F. et al. New technologies for pork production with the inclusion of feed polysaccharide extract. Pig breeding. 2023. No 3. Pp. 55-60.
5. Dankfort A. Eco-meat of our own production. Moscow: Eksmo, 2019. 496 p.
6. Kosova A. V., Pokhodnya G. S., Breslavets Yu. P., Breslavets A. P., Gus R. V., Gampenko V. N., Koshchaeva A. G. Efficiency of using a feed additive in the diets of gilts during their preparation for insemination. Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2023. №5 (107). Pp. 230-235.
7. Lavrentiev A., Mikhailova L., Zhestyanova L. Features of growing suckling piglets. Animal Husbandry of Russia. 2023. No. S1. Pp. 51-52.
8. Motovilov K. Ya., Volonchuk S. K., Naumenko I. V., Rezepin A. I. Technology for the production of dry protein-carbohydrate composite for feed purposes using recycled raw materials. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2020. V. 34. No. 4. Pp. 72-75.
9. Pokhodnya G. S., Breslavets P. I., Breslavd Yu. P., Breslaved A. P., Kiryan K. I., Kryuchin D. V., Koshchaev A. G. / Growth, development and meat qualities of intact and castrated boars. Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2023. No 7 (109). Pp. 226-231.
10. Ryabtseva S. A. et al. Physiological effects, mechanisms of action and use of lactulose. Nutrition Issues. 2020. V. 89. No2. Pp. 5-20.
11. Shakhov A. G., Vladimirova L. Yu., Karmanova N. V. The state of nonspecific immunity in piglets under the influence of technological stress. Veterinary Pharmacological Bulletin. 2020. No 2 (11). Pp. 166-176.

Информация об авторах

Сложенкина Марина Ивановна, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. им Рокоссовского, 6); профессор, Волгоградский государственный технический университет (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. имени В. И. Ленина, 28), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9542-5893>, e-mail: niimmp@mail.ru

Горлов Иван Федорович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, научный руководитель, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. им Рокоссовского, 6); заведующий кафедрой, Волгоградский государственный технический университет (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. имени В. И. Ленина, 28), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8683-8159>, e-mail: niimmp@mail.ru

Хорошевская Людмила Викторовна, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий специалист, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. им Рокоссовского, 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Наталья Ивановна Мосолова, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. им Рокоссовского, 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6559-6595>, e-mail: niimmp@mail.ru

Сова Ирина Алексеевна, лаборант-исследователь, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. им. Рокоссовского, 6), ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5072-387>, e-mail: irisha.sova.01@mail.ru

Шмалюк Анастасия Петровна, лаборант-исследователь, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. им. Рокоссовского, 6), ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0415-3211>, e-mail: niimmp@mail.ru

Authors' Information

Slozhenkina Marina Ivanovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director, Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), Professor, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, Lenin Ave., 28), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9542-5893>, e-mail: niimmp@mail.ru

Gorlov Ivan Fedorovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director, Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), Head of the Department, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, Lenin Ave., 28), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8683-8159>, e-mail: niimmp@mail.ru

Khoroshevskaya Lyudmila Viktorovna, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Specialist, Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Mosolova Natalya Ivanovna, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6559-6595>, e-mail: niimmp@mail.ru

Sova Irina Alekseevna, Laboratory Researcher, Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5072-387>, e-mail: irisha.sova.01@mail.ru

Shmalyuk Anastasia Petrovna, Laboratory Researcher, Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0415-3211>, e-mail: niimmp@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-31

THE TRANSFORMATION OF THE RUSSIAN SHEEP BREEDING: ON THE EXAMPLE OF THE ROSTOV REGION

¹Kolosov Yu. A., ³Gorlov I. F., ³Slozhenkina M. I., ²Aboneev V. V.,
²Kulikova A. Ya., ¹Kudinov A. A.

¹Don State Agrarian University

Rostov Region, Russian Federation

²Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Medicine

Krasnodar, Russian Federation

³Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production

Volgograd, Russian Federation

Corresponding author: E-mail: niimmp@mail.ru

Received 03.11.2025

Submitted 14.12.2025

The work was carried out under a grant from the Russian Science Foundation 22-16-00041-P, GNUNIIMMP.

Abstract

Introduction. The Rostov Region continues to be one of the leading regions of the Russian Federation in sheep breeding. However, over the past decade, the configuration of the industry has undergone significant changes in the new economic conditions. The need to evaluate the retrospective and form a vector for the further development of the industry is important for solving the problems of sheep farming. **Object.** The sheep industry of the Rostov region is extrapolated to the Russian Federation. **Materials and methods.** The purpose of the research was an expert assessment of the processes that took place in the Rostov region in the sheep industry, starting from the end of the last century and up to the present. To achieve this goal, we solved the following tasks: to assess the dynamics of livestock; changes in the resource base of breeding sheep; breed composition in the region; regional characteristics of the industry. The research was conducted in 2024-2025 based on open literary and online sources, as well as on the results of their own research. The research uses information from foreign journals, from the websites of leading scientific and educational institutions of the Ministry of Education and Science of Russia, the Russian Academy of Sciences, scientific and educational institutions of the Ministry of Agriculture of Russia, and other Russian and foreign organizations, which present the results of research conducted in recent years in the sheep industry. **Results and conclusions.** The sinusoidal character of the curve characterizing the dynamics of livestock in the Russian Federation and the Rostov region has been established. The number of sheep is from 520 thousand. At the beginning of the century, the number of heads increased to 1.2 million, and in recent years it has also been sharply decreasing and amounts to about 700 thousand heads. Similar trends mirror the industry and the country as a whole. The authors conclude that the livestock will continue to decline, followed by moderate growth. Fundamental changes have also been recorded in the condition and structure of the breeding base. In conclusion, the authors predict the main trends of the industry for the future.

Keywords: sheep breeding, dynamics of sheep numbers, sheep breeds, breeding base of sheep breeding, development of sheep breeding.

Citation. Kolosov Yu. A., Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Aboneev V. V., Kulikova A. Ya., Kudinov A. A. The transformation of the Russian sheep breeding: on the example of the Rostov region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 301-309 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-31.

The authors' contribution. All the authors of this study were directly involved in the planning, execution, or analysis of this scientific study. All the authors of this article have read and approved the submitted final version.

Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 636.32/38(470.61):637.5'63

ТРАНСФОРМАЦИЯ РОССИЙСКОГО ОВЦЕВОДСТВА: НА ПРИМЕРЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

¹Колосов Ю. А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

³Горлов И. Ф., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН

³Сложенкина М. И., доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН

²Абонеев В. В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент РАН

²Куликова А. Я., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹Кудинов А. А., аспирант

¹ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет»

Ростовская область, Российская Федерация

²ФГБНУ Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии

г. Краснодар, Российская Федерация

³Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции
г. Волгоград, Российская Федерация

Работа выполнена по гранту РНФ 22-16-00041-П, ГНУНИИМП.

Актуальность. Ростовская область продолжает оставаться одним из ведущих регионов Российской Федерации по разведению овец. Однако за последнее десятилетие в новых экономических условиях конфигурация отрасли претерпела существенные изменения. Необходимость оценить ретроспективу и сформировать вектор дальнейшего развития отрасли является важной для решения проблем овцеводства. **Объект.** Отрасль овцеводства Ростовского региона экстрополированная на Российскую Федерацию. **Материал и методы.** Целью исследований являлась экспертная оценка процессов, имевших место в Ростовской области в отрасли овцеводства, начиная с конца прошлого века и по настоящее время. Для достижения указанной цели нами решались следующие **задачи:** оценка динамики поголовья; изменения ресурсной базы племенного овцеводства; породный состав в области; региональные особенности отрасли. Исследования проводились 2024-2025 годах на основании открытых литературных и интернет-источников, а также по результатам собственных исследований. При проведении исследований использована информация из зарубежных журналов, с сайтов ведущих научных и образовательных учреждений Минобрнауки России, РАН, научных и образовательных учреждений Минсельхоза России, других российских и зарубежных организаций, где представлены результаты исследований, проводимых в последние годы в овцеводческой отрасли. **Результаты и выводы.** Установлен синусоидальный характер кривой, характеризующий динамику поголовья в Российской Федерации и Ростовском регионе. Численность овец с 520 тыс. голов в начале века возростала до 1,2 млн, а в последние годы резко снижается и составляет около 700 тыс. голов. Аналогичные тенденции зеркально характеризуют отрасль и по стране в целом. Авторы делают вывод о дальнейшем сокращении поголовья с последующим умеренным ростом. Принципиальные изменения зафиксированы также в состоянии и структуре племенной базы. В заключении авторами прогнозируются основные тенденции отрасли на перспективу.

Ключевые слова: овцеводство, динамика поголовья овец, породы овец, племенная база овцеводства, развитие овцеводства.

Цитирование. Колосов Ю. А., Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Абонеев В. В., Куликова А. Я., Кудинов А. А. Трансформация российского овцеводства: на примере Ростовской области. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 301-309. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-31.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного научного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Интенсификация производства баранины является устойчивой тенденцией отрасли овцеводства, которая получила дополнительный импульс развития в течение последних 10-15 лет. Изменение акцентов в российском овцеводстве определяется отсутствием реального спроса на продукцию, ранее доминировавшую в отечественном овцевод-

стве – шерсть [1, 11]. Помимо этого, вхождение в отрасль крупных агрохолдингов, которые рассматривают возможность получения реальной прибыли исключительно за счет производства баранины, также стимулируют именно такой подход к разведению овец. Результативность этого подхода, с зоотехнической точки зрения, определяется кормовыми средствами и их умелой комбинацией, а также генетическими и технологическими ресурсами [5-7].

Ростовская область с 2000-х годов накопила определённый опыт интенсификации овцеводства с акцентом на производство баранины. Динамика этого процесса определялась исходя из реального состояния отрасли в конце XX столетия. Резкое сокращение поголовья в коллективных сельхозпредприятиях и определённый рост в личных подсобных хозяйствах изменяло, в т. ч. и структуру породного состава. Сокращалась численность тонкорунных пород и возрастало количество помесных и грубошерстных овец, уменьшалась численность племенных животных и сокращалось количество хозяйствующих субъектов, занимающихся их разведением [8-10]. Получил распространение хаотичный завоз крестьянскими (фермерскими) субъектами хозяйствования пород овец, обладающих, по мнению владельцев стад, более высокими характеристиками мясной продуктивности. На территории области в настоящее время имеется один хозяйствующий субъект, который реально строит свою работу, основанную на подотрасли овцеводство. Компания ГАП «Ресурс» создаёт в регионе кластер по производству и переработке баранины в Морозовском, Милютинском и Белокалитвинском районах. Из открытых источников в интернете известно, что компания инвестировала в этот проект свыше 1,6 млрд руб., а планируемое поголовье составит в конечном итоге свыше 50 тыс. голов [13].

Цель исследований состояла в экспертной оценке процессов, происходящих в Ростовской области в отрасли овцеводства, начиная с конца прошлого века и по настоящее время. Фоном данного процесса служила картина состояния отрасли в РФ. Для достижения указанной цели нами решались следующие **задачи**:

- оценить динамику поголовья за анализируемый период;
- изучить изменения ресурсной базы племенного овцеводства;
- познакомиться с породным составом поголовья, имеющегося в области;
- дать оценку региональным аспектам отрасли на территории области.

Методика исследований. Исследования проводились в 2024-2025 годах на основании открытых литературных и интернет-источников, а также по результатам собственных исследований. При проведении исследований использована информация из зарубежных журналов, с сайтов ведущих научных и образовательных учреждений Минобрнауки России, РАН, научных и образовательных учреждений Минсельхоза России, других российских и зарубежных организаций, где представлены результаты исследований, проводимых в последние годы в овцеводческой отрасли. Исследования проводились с использованием аналитического, сравнительного и информационно-логического методов анализа исходной информации.

Результаты и анализ исследований. Поголовье овец в Ростовской области с конца прошлого века и по настоящее время претерпело существенные изменения (рисунок 1)

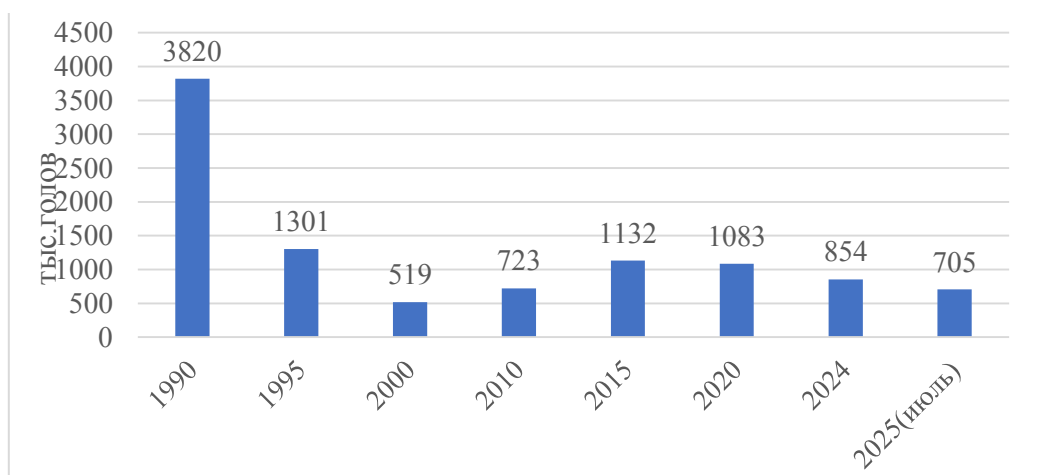


Рисунок 1 – Динамика поголовья овец в Ростовской области
Figure 1 – Dynamics of sheep population in the Rostov region

Экстенсивные формы хозяйствования и запросы текстильной промышленности прошлого века формировали запрос на мериносовые породы овец и многочисленные стада. Поэтому численность животных в колхозах и совхозах Советского Союза (без учета личных подсобных хозяйств) последовательно возрастала и в 80-х годах прошлого века в Ростовской области превышала 4 млн голов. Такое поголовье в совокупности с животными, находившимися в личной собственности граждан, было явно избыточным для существовавшей кормовой базы, особенно пастбищных угодий. Это приводило к деградации пастбищ, особенно в восточных и юго-восточных территориях области, а также обеспечивало потребность в кормах, особенно в зимний период, на уровне не более 80 %. Разбалансированность экономики в РФ, имевшая место в конце прошлого века, а также изменение запроса на тонкую шерсть, привело к сокращению поголовья, а затем и изменению структуры породного состава [4, 12]. Численность этого вида животных в области снизилась к концу XX – началу XXI веков и составляла менее 0,5 млн голов, т.е. сократилась в 8 раз. Меры, предпринятые Правительством РФ, Национальным союзом овцеводов, территориальной администрацией позволили стабилизировать ситуацию, а в последующем и обеспечили постепенный рост поголовья, которое приблизилось к 1,2 млн гол., т. е. возросло к минимальному уровню конца прошлого века почти в 2,5 раза.

Изменение экономической ситуации в стране, сокращение мер поддержки отрасли на региональном и федеральном уровнях на фоне изменившихся приоритетов подотрасли животноводства, а также последовавшие санкции со стороны «недружественных» правительств западных государств в связи с СВО, негативно повлияли на численность поголовья овец, как в целом по Российской Федерации, так и в Ростовской области. Отрицательная динамика численности овец наблюдается в течение почти десяти лет [2-3].

Аналогичные тенденции имели место и в характеристиках племенной базы овец Ростовской области. В начале 80-х годов численность породных овец, т.е. имевших подтвержденное происхождение, выглядела следующим образом (таблица 1).

Таблица 1 – Численность овец по породам в начале 80-х годов
Table 1 – The number of sheep by breed in the early 80s

Порода / Breed	Всего / Total		в т.ч. овцематок, тыс. гол. / incl. sheep, thousand head	Зона размещения / Placement area
	тыс. гол. / thousands of heads	%		
Советский меринос / Soviet Merino	1634,4	76	1067,8	Повсеместно / Everywhere
Сальская / Salskaya	175,1	8,2	114,2	Южная / South
Кавказская / Caucasian	181,3	8,4	121,9	Центральная / Central
Ставропольская / Stavropol breed	24,6	1,4	17,9	Восточная / Vostochnaya
Прекоз / Precos	52,6	2,3	39,4	Восточная / Vostochnaya
Цигайская / Tsigai	45,6	2,1	32,4	Восточная / Vostochnaya
Северокавказская / North Caucasus	37,0	1,6	27,2	Северо- восточная / Northeast

Овцы породы советский меринос имели наибольшее распространение. Их доля составляла 76 %. Уже в тот период времени племенные стада животных совершенствовались в ходе селекции по шерстно-мясному направлению. Однако из этого поголовья только 28 % относились к наиболее высоким бонитировочным классам – элита и первый. Примерно такой же была доля высококлассных овец по северокавказской породе. В остальных породах, численность которых была значительно меньше, этот показатель был выше и колебался от 35 до 80 %.

Безусловный интерес представляет собой состояние племенной базы области в начале 80-х годов. В тонкорунном и полутонкорунном овцеводстве племенная работа была направлена на закрепление породных признаков, типизацию стад, улучшение племенных и продуктивных качеств. Для этих целей была создана племенная база, представленная 7 племенными заводами, 7 племсовхозами и 29 племенными фермами, в которых насчитывалось 1565 тыс. овец (таблица 2).

Таблица 2 – Племенная база овцеводства Ростовской области в 80-х годах XX века
Table 2 – Breeding base of sheep breeding in the Rostov region in the 80s of the twentieth century

Статус хозяйства / Farm status	Порода овец / Breed	Количество хозяйств / Number of farms	Кол-во овец, тыс. / Number of sheep, thousand		Настриг шерсти, кг / Shearing of wool, kg	
			Всего / Total	Маток / Queens	средний / average	максим./ maximum
Племенные заводы / Breeding plants	Сов. меринос	5	210,2	88,7	2,56	2,75
	Кавказская	1	38	18,5	2,88	2,9
	Цигайская / Soviet Merino Caucasian Tsigai	1	53,8	27,2	2,1	2,3
Племсовхозы / Breeding farms	Сов. меринос	6	289,1	122,8	2,36	2,74
	Ставропольская / Soviet Merino Stavropol breed	1	45,3	20,5	2,27	2,46
Племфермы / Breeding farms	Сов. меринос	20	733,9	301,3	2,07	2,2
	Кавказская	6	139,2	60,7	2,06	2,2
	Сальская	2	40,2	18,3	2,2	2,4
	Северокавказская / Soviet Merino Caucasian Salskaya Street North Caucasian	1	15,6	7,4	1,61	1,9
Всего / Total		43	1565,1	665,4	-	-

Материалы таблицы 2 возвращают нас во времена акцентированного развития мериносового овцеводства. В оцениваемый период времени, из 43 племенных стад Ростовской области – 41 представляло именно это направление овцеводства. Из более чем полутора миллионного поголовья данной категории хозяйств, всего лишь около 70 тыс. представляли полутонкорунные овцы. Последующие годы, с конца 80-х, характеризовались появлением и исчезновением новых племенных стад эдильбаевской, цигайской и южной мясной пород.

Далее, в таблице 3, представлена информация о современном состоянии племенных ресурсов отрасли в овцеводство Ростовской области.

Таблица 3 – Характеристика племенных ресурсов в овцеводства Ростовской области в 2025 году
Table 3 – Characteristics of breeding resources in sheep breeding in the Rostov region in 2025

Порода / Breed	Племенные заводы / Breeding plants		Племенные репродукторы / Breeding farms		Всего / Total	
	Кол-во организ. / Number of organizations	гол. / Number	Кол-во организ. / Number of organizations	гол. / Number	Кол-во организ. / Number of organizations	гол. / Number
Советский меринос / Soviet Merino	-	-	2	15265	2	15265
Сальская / Salskaya	1	2356	-	-	1	2356
Волгоградская / Volgogradskaya	1	11457	-	-	1	11457
Итого тонкорунные / Total fine-fleeced	2	13813	2	15265	4	29078
Южная мясная Yuzhnaya Meat	1	1472	-	-	1	1472
Цигайская / Tsigai	-	-	1	1798	1	1798
Итого полутонкорунные / Total semi-fine fleeces	1	1472	1	1798	2	3270
Всего / Total	3	15285	3	17063	6	32348

За анализируемый период времени для повышения мясной продуктивности овец в Ростовской области использовались как отечественные, так и зарубежные породы (таблица 4).

Таблица 4 – Перечень пород, использованных в Ростовской области,
для повышения мясной продуктивности

Table 4 – List of breeds used in the Rostov region to increase meat productivity

Происхождение пород / Origin of the breeds	Породы / Breeds	Место использования (административный район) / Place of use (administrative region)
Отечественные / Domestic	Эдильбаевская / Edilbaevskaya	Повсеместно / Everywhere
	Северокавказская / North Caucasian	Морозовский / Morozovsky
	Южная мясная / Southern meat	Зимовниковский, Сальский / Zimovnikovsky, Salsky
	Волгоградская / Volgogradskaya	Белокалитвинский, Морозовский, Милютинский / Belokalitvinsky, Morozovsky, Milyutinsky
	Российский мясной меринос / Russian meat merino	Сальский, Цилинский / Salsky, Tsilinsky
	Кубанский линкольн / Cuban Lincoln	Сальский / Salsky
зарубежные / foreign ones	Гиссарская / Gissarskaya	Сальский / Salsky
зарубежные / foreign ones	Тексель: – голландской селекции – английской селекции / Texel: – Dutch breeding – English breeding	Зимовниковский, Сальский Радионово-Несветайский, Белокалитвинский / Zimovnikovsky, Salsky Radionovo-Nesvetaisky, Belokalitvinsky
	Дорпер белоголовый / Dorper white-headed Дорпер черноголовый / Dorper black-headed	Заветинский / Zavetinsky
	Австралийский мясной меринос / Australian meat merino	Ремонтненский / Remontnensky
	Иль-де-франс, мериноланг, лакон, тексель / Ile de france, merinolang, lacon, texel	Белокалитвинский / Belokalitvinsky
	Восточно-фризская / East Frisian	Белокалитвинский, Сальский / Belokalitvinsky, Salsky
	Прекоcos / Precos	Дубовский / Dubovsky

Всего на территории области с целью повышения мясной продуктивности за последние 20 лет было использовано 15 пород овец. Из этого числа свыше 33 % составили отечественные породы и почти 67 % приходится на породы иностранного происхождения. Процесс перехода разведения овец с акцентом на мясную продуктивность отмечается практически на всей территории Ростовской области. Наиболее широко их использовали в 7 районах области, приведённых в таблице 4. В большинстве случаев в качестве материнской основы в этих вариантах скрещивания использовались тонкорунные породы овец [1]. Данная тенденция носит разновекторный характер и консолидированных чистопородных стад создано пока мало. Примером может служить стадо овец племенного репродуктора южной мясной породы в Белокалитвинском районе области, а также мелкоочаговые хозяйства, располагающие малочисленными популяциями пород гиссарская и тексель. Владельцы этих стад ставят перед собой задачу по созданию племенных репродукторов, но пока они только в начале пути.

Обобщение изложенных выше данных, использованных из базы данных ФГБОУ ВО ДГАУ, анализ информации, имеющейся в распоряжении Минсельхозпрода Ростовской области, оценка материалов, содержащихся в открытых литературных и интернет-ресурсах, позволили нам сформулировать ряд суждений о состоянии и перспективах отрасли овцеводство.

Наметилась выраженная тенденция сокращения численности овец. В РФ поголовье овец с 2015 по 2021 гг. сократилось, приблизительно, на 4 млн или на 8,5 %, с 2021 по 2025 гг. ещё на 4 млн или более, чем на 8 %. В Ростовской области эта динамика отражается цифрами минус 8 и 7,7 %, т.е. подвержена тем же закономерностям, что и на федеральном уровне. Если исходить из десятилетней цикличности в динамике поголовья в нашей стране, то ближайшая перспектива может принести новый всплеск численности овец. Однако, если прошлый подъем численности животных, несмотря на вступление нашего государства в ВТО, которая блокировала прямую поддержку АПК России, происходил на фоне возрастания протекционизма со стороны федерального центра, то как будут развиваться события на современном этапе, покажет время. Мы наблюдаем возрастание активности со стороны агрохолдингов, отмечаются определённые действия и со стороны Федерального Собрания РФ по поддержке мериносового овцеводства, но вызовы климатического и политического характера создают дополнительные препятствия. Адаптация отрасли к этим обстоятельствам, возможно, сдвинет сроки благоприятного периода.

Вторая особенность анализируемого периода состоит в сокращении отечественной базы племенного овцеводства и возрастание в структуре породного состава доли овец мясошерстного овцеводства [1]. В Ростовской области количество хозяйствующих субъектов, занимающихся разведением племенных овец уменьшилось более, чем на 85 % по отношению к периоду расцвета племенного овцеводства, а численность племенных животных в них сократилось на 98 %. Что касается структуры породного состава, то если раньше овцы комбинированного направления продуктивности, причем это были животные шерстно-мясного направления, составляли 16 %, то в настоящее время животные мясо-шерстного направления составляют 42 % среди племенных и доля их имеет тенденцию к росту.

Как и вся Россия, Ростовская область озабочена проблемой цифровизации овцеводства. Новые формы сквозного учета, безусловно, способствуют прозрачности производства, предоставляют возможность широкого использования в селекционном процессе максимально полной информации при оценке племенной ценности животных, позволяют неформально переходить на рельсы геномной селекции, превращая геномику из вспомогательного в основной материал селекционного процесса. Наряду с этим, создание Федеральной государственной информационно-аналитической системы племенных ресурсов (ФГИАС ПР), требует иной уровень подготовки кадров, формирующих ФГИАС и уверенно использующих возможности системы. И если агрохолдинги чувствуют себя более уверенно, то малый и средний бизнес находится в сложном положении. Необходимо обратить внимание также на то, что следует обучить тех, кто будет обучать селекционеров работать в этой системе. Потому, что уже имеется достаточно негативный опыт обучения работе с программным продуктом «Селекс», который в большинстве хозяйствующих субъектов овцеводческой отрасли используется неэффективно. Обращая внимание на проблемы кадров в овцеводстве, необходимо также отметить, что снижение квалификации кадров всех уровней технологической цепочки становится всё более острым.

Позитивной стороной цифровизации следует назвать также то, что некоторое лукавство, имеющее место в современном учете, будет полностью устранено. Объективная картина состояния отрасли заставит более вдумчиво подходить к решению проблем территорий и людей на них проживающих.

Мы не претендуем на полноту и всесторонний характер наших суждений в вопросах отечественного овцеводства, но надеемся, что представленный материал окажет содействие заинтересованным лицам, разрабатывающим общую концепцию развития овцеводства в Российской Федерации.

Заключение. В ходе исследований установлен синусоидальный характер кривой, характеризующий динамику поголовья в Российской Федерации и Ростовском регионе. За последние четверть века численность овец в регионе с 520 тыс. голов в начале двухтысячных годов возрасла до 1,2 млн, а в последние годы резко снижается и составляет около 700 тыс. голов. Аналогичные тенденции зеркально характеризуют отрасль и по стране в целом. Авторы делают вывод о дальнейшем сокращении поголовья с последующим умеренным ростом. Принципиальные изменения зафиксированы также в состоянии и структуре племенной базы. Увеличивается доля овец со смешанным характером продуктивности. В статье сформулированы также основные тенденции развития отрасли на перспективу.

Conclusion. In the course of the research, the sinusoidal nature of the curve has been established, characterizing the dynamics of livestock in the Russian Federation and the Rostov region. Over the past quarter of a century, the number of sheep in the region has increased from 520,000 in the early 2000s to 1.2 million, and in recent years it has also been sharply decreasing and amounts to about 700,000. Similar trends mirror the industry and the country as a whole. The authors conclude that the livestock will continue to decline, followed by moderate growth. Fundamental changes have also been recorded in the condition and structure of the breeding base. The proportion of sheep with mixed productivity is increasing. The article also outlines the main trends in the development of the industry for the future.

Библиографический список

1. Абонеев В. В., Колосов Ю. А. О проблемах сохранения племенных ресурсов овцеводства России. Овцы, козы, шерстяное дело. 2020. № 1. С. 43-45.
2. Колосов Ю. А., Чамурлиев Н. Г., Дегтярь А. С., Смородин Ф. А. Мясная продуктивность овец различных генотипов. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 2 (66). С. 196-202.
3. Шперов А. С., Чамурлиев Н. Г., Шангераев Г. М., Абдулхаликов А. М. Мясная продуктивность и качество мяса чистопородных и помесных баранчиков. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 3 (75). С. 250-257.
4. Колосов Ю. А., Чамурлиев Н. Г., Шперов А. С. Результаты топкроссинга в стаде овец сальской породы. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 1 (73). С. 157-163.
5. Колосов Ю. А., Абонеев В. В. Трансформация научных концепций профессора Н.В. Михайлова для оценки племенной ценности овец мериносовых пород. Вестник Донского государственного аграрного университета. 2024. № 3 (53). С. 42-46.
6. Федоров В. Х., Колосов Ю. А. Научная школа профессора Н. В. Михайлова и её новые достижения. Вестник Донского государственного аграрного университета. 2024. № 3 (53). С. 61-64.
7. Bakoev S., Getmantseva L., Kolosova M., Bakoev F., Kolosov A., Romanets E., Shevtsova V., Romanets T., Kolosov Yu., Usatov A. Identifying significant snps of the total number of piglets born and their relationship with leg bumps in pigs. Biology. 2024. V. 13. № 12. 1034.
8. Колосов Ю. А., Абонеев В. В., Немашкалов Г. П. Генетическая структура стада овец сальской породы, характеристика линий и возможности их использования для совершенствования мериносового овцеводства Ростовской области. Научно-практические рекомендации. Персиановский, 2023.
9. Колосов Ю. А., Абонеев В. В., Немашкалов Г. П., Обозненко И. С. Метод повышения сохранности и скорости роста молодняка овец. Научно-практические рекомендации. Персиановский, 2023.
10. Колосов Ю. А., Абонеев В. В., Юлдашбаев Ю. А., Приступа В. Н., Свиначев И. Ю., Нефёдова В. Н., Кононова Л. В. Частная зоотехния. 2023.
11. Абонеев В. В., Колосов Ю. А. Состояние племенных ресурсов овцеводства Российской Федерации и пути их совершенствования. Инновационные пути решения актуальных проблем АПК России: материалы всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Персиановский, 2023. С. 150-154.
12. Колосов Ю. А., Дегтярь А. С., Бахурец А. П. Использование скрещивания в товарном овцеводстве. Развитие животноводства – основа продовольственной безопасности: материалы Национальной конференции. Волгоград, 2023. С. 219-223.
13. Колосов Ю. А., Абонеев В. В., Куликова А. Я., Колосова Н. Н., Абонеева Е. В. Влияние интенсивности отбора и селекционного дифференциала на живую массу и настриг шерсти овец сальской породы. Овцы, козы, шерстяное дело. 2023. № 2. С. 3-7.

References

1. Aboneev V. V., Kolosov Yu. A. On the problems of preserving the breeding resources of Russian sheep breeding. Sheep, goats, wool business. 2020. No. 1. Pp. 43-45.
2. Kolosov Yu. A., Chamurliiev N. G., Degtyar A. S., Smorodin F. A. Meat productivity of sheep of various genotypes. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2022. No. 2 (66). Pp. 196-202.
3. Shperov A. S., Chamurliiev N. G., Shangerayev G. M., Abdulkhalikov A. M. Meat productivity and quality of meat of purebred and mongrel sheep. Proceedings Nizhnevolzhskiy Agro-university complex: Science and higher professional education. 2024. No. 3 (75). Pp. 250-257.
4. Kolosov Yu. A., Chamurliiev N. G., Shperov A. S. Topcrossing results in a herd of Salsk sheep. Proceedings Nizhnevolzhskiy Agro-university complex: Science and higher professional education. 2024. No. 1 (73). Pp. 157-163.
5. Kolosov Yu. A., Aboneev V. V. Transformation of scientific concepts of Professor N.V. Mikhailov for assessing the breeding value of merino sheep. Bulletin of the Don State Agrarian University. 2024. No. 3 (53). Pp. 42-46.
6. Fedorov V. Kh., Kolosov Yu. A. The scientific school of Professor N. V. Mikhailov and its new achievements. Bulletin of the Don State Agrarian University. 2024. No. 3 (53). Pp. 61-64.
7. Bakoev S., Getmantseva L., Kolosova M., Bakoev F., Kolosov A., Romanets E., Shevtsova V., Romanets T., Kolosov Yu., Usatov A. Identifying significant snps of the total number of piglets born and their relationship with leg bumps in pigs. Biology. 2024. Vol. 13. No. 12. P. 1034.
8. Kolosov Yu. A., Aboneev V. V., Nemashkalov G. P. Genetic structure of a flock of Salsk sheep, characteristics of lines and the possibility of their use to improve merino sheep breeding in the Rostov region. Scientific and practical recommendations. Persianovsky, 2023.
9. Kolosov Yu. A., Aboneev V. V., Nemashkalov G. P., Oboznenko I. S. Method of increasing the safety and growth rate of young sheep. Scientific and practical recommendations. Persianovsky, 2023.
10. Kolosov Yu. A., Aboneev V. V., Yuldashbaev Yu. A., Pripoda V. N., Svinarev I. Yu., Nefedova V. N., Kononova L. V. Private animal husbandry. 2023.

11. Aboneev V. V., Kolosov Yu. A. The state of sheep breeding resources in the Russian Federation and ways to improve them. Innovative ways to solve urgent problems of the Russian agro-industrial complex. Materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference. Persianovsky, 2023. Pp. 150-154.

12. Kolosov Yu. A., Degtyar A. S., Bakhurets A. P. The use of crossbreeding in commercial sheep breeding. The development of animal husbandry is the basis of food security. Materials of the National Conference. Volgograd, 2023. Pp. 219-223.

13. Kolosov Yu. A., Aboneev V. V., Kulikova A. Ya., Kolosova N. N., Aboneeva E. V. The effect of the intensity of selection and the breeding differential on the live weight and shearing of the wool of Salsk sheep. Sheep, goats, wool business. 2023. No 2. Pp. 3-7.

Информация об авторах

Колосов Юрий Анатольевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, Донской государственной аграрной университет (Российская Федерация, 346493, Ростовская область, Октябрьский район, поселок Персиановский, ул. Кривошлыкова, 24), ORCID: 0000-0002-6826-8009; e-mail: kolosov-dgau@mail.ru

Горлов Иван Фёдорович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, Заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), главный научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. им. М. Рокоссовского, 6), ORCID: 0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru

Сложенкина Марина Ивановна, член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, директор, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9542-5893>, e-mail: niimmp@mail.ru

Абонеев Василий Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник, Краснодарский НЦ по зоотехнии и ветеринарии (Российская Федерация, 350055, г. Краснодар, пос. Знаменский, ул. Превомойская, 4), ORSID <https://orcid.org/0000-0002-1946-1822>, e-mail: aboneev49@mail.ru

Куликова Анна Яковлевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии (Российская Федерация, 350055, г. Краснодар, пос. Знаменский, ул. Превомойская, 4), e-mail: skniig@yandex.ru

Кудинов Александр Александрович, аспирант, Донской государственной аграрной университет (Российская Федерация, 346493, Ростовская область, Октябрьский район, поселок Персиановский, ул. Кривошлыкова, 24).

Authors' Information

Kolosov Yuri Anatolyevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Don State Agrarian University (Russian Federation, 346493, Rostov region, Oktyabrsky district, village of Persianovsky, Krivoshlykova str., 24), e-mail: kolosov-dgau@mail.ru

Gorlov Ivan Fedorovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation, Head of the Department, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, Lenin Ave., 28), Chief Researcher, Volga Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, im. M. street 6 Rokossovsky Street), ORCID: 0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru

Slozhenkina Marina Ivanovna, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Director, Volga Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, im. M. street 6 Rokossovsky Street); Professor Departments, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, Lenin Ave., 28), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9542-5893>, e-mail: niimmp@mail.ru

Aboneev Vasily Vasilyevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher, Krasnodar Scientific Research Center for Animal Science and Veterinary Medicine (Russian Federation, 350055, Krasnodar, village Znamensky, Prevomayskaya St., 4), <https://orcid.org/0000-0002-1946-1822>, e-mail: aboneev49@mail.ru

Kulikova Anna Yakovlevna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher, Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Medicine (Russian Federation, 350055, Krasnodar, village Znamensky, Prevomayskaya St., 4), e-mail: skniig@yandex.ru

Kudinov Aleksandr Aleksandrovich, postgraduate student, Don State Agrarian University (Russian Federation, 346493, Rostov region, Oktyabrsky district, village of Persianovsky, Krivoshlykova str., 24).

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-32

THE GROWTH AND THE DEVELOPMENT OF THE YOUNG RAMS DEPENDING ON THEIR ORIGIN

Nikolaev D. V., Gorlov I. F., Merzlyakova A. V., Slozhenkina M. I.

*Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: niimmp@mail.ru

Received 15.11.2025

Submitted 15.12.2025

This work was supported by a grant from the Russian Science Foundation and the Government of Volgograd Region No. 25-26-20139.

Summary

In the context of growing demand for lamb, the search for and implementation of highly efficient methods to increase lamb production are becoming particularly important. As proven in this study, commercial crossbreeding of Edilbaevskaya breed ewes with Dorper breed rams demonstrates a significant superiority of the crossbred offspring in live weight and growth intensity compared to their purebred counterparts.

Abstract

Introduction. The primary challenge for the Russian agricultural sector is to ensure food security and supply the population with high-quality livestock products. Sheep farming, widely practiced in various Russian regions due to the hardiness and pasture-based management of sheep, plays a significant role in this regard. One of the most promising avenues for intensifying lamb production is commercial crossbreeding. In the Southern Federal District, the Edilbaevskaya and Volgograd sheep breeds, well-adapted to local conditions, demonstrate high potential. Crossbreeding them with rams of the Dorper meat breed, known for high fecundity and excellent meat characteristics, is a promising strategy for enhancing productivity. Therefore, the study of the growth and development of crossbred young stock obtained from crossing Edilbaevskaya ewes with Dorper rams is scientifically and practically justified. **The object** on studying the impact of commercial crossbreeding of Edilbaevskaya breed with Dorper breed sires on the growth and development of crossbred offspring. **Materials and methods.** The research was conducted at the private farm of A. V. Miroshnikov (with a livestock population of more than 200 heads), located in the Mikhaylovsky district of the Volgograd region, and involved 45 head of experimental ram lambs. Three groups of ram lambs, similar in age and live weight at birth, were formed for the experiment. The study lasted 210 days. **Results and conclusion.** The crossbred ram lambs demonstrated a significant difference in live weight compared to their purebred peers: at 5 months, it was higher by 2.57 % and 10.85 %, and at 8 months – by 8.88 % and 9.55 %. The hybrids also surpassed their purebred counterparts in absolute gain: at 5 months – by 12.45 % and 10.72 %; at 8 months – by 9.51 % and 9.29 %; and in average daily gain: at 5 months – by 12.45 % and 10.70 %; at 8 months – by 9.53 % and 9.31 %, respectively. The study of body measurement parameters revealed that at 4 and 7 months, the crossbred animals had an advantage in almost all indicators.

Keywords: sheep breeds, Edilbaevskaya sheep breed, Dorper breed, sheep, crossbred sheep, purebred analogues, live weight of sheep, measurements of the physique of sheep, industrial sheep crossing.

Citation. Nikolaev D. V., Gorlov I. F., Merzlyakova A. V., Slozhenkina M. I. The growth and the development of the young rams depending on their origin. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 309-316 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-32.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 636.3.052

РОСТ И РАЗВИТИЕ БАРАНЧИКОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Николаев Д. В., доктор сельскохозяйственных наук

Горлов И. Ф., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН

Мерзлякова А. В., младший научный сотрудник

Сложенкина М. И., доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН

*Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции
г. Волгоград, Российская Федерация*

Работа выполнена в рамках Гранта РНФ и Волгоградской области № 25-26-20139.

Актуальность. В условиях растущего спроса на баранину особую важность приобретает поиск и внедрение высокоэффективных методов увеличения производства баранины. Промышленное скрещивание маток эдильбаевской породы с баранами породы дорпер, как доказано в работе, показывают значительное превосходство помесного молодняка по живой массе и интенсивности роста по сравнению с чистопородными аналогами. **Цель исследования** заключалась в изучении влияния промышленного скрещивания маток эдильбаевской породы с баранами-производителями породы дорпер на рост и развитие помесного молодняка. **Материалы и методы.** Исследования проводились на базе личного подсобного хозяйства Мирошкина А. В. (с поголовьем более 200 голов), расположенного в Михайловском районе Волгоградской области на 45 головах подопытных баранчиков. Для эксперимента было сформировано 3 группы баранчиков, которые при рождении имели аналогичные возраст и живую массу. Продолжительность опыта составила 210 дней. **Результаты и выводы.** Помесные баранчики демонстрируют значительную разницу в живой массе в сравнении с чистопородными сверстниками: в 5 месяцев на 2,57 и 10,85 %, 8 месяцев – на 8,88 и 9,55 %. Гибриды также превосходят чистопородных аналогов по абсолютному приросту: в 5 месяцев – на 12,45 и 10,72 %; в 8 месяцев – на 9,51 и 9,29 %; по среднесуточному приросту в 5 месяцев – на 12,45 и 10,70 %; в 8 месяцев – на 9,53 и 9,31 % соответственно. Изучение параметров статей телосложения выявило, что практически по всем показателям в 4 и 7 месяцев установлено преимущество помесных животных. Всё вышеизложенное позволяет нам сделать вывод о высокой эффективности промышленного скрещивания эдильбаевской породы с породой дорпер в целях увеличения производства баранины.

Ключевые слова: породы овец, эдильбаевская порода овец, порода дорпер, баранчики, помесные баранчики, чистопородные аналоги, живая масса баранчиков, промеры телосложения баранчиков, промышленное скрещивание овец.

Цитирование. Николаев Д. В., Горлов И. Ф., Мерзлякова А. В., Сложенкина М. И. Рост и развитие баранчиков в зависимости от происхождения. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 309-316. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-32.

Авторский вклад. Все авторы принимали участие в подготовке, проведении исследования и анализе его результатов. Представленный вариант статьи согласован со всеми авторами.

Конфликт интересов. Все авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Введение. На сегодняшний день ключевой проблемой, стоящей перед агропромышленным комплексом России, является обеспечение населения не только высококачественной конкурентоспособной продукцией животного происхождения, но и, что не менее важно, надежной продовольственной безопасности. Это является важнейшим фактором для решения задач, поставленных правительством РФ в распоряжении № 1364-р от 29 июня 2016 года «Об утверждении Стратегии повышения качества пищевой продукции РФ до 2030 года» [1-3].

Широкое распространение овцеводческой отрасли по территории РФ, особенно на Северном Кавказе, в Нижнем Поволжье, Южной Сибири, Среднем Поволжье и некоторым другим регионам, обусловлено выгодными хозяйственно биологическими особенностями овец: неприхотливостью в содержании и кормлении, относительно высокой многоплодностью, способностью быстро набирать живую массу на пастбищном нагуле. Традиционная технология производства баранины обладает низкой себестоимостью, являющейся следствием практически круглогодочного использования пастбищного нагула животных [4]. Поиск путей повышения интенсификации производства баранины является приоритетным направлением развития овцеводства [5-7].

Среди овец, выращиваемых в ЮФО, выделяются животные эдильбаевской курдючной и волгоградской мясошерстной пород. Эти животные хорошо приспособлены к резко континентальному климату, способны переносить резкие перепады температур, скудная растительность пастбищного корма способна удовлетворить их потребность в еде.

Увеличения производства баранины можно добиться с помощью такого селекционного приема, как скрещивание. При изучении имеющихся сведений о высокопродуктивных овцах выбор пал на овец породы дорпер, которые обладают высоким мясным потенциалом, а также многоплодием: на 100 маток можно получить более 225 ягнят. В настоящее время в овцеводческой отрасли наметилась тенденция в реализации баранчиков 4 и 7-месячного возраста. Известно, что наиболее высокий уровень продуктивности отмечается у помесных животных по сравнению с чистопородными аналогами [8, 9].

Динамика увеличения приростов живой массы подопытных животных оказывает влияние на изменение параметров телосложения помесных животных в сравнении с чистопородными, что является весьма интересным с научной точки зрения [9-12].

Таким образом изучение влияния промышленного скрещивания маток эдильбаевской породы с баранами-производителями породы дорпер на рост и развитие помесного молодняка весьма перспективно.

Цель исследований изучение влияния промышленного скрещивания маток эдильбаевской породы с баранами-производителями породы дорпер на рост и развитие помесного молодняка в сравнительном аспекте.

Объект и методы исследования. Экспериментальные исследования проводили на базе личного подсобного хозяйства Мирошкина А. В. (с поголовьем более 200 голов), расположенного в Михайловском районе Волгоградской области на 45 головах подопытных баранчиков. Для эксперимента было сформировано 3 группы баранчиков, которые при рождении имели аналогичные возраст и живую массу: в I группу вошли баранчики чистопородной эдильбаевской породы (контрольная группа); во II группу – их сверстники (с кровностью $\frac{1}{2}$ эдильбаевской породы и $\frac{1}{2}$ породы дорпер); в III группу вошли баранчики с кровностью $\frac{1}{4}$ эдильбаевской породы и $\frac{3}{4}$ породы дорпер.

Продолжительность опыта составила 210 дней.

Уровень кормления баранчиков и условия содержания были аналогичными для подопытных групп.

Живую массу баранчиков определяли индивидуально на электронных весах с точностью до 0,5 кг, утром до кормления, предубойную массу – после голодной выдержки в течение 24 часов.

Параметры телосложения подопытного молодняка изучали на основании проведения индивидуальной бонитировки баранчиков 5- и 8-месячного возраста, согласно имеющимся рекомендациям.

Экспериментальный цифровой материал обрабатывали методами вариационной статистики по Плохинскому Н. А. (1970) на ПК с использованием программного обеспечения Microsoft Office и определением критерия достоверности по Стьюденту-Фишеру.

Результаты и обсуждение. Общеизвестны стандартные сроки выращивания овец до 4 и 7 месячного возраста. Поэтому в наших исследованиях мы придерживались такой технологии.

Живая масса баранчиков при рождении между подопытными группами варьировала незначительно (таблица 1).

Таблица 1 – Живая масса подопытного молодняка, кг (n=15)
Table 1 – Live weight of the experimental young stock, kg (n=15)

Показатель / Parameters	Группа / Group		
	Контрольная / Control group	I опытная / Experimental group I	II опытная / Experimental group II
Живая масса при рождении, кг / Live weight at birth, kg	5,31 ± 0,32	5,45 ± 0,43	4,79 ± 0,38
Живая масса в 5 мес, кг / Live weight at 5 months of age, kg	43,29 ± 0,34	48,83 ± 0,37***	43,53 ± 0,35
Абсолютный прирост живой массы от 0 до 5 мес, кг / Absolute live weight gain from 0 to 5 months, kg	37,98 ± 0,22	43,38 ± 0,24***	38,74 ± 0,25*
Среднесуточный прирост живой массы от 0 до 5 мес, г / Average daily gain of live weight from 0 to 5 months, g	253,2 ± 0,29	289,2 ± 0,31***	258,2 ± 0,33***
Живая масса в 8 мес, кг / Live weight at 8 months of age, kg	54,76 ± 0,36	60,10 ± 0,42***	54,36 ± 0,40
Абсолютный прирост живой массы от 0 до 8 месяцев, кг / Absolute live weight gain from 0 to 8 months, kg	49,45 ± 0,34	54,65 ± 0,37***	49,57 ± 0,39
Среднесуточный прирост живой массы от 0 до 8 мес, г / Average daily gain of live weight from 0 to 8 months, g	206,0 ± 0,35	227,7 ± 0,40***	206,5 ± 0,38

Как видно из данных, представленных в таблице 1, полукровные животные I опытной группы имеют преимущество по сравнению со сверстниками контрольной и II опытной групп по живой массе в возрасте 5 месяцев на 5,54 кг, или 2,57 % ($P \geq 0,999$), и 5,30 кг, или 10,85 % ($P \geq 0,999$); абсолютному приросту в диапазоне от рождения до 5 месяцев – на 5,40 кг, или 12,45 % ($P \geq 0,999$), и 4,64 кг, или 10,70 % ($P \geq 0,95$); среднесуточному приросту в диапазоне от рождения до 5 месяцев – на 36,00 г, или 12,45 % ($P \geq 0,999$), и 31,00 г, или 10,72 % ($P \geq 0,999$); живой массе в возрасте 8 месяцев – на 5,34 кг, или 8,88 % ($P \geq 0,999$), и 5,74 кг, или 9,55 %; абсолютному приросту в диапазоне от рождения до 8 месяцев – на 5,20 кг, или 9,51 % ($P \geq 0,999$), и 5,08 кг, или 9,29 % ($P \geq 0,999$); среднесуточному приросту в диапазоне от 0 до 8 месяцев – на 21,7 г, или 9,53 % ($P \geq 0,999$), и 21,2 г, или 9,31 % ($P \geq 0,999$) соответственно.

Вместе с этим животные II опытной группы имели преимущество перед чистопородными сверстниками в возрасте 5 месяцев по живой массе на 0,24 кг, или 0,55 %; абсолютному приросту в диапазоне от 0 до 5 месяцев – на 0,76 кг, или 2,00 % ($P \geq 0,95$); среднесуточному приросту в диапазоне от 0 до 5 месяцев – на 5,00 г, или 1,97 % ($P \geq 0,999$); абсолютному приросту живой массы в диапазоне от 0 до 8 месяцев – на 0,12 кг, или 0,24 %; среднесуточному приросту живой массы в диапазоне от 0 до 8 месяцев – на 0,5 г, или 0,24 % соответственно.

Как известно, высокой энергией роста обладают полукровные животные, что выражается в высоком наборе живой массы к 5- и 7-месячному возрасту. Они превосходят по всем изучаемым показателям своих чистопородных сверстников и животных с кровностью $\frac{1}{4}$ эдильбаевской и $\frac{3}{4}$ дорпер. Замедление темпов роста у животных с кровностью $\frac{1}{4}$ эдильбаевской и $\frac{3}{4}$ дорпер мы связываем с большим расщеплением генотипа за счет влияния крови породы дорпер, которое оказало отрицательное воздействие на динамику живой массы в изучаемые периоды.

Более ранними исследованиями отмечалось, что увеличение живой массы сопровождается ростом показателей статей телосложения. Поэтому в наших исследованиях мы решили изучить стати телосложения подопытных баранчиков.

Промеры телосложения подопытного поголовья баранчиков снимали в возрасте 5 и 8 месяцев (таблица 2). При проведении бонитировки особо отмечали, что чистопородные баранчики эдильбаевской породы были черной масти.

Таблица 2 – Промеры телосложения баранчиков, см
Table 2 – Body measurements of young rams, cm

Показатель / Parameters	Группа / Group		
	Контрольная / Control group	I опытная / Experimental group I	II опытная / Experimental group II
Баранчики 4 месяца / Four-month-old rams			
Высота в холке, см / Height at withers	59,6 ± 0,46	62,31 ± 0,21**	60,53 ± 0,38
Высота в крестце, см / Height at rumps, cm	60,17 ± 0,35	63,14 ± 0,22***	62,34 ± 0,33**
Косая длина туловища, см / Oblique body length, cm	64,37 ± 0,31	66,36 ± 0,29***	65,15 ± 0,35
Глубина груди, см / Chest depth, cm	25,24 ± 0,24	26,8 ± 0,32***	26,13 ± 0,36
Ширина груди, см / Chest width, cm	17,94 ± 0,19	18,54 ± 0,22*	18,22 ± 0,26
Ширина в маклоках, см / Width in of femur, cm	18,2 ± 0,15	18,4 ± 0,14	18,20 ± 0,17
Обхват груди, см / Girth circumference, cm	76,83 ± 0,46	78,52 ± 0,28**	77,14 ± 0,39
Обхват пясти, см / Girth cannon, cm	8,8 ± 0,06	8,8 ± 0,07	8,8 ± 0,05
Баранчики 7 месяцев / Seven-month-old rams			
Высота в холке, см / Height at withers	64,7 ± 0,34	67,35 ± 0,21**	65,26 ± 0,29
Высота в крестце, см / Height at rumps, cm	65,67 ± 0,23	68,64 ± 0,22**	66,46 ± 0,24
Косая длина туловища, см / Oblique body length, cm	69,25 ± 0,39	71,46 ± 0,35*	70,64 ± 0,41
Глубина груди, см / Chest depth, cm	27,86 ± 0,28	28,65 ± 0,31	28,19 ± 0,36
Ширина груди, см / Chest width, cm	19,24 ± 0,26	21,23 ± 0,25*	20,4 ± 0,28
Ширина в маклоках, см / Width in of femur, cm	18,94 ± 0,23	19,41 ± 0,26	19,15 ± 0,22
Обхват груди, см / Girth circumference, cm	83,68 ± 0,43	86,52 ± 0,28**	84,12 ± 0,37
Обхват пясти, см / Girth cannon, cm	9,10 ± 0,08	9,30 ± 0,07	9,16 ± 0,06

Изучение статей телосложения подопытного молодняка показало, что помесные баранчики (опытная группа) превосходят своих сверстников контрольной и II опытной групп в 4-месячном возрасте по высоте в холке на 2,71 см, или 4,35 % ($P \geq 0,999$) и 1,78 см, или 2,85 % ($P \geq 0,95$); по высоте в крестце – на 2,97 см, или на 4,70 % ($P \geq 0,999$) и 0,8 см, или 1,27 %; по косой длине туловища – на 1,99 см, или 3,0 % ($P \geq 0,999$) и 1,21 см, или 1,82 %; по глубине груди – на 1,56 см, или на 5,82 % ($P \geq 0,999$) и 0,67 см, или 2,5 %; по ширине груди – на 0,60 см, или на 3,24 % и 0,32 см, или 1,73 % соответственно. По остальным показателям, кроме обхвата пясти, также было выявлено преимущество помесных баранчиков.

К 7-месячному возрасту преимущество помесных баранчиков по статьям телосложения увеличилось. По высоте в холке они превосходили своих чистопородных аналогов на 2,65 см, или 3,93 % ($P \geq 0,99$) и 2,09 см, или 3,10 %; по высоте в крестце – на 2,97 см, или на 4,33 % ($P \geq 0,999$) и 2,18 см, или 3,18 % ($P \geq 0,99$); по косой длине туловища – на 2,21 см, или 3,09 % ($P \geq 0,95$) и 0,82 см, или 1,15 %; по ширине груди – на 1,99 см, или на 9,37 % ($P \geq 0,99$) и 0,83 см, или 3,91 % ($P \geq 0,95$); по обхвату груди – на 2,84 см, или на 3,28 % ($P \geq 0,99$) и 2,40 см, или 2,77 % ($P \geq 0,99$) соответственно. По остальным изучаемым показателям помесные баранчики имели незначительное преимущество.

Значительные различия по показателям статей телосложения должны сказаться и на расчете индексов телосложения подопытных животных (рисунки 1 и 2).

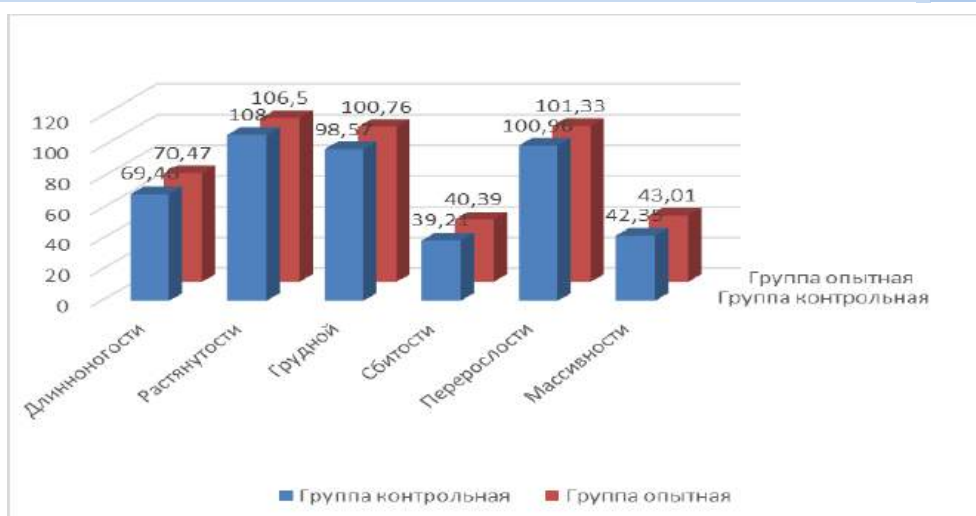


Рисунок 1 – Индексы телосложения подопытных баранчиков в возрасте 4 месяцев, %
Figure 1 – Conformation indices of the experimental young rams at 4 months of age, %

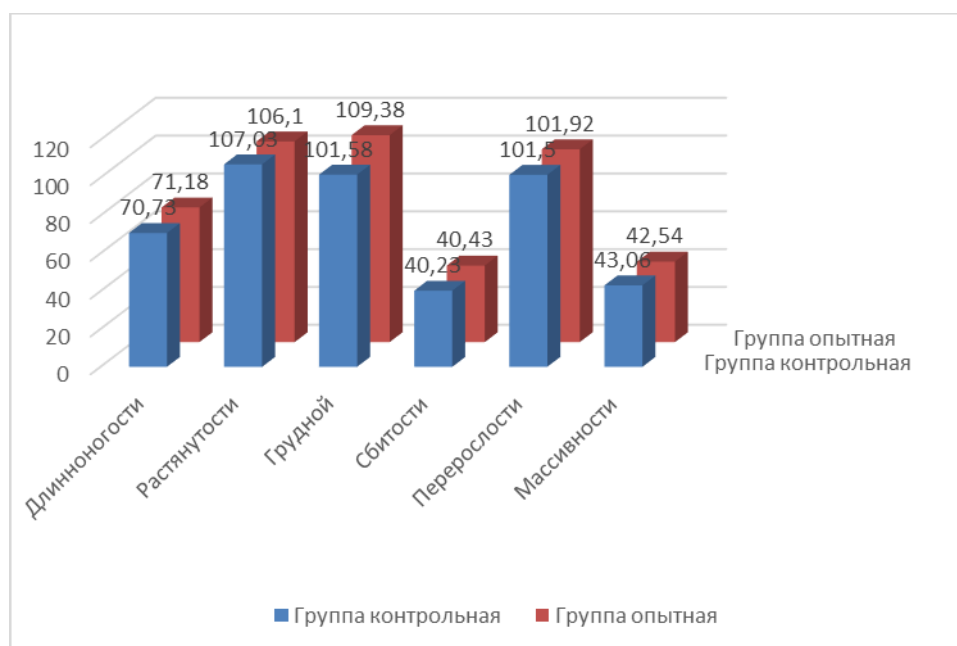


Рисунок 2 – Индексы телосложения подопытных баранчиков в возрасте 7 месяцев, %
Figure 2 – Conformation indices of the experimental young rams at 7 months of age, %

Из данных, представленных на рисунках 1 и 2 видно, что животные контрольной группы сложены более гармонично. Однако наблюдается незначительное преимущество животных опытной группы по грудному индексу и индексу массивности на 6,8 и 0,20 % по сравнению с контрольной группой.

Заключение. Применение промышленного скрещивания маток эдильбаевской породы с баранами породы дорпер позволило их помесям значительно набрать живую массу в 5 месяцев на 2,57 и 10,85 %, 8 месяцев – на 8,88 и 9,55 % по сравнению с чистопородными аналогами. Они также превосходили своих чистопородных аналогов по абсолютному приросту живой массы в 5 месяцев – на 12,45 и 10,72 %; в 8 месяцев – на 9,51 и 9,29 %; по среднесуточному приросту в 5 месяцев – на 12,45 и 10,70 %; в 8 месяцев – на 9,53 и 9,31 % соответственно. Изучение параметров статей телосложения выявило, что практически по всем показателям в 4 и 7 месяцев установлено преимущество помесных животных.

Всё вышеизложенное позволяет нам сделать вывод о высокой эффективности промышленного скрещивания эдильбаевской породы с породой дорпер в целях увеличения производства баранины.

Conclusion. The use of industrial crossing of queens of the Edilbaevskaya breed with sheep of the Dorper breed allows their crossbreeds to significantly gain live weight at 5 months by 2.57 and 10.85 %, 8 months – by 8.88 and 9.55 % compared with purebred counterparts. They also surpassed their purebred counterparts in terms of absolute weight gain in 5 months – by 12.45 and 10.72 %; 8 months – by 9.51 and 9.29 %; average daily weight gain in 5 months – by 12.45 and 10.70 %; 8 months – by 9.53 and 9.31 %, respectively. A study of the parameters of their physique revealed that in almost all indicators, at 4 and 7 months, the advantage of mongrel animals was established. All of the above allows us to conclude that the industrial crossing of the Edilbaevskaya breed with the Dorper breed is highly efficient in order to increase mutton production.

Библиографический список

1. Врублевская В. В., Мамаева А. И. Оценка состояния мясного рынка и воспроизводственного процесса в условиях обеспечения продовольственной безопасности. Статистика и экономика. 2022. Т. 19. № 6. С. 21-27.
2. Борисова О. В. Социально-экономическое и инновационно-технологическое развитие пищевой промышленности Сибири. Россия: тенденции и перспективы развития: материалы XX Национальной научной конференции с международным участием. Москва: Институт научной информации по общественным наукам РАН, 2021. Т. 16. Часть 1. С. 301-305.
3. Бостанджян К. Р. Анализ современного состояния системы продовольственной безопасности в Российской Федерации. Экономика, предпринимательство и право. 2021. Том 11. № 11. С. 2589-2606.
4. Кузьмин В. Н., Маринченко Т. Е., Кузьмина Т. Н. Опыт промышленного овцеводства в России. Техника и технологии в животноводстве. 2021. № 4 (44). С. 119-126.
5. Церенов И. В. и др. Перспективы индустриализации овцеводства России. Индустриальная экономика. 2022. Т. 2. № 4. С. 190-196.
6. Гаглоев А. Ч., Щугорева Т. Э., Мусаев Ф. А. Повышение мясной продуктивности цыгайских овец. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2023. № 1. С. 122-129.
7. Абонеев В. В. и др. Селекционные, биотехнологические и организационно-экономические аспекты повышения конкурентоспособности животноводства России. Персиановский: Донской государственный аграрный университет, 2025. 166 с.
8. Никонова Е. А. и др. Эффективность выращивания чистопородных и помесных баранчиков. Вестник Ошского государственного университета. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния. 2023. № 4. С. 164-170.
9. Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Shakhbazova O. P., Radzhabov R. G., Ivanova N. V., Anisimova E. Yu., Knyazhechenko O. A. Meat productivity and interior features of the different genotypes of the rams Edilbaevskaya breed. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 548. Article number: 82083.
10. Гаглоев А. Ч., Негреева А. Н. Формирование мясной продуктивности у чистопородных и помесных баранчиков. Приоритетные векторы развития промышленности и сельского хозяйства: материалы международной научно-практической конференции. Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2018. Т. 1. С. 25-29.
11. Гаглоев А. Ч. и др. Рост и развитие чистопородных баранчиков породы прекос и их помесей с кутумской породой. Наука и образование. 2022. Т. 5. № 1. С. 91.
12. Церенов И. В. и др. Экстерьерные и продуктивные особенности баранчиков калмыцкой курдючной породы нового типа. Овцы, козы, шерстяное дело. 2023. № 1. С. 3-6.

References

1. Vrublevskaya V. V., Mamaeva A. I. Assessment of the State of the Meat Market and the Reproductive Process in Terms of Ensuring Food Security. Statistics and Economics. 2022. No 19 (6). Pp. 21-27.
2. Borisova, O. V. Socio-economic and innovative-technological development of the food industry in Siberia. Russia: Trends and Prospects of Development: Materials of the XX National Scientific Conference with International Participation. Moscow: Institute of Scientific Information for Social Sciences of the Russian Academy of Sciences, 2021. V. 16. Part 1. Pp. 301-305.
3. Bostanjyan K. R. Analysis of the current state of the food security system in the Russian Federation. Economics, entrepreneurship and law. 2021. V. 11. No. 11. Pp. 2589-2606.
4. Kuzmin V. N., Marinchenko T. E., Kuzmina T. N. Experience of industrial sheep breeding in Russia. Machinery and technologies in animal husbandry. 2021. No. 4 (44). Pp. 119-126.
5. Tserenov I. V. et al. Prospects of industrialization of sheep breeding in Russia. Industrial economy. 2022. V. 2. No. 4. Pp. 190-196.
6. Gagloev A. Ch., Shchugoreva T. E., Musaev F. A. Increasing meat productivity of Qigai sheep. Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex – healthy food products. 2023. No. 1. Pp. 122-129.
7. Aboneev V. V. et al. Breeding, biotechnological, organizational and economic aspects of increasing the competitiveness of Russian livestock production. Persianovsky: Don State Agrarian University, 2025. 166 p.
8. Nikonova E. A. et al. The effectiveness of breeding purebred and mixed sheep. Bulletin of Osh State University. Agriculture: agronomy, veterinary and animal science. 2023. No. 4. Pp. 164-170.
9. Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Shakhbazova O. P., Radzhabov R. G., Ivanova N. V., Anisimova E. Yu., Knyazhechenko O. A. Meat productivity and interior features of the different genotypes of the rams Edilbaevskaya breed. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 548. Article number: 82083.
10. Gagloev A. Ch., Negreeva A. N. Formation of meat productivity in purebred and mongrel sheep. Priority vectors of industrial and agricultural development: proceedings of the international scientific and practical conference. Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, 2018. Vol. 1. Pp. 25-29.
11. Gagloev A. Ch. et al. The growth and development of purebred sheep of the Precos breed and their hybrids with the Kutum breed. Science and education. 2022. Vol. 5. No. 1. P. 91.
12. Tserenov I. V. et al. Exterior and productive features of Kalmyk chicken sheep of a new type. Sheep, goats, wool business. 2023. No. 1. Pp. 3-6.

Информация об авторах

Николаев Дмитрий Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID orcid.org/0000-0001-9283-5299, e-mail: dmitriynikolaev1978@yandex.ru

Горлов Иван Федорович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, научный руководитель, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID orcid.org/0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru

Мерзлякова Анастасия Витальевна, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID orcid.org/0009-0005-7256-9460, e-mail: zootexniki@yandex.ru

Сложенкина Марина Ивановна, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9542-5893>, e-mail: niimmp@mail.ru

Authors' Information

Nikolaev Dmitriy Vladimirovich, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-And-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky str., 6), ORCID: orcid.org/0000-0001-9283-5299, e-mail: dmitriynikolaev1978@yandex.ru

Gorlov Ivan Fedorovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-And-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky str., 6), Head of the Department, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), ORCID: orcid.org/0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru

Merzlyakova Anastasia Vitalievna, Junior Research Assistant, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-And-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky str., 6), ORCID: orcid.org/0009-0005-7256-9460, e-mail: zootexniki@yandex.ru

Slozhenkina Marina Ivanovna, Dr. Sci. (Biology), Professor, Correspondent Member of RAS, Director, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production; 400066, Volgograd, Rokossovsky st. 6; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9542-5893>, e-mail: niimmp@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-33

THE SEASONAL CHANGES IN THE MORPHOLOGICAL COMPOSITION OF THE GOAT BLOOD OF DIFFERENT PRODUCTIVITY**Kharlamov A. V., Panin V. A.***Federal Research Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences
Orenburg, Russian Federation*Corresponding author E-mail: oniish@yandex.ru

Received 17.11.2025

Submitted 12.12.2025

The presented study is part of a comprehensive research project planned to be implemented in the period from 2024 to 2026 by the Federal State Budgetary Scientific Research Center of the BST RAS (No. NEWS-2024-0001).

Abstract

Introduction. Down goat breeding in the Orenburg region is a promising industry specializing in the production of a wide range of products, with down being the main exceptional and rare commodity. In this paper, an analysis of the seasonal dynamics of the qualitative characteristics of the morphological composition of the blood of Orenburg breed goats of different productivity is carried out. The need for research is due to the key role of indicators of the morphological composition of goat blood in maintaining the physiological processes of their body. Research aimed at studying seasonal changes in the morphological composition of the blood of downy goats in connection with their productivity is an urgent and important area of scientific research. The objectives of this study were to establish the relationship between the indicators of down production in Orenburg breed goats and the seasonal dynamics of the morphological composition of blood in their body. **The object** of the survey was the morphological composition of the blood of Orenburg breed goats and their productivity level. **Materials and methods.** The present study was implemented during the scientific work of the Federal State Budgetary Scientific Institution "FNC BST of the Russian Academy of Sciences" for 2024-2026, registration number FNWZ-2024-0001. The experimental part of the work was carried out on animals of the agricultural enterprise of the Donskoy collective farm, located in the farmlands of Orenburg region. To conduct the study, groups I (highly productive) and II (low-productive) were formed. During the survey, the following indicators were determined: the volume of the collected fluff; the fineness and length of the fluff fibers; morphological parameters of the blood composition of experimental individuals in different months of the seasons. The material and technical base of the Public Use Center of the Federal State Budgetary Institution "BST RAS", accredited for testing, was used in the study (accreditation certificate no. RA.RU.NPF 59 dated 02.12.2015). The equipment used for analytical surveys meets the requirements of GOST R 8.568-2017. **Results and conclusions.** Diagnostics of productivity indicators revealed the existing differences between highly productive (I) and low-productive (II) goat groups. The average hair of high-yielding goats (311.6 g) significantly exceeds this indicator of low-yielding goats (214.4 g). During

the study, it was found that in the winter months, the concentration of leukocytes (WBC) in goats of group I was statistically significantly higher than in group II. The difference was $1.19 \times 10^9/l$ or 8.69 %. At the same time, a higher concentration of neutrophils (Neu) by $0.13 \times 10^9/l$ (3.07 %) and lymphocytes (Lym) by $1.39 \times 10^9/l$ (17.31 %) was observed in the blood of goats of group II. Group I goats had an increased concentration of monocytes (Mon) by $0.08 \times 10^9/l$ (20.51 %) and eosinophils (Eos) by $0.07 \times 10^9/l$ (20.0 %). Basophils (Bas) were present in higher concentrations in goats of group II (by $0.02 \times 10^9/l$ or 28.57 %). The hemoglobin (HGB) level in group I goats was higher by 3.9 g/l (3.97 %), and the concentration of erythrocytes (RBC) was higher by $0.40 \times 10^{12}/l$ (4.34 %). A similar trend was observed in the spring period. Leukocytes in group I goats remained more concentrated (by $1.11 \times 10^9/l$ or 8.07 %). However, during this period, the concentration of neutrophils in goats of group II was higher by $0.19 \times 10^9/l$ (3.54 %), and lymphocytes – by $1.14 \times 10^9/l$ (13.94 %). Group I goats continued to have higher concentrations of monocytes (by $0.07 \times 10^9/l$ or 15.91 %) and eosinophils (by $0.12 \times 10^9/l$ or 25.53 %). At the same time, the goats of group II had a higher concentration of basophils (by $0.02 \times 10^9/l$ or 25.00 %). The concentration of hemoglobin in group I goats was higher by 3.0 g/l (3.22 %), and red blood cells – by $0.34 \times 10^{12}/l$ (3.72 %). Analysis of the content of blood cell elements in goats in summer and autumn showed that in summer, the concentration of leukocytes in animals of group I ($13.98 \times 10^9/l$) was statistically irrefutably higher than in animals of group II by 7.58 %. At the same time, group II goats had a higher concentration of neutrophils (by 8.23 %), lymphocytes (by 6.30 %) and eosinophils (by 17.78 %), as well as basophils (by 22.22 %). The predominance of monocytes was noted in goats of group I (by 8.57 %). A similar trend continued in the autumn period. The leukocyte formula in group I animals remained 7.44 % higher, but the difference in the concentration of neutrophils and lymphocytes between the groups was less pronounced. At the same time, the advantage of goats of group II in terms of the content of eosinophils and basophils increased. In both study periods, higher concentrations of hemoglobin and red blood cells were observed in group I goats, indicating a higher level of blood oxygen capacity. Blood, as a biological marker, reflects the intensity of metabolic processes in the body. Despite the relative stability of the morphological composition of blood throughout the year, it reflects all the changes occurring in the body. Morphofunctional blood parameters are individual and depend on the level of productivity of the animal. Statistically significant differences in morphological parameters are observed in different seasons of the year, which correlates with productivity indicators and allows them to be predicted based on a blood test.

Keywords: goat breeding, Orenburgskaya goat breed, goat productivity, goat blood counts, goat breeding, downy goats.

Citation. Kharlamov A. V., Panin V. A. The seasonal changes in the morphological composition of the goat blood of different productivity. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 316-328 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-33.

Authors' contribution. All the authors of this study were directly involved in the planning, execution or analysis of this study. All the authors of this article have read and approved the presentation.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 636.39:612.11(470.56)

СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА КРОВИ КОЗ РАЗНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ

Харламов А. В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Панин В. А., кандидат сельскохозяйственных наук

ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук»
г. Оренбург, Российская Федерация

Предоставленное исследование является частью комплексной научно-исследовательской работы, планируемой к реализации в период с 2024 по 2026 годы ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ FNWZ-2024-0001).

Актуальность. Пуховое козоводство в Оренбургском регионе представляет собой многообещающую отрасль, специализирующуюся на производстве широкого ассортимента продукции, при этом пух является основным исключительным и раритетным товаром. В данной работе проведен анализ сезонной динамики качественных характеристик морфологического состава крови коз оренбургской породы разной продуктивности. Необходимость исследования обусловлена ключевой ролью показателей морфологического состава крови коз в поддержании физиологических процессов их организма. Исследования, направленные на изучение сезонных изменений морфологического состава крови пуховых коз в связи с их продуктивностью, являются актуальной и важной областью научных исследований. Целями данного исследования было установление зависимости между показателями пуховой продукции у коз оренбургской породы и сезонной динамикой морфологического состава крови в их организме. **Объектом** обследования были показатели морфологического состава крови коз оренбургской породы и уровень их продуктивности. **Материалы и методы.** Настоящее исследование реализовано в ходе выполнения научной работы Федерального государственного

бюджетного научного учреждения «ФНЦ БСТ Российской академии наук» на 2024-2026 годы, регистрационный номер FNWZ-2024-0001. Экспериментальная часть работы была проведена на животноводческом предприятии колхоза «Донский», расположенного в сельхозугодьях Оренбуржья. Для проведения исследования были сформированы две группы I (высокопродуктивная) и II (низкопродуктивная). В ходе изыскания были определены следующие показатели: объем собранного пуха; тонкость и длина волокон пуха; морфологические показатели состава крови подопытных особей в разные месяцы сезонов года. В осуществленном исследовании применялась материально-техническая база Центра общего пользования ФГБУ "БСТ РАН", аккредитованного на проведение испытаний (аттестат аккредитации № RA.RU.НПФ 59 от 02.12.2015 г.). Употребляемое для аналитических изысканий оборудование отвечает требованиям ГОСТ Р 8.568-2017. **Результаты и выводы.** Диагностика показателей продуктивности вскрыла имеющиеся различия между высокопродуктивными (I) и низкопродуктивными (II) группами коз. Средний начес от высокопродуктивных коз (311,6 г) в значительной мере превосходит этот показатель низкопродуктивных коз (214,4 г). В ходе исследования было установлено, что в зимние месяцы концентрация лейкоцитов (WBC) у коз I группы была статистически значимо выше по сравнению со II группой. Разница составила $1,19 \times 10^9/\text{л}$ или 8,69 %. При этом, в крови коз II группы наблюдалась более высокая концентрация нейтрофилов (Neu) на $0,13 \times 10^9/\text{л}$ (3,07 %) и лимфоцитов (Lym) на $1,39 \times 10^9/\text{л}$ (17,31 %). У коз I группы отмечалась повышенная концентрация моноцитов (Mon) на $0,08 \times 10^9/\text{л}$ (20,51 %) и эозинофилов (Eos) на $0,07 \times 10^9/\text{л}$ (20,0 %). Базофилы (Bas) были представлены в большей концентрации у коз II группы (на $0,02 \times 10^9/\text{л}$ или 28,57 %). Уровень гемоглобина (HGB) у коз I группы был выше на 3,9 г/л (3,97 %), а концентрация эритроцитов (RBC) – на $0,40 \times 10^{12}/\text{л}$ (4,34 %). В весенний период наблюдалась аналогичная тенденция. Лейкоциты у коз I группы оставались более концентрированными (на $1,11 \times 10^9/\text{л}$ или 8,07 %). Однако, в этот период концентрация нейтрофилов у коз II группы была выше на $0,19 \times 10^9/\text{л}$ (3,54 %), а лимфоцитов – на $1,14 \times 10^9/\text{л}$ (13,94 %). У коз I группы по-прежнему наблюдалась более высокая концентрация моноцитов (на $0,07 \times 10^9/\text{л}$ или 15,91 %) и эозинофилов (на $0,12 \times 10^9/\text{л}$ или 25,53 %). В то же время, у коз II группы оставалась более высокая концентрация базофилов (на $0,02 \times 10^9/\text{л}$ или 25,00 %). Концентрация гемоглобина у коз I группы была выше на 3,0 г/л (3,22 %), а эритроцитов – на $0,34 \times 10^{12}/\text{л}$ (3,72 %). Анализ содержания клеточных элементов крови у коз в летний и осенний периоды показал, что в летний период концентрация лейкоцитов у животных I группы ($13,98 \times 10^9/\text{л}$) была статистически неопровержимо выше, чем у животных II группы на 7,58 %. При этом у коз II группы наблюдалась более высокая концентрация нейтрофилов (на 8,23 %), лимфоцитов (на 6,30 %) и эозинофилов (на 17,78 %), а также базофилов (на 22,22 %). У коз I группы отмечалось преобладание моноцитов (на 8,57 %). Аналогичная тенденция сохранялась и в осенний период. Лейкоцитарная формула у животных I группы оставалась выше на 7,44 %, но при этом разница в концентрации нейтрофилов и лимфоцитов между группами была менее выраженной. В то же время, преимущество коз II группы по содержанию эозинофилов и базофилов увеличилось. Во всех периодах исследования у коз I группы наблюдалась более высокая концентрация гемоглобина и эритроцитов, что указывает на более высокий уровень кислородной емкости крови. Кровь, как биологический маркер, отражает интенсивность метаболических процессов в организме. Несмотря на относительную стабильность морфологического состава крови в течение года, она отражает все изменения, происходящие в организме. Морфофункциональные показатели крови индивидуальны и зависят от уровня продуктивности животного. Статистически значимые различия в морфологических показателях наблюдаются в разные сезоны года, что коррелирует с показателями продуктивности и позволяет прогнозировать их на основе анализа крови.

Ключевые слова: козоводство, оренбургская порода коз, продуктивность коз, показатели крови коз, селекция коз, пуховые козы.

Цитирование. Харламов А. В., Панин В. А. Сезонные изменения показателей морфологического состава крови коз разной продуктивности. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 316-328. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-33.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В многочисленных научных исследованиях подчеркивается, что усовершенствование племенных и хозяйственно-полезных характеристик сельскохозяйственных животных выступает как первостепенная задача, направленная на обеспечение продовольственной безопасности Российской Федерации. В этой связи возрастает значимость селекционных программ, призванных повысить качество существующих пород и вывести новые, а также сформировать внутрипородные типы и линии животных посредством интеграции достижений современной генетики в практику. На современном этапе одним из ключевых вызовов селекционного процесса является исследование механизмов формиро-

вания высокой продуктивности с применением передовых технологий. В последнее время наблюдается тенденция к широкому внедрению передовых технологий в данной отрасли. Это обусловлено необходимостью увеличения объемов выпускаемой продукции [1-7].

Также отмечается, что в современной скотоводческой практике эффективная селекционная работа невозможна без комплексного применения зоотехнических методов и интерьерных показателей животных. Особое внимание заслуживает оценка метаболического статуса молодняка на основе анализа биохимических параметров крови, что позволяет прогнозировать продуктивные качества животных в раннем возрасте [8-11]. Кровь выполняет важнейшую функцию в жизнедеятельности организма – обеспечение обмена веществ, необходимого для его роста и развития. Химический состав крови не является постоянным и варьируется в зависимости от физиологического состояния животного. Анализ состава крови позволяет оценить интенсивность обменных процессов и косвенно судить о продуктивности животных на основе интерьерных показателей, коррелирующих с селекционными признаками [8-11].

Многие авторы указывают на то, что морфологические показатели крови – ценные индикаторы физиологического состояния и продуктивности. Кровь, является основной субстанцией организма и отражает его общее состояние. При этом изменения в гематологическом составе должны находиться в пределах нормы [12].

Предыдущие научные исследования указывают на то, что по морфологическому, биохимическому и иммунологическому исследованию крови можно судить о процессах, протекающих в организме. Благодаря транспортным и гуморальным функциям крови, реализуется тесная взаимосвязь между процессом пищеварения и обменом веществ в организме. Это взаимодействие позволяет оценить интенсивность окислительно-восстановительных реакций и определить общий уровень метаболизма [13,14].

Также установлено, что морфологические и биохимические показатели крови характеризуют физиологическое состояние животных и взаимосвязаны с продуктивностью. При этом, гематологические параметры животных, зависят от генетических факторов, обстоятельств кормления и зоотехнических критериев [15].

К зоотехническим критериям следует отнести сезонные колебания продуктивности. Сезонные колебания продуктивности коз и овец связаны с влиянием метеорологических условий и светового дня на физиологические функции и обмен веществ животных. Вследствие этого меняются потребности организма в питательных веществах, что требует адаптации состава кормовых смесей [16-18].

Невзирая на многозначительность анализа сезонных изменений показателей морфологического состава крови коз оренбургской породы разной продуктивности в целях оптимизации процесса производства пуха, количество публикаций по проведенным исследованиям, посвященных данной тематике, является ограниченным. В настоящем исследовании проводится анализ трансформаций морфологических показателей крови у коз оренбургской породы с различной продуктивностью в течение всего года.

Исследования, посвященные изучению сезонных колебаний показателей морфологического состава крови коз оренбургской породы различной пуховой производительности в контексте климатических условий Оренбуржья, представляют собой важную и своевременную задачу.

Материалы и методы. В рамках исследования были выбраны козы оренбургской породы в качестве объекта изучения. Экспериментальная часть работы была проведена в стаде животных аграрного предприятия колхоза «Донский», расположенного в сельхозугодьях Оренбуржья. Для проведения исследования были сформированы две группы I (высокопродуктивная) и II (низкопродуктивная), каждая из которых включала по 16 коз оренбургской породы, достигших 25-месячного возраста (всего тридцать два животных). В ходе изыскания были определены следующие показатели: объем собранного пуха; тонкость и длина волокон пуха; морфологические показатели состава крови подопытных особей в разные месяцы сезонов года. В ходе клинических исследований, взятия образцов (проб) с участием коз, демонстрирующих возбуждение, агрессию или недружелюбное поведение, потребовалась иммобилизация. Выбор методов фиксации был основан на принципах обеспечения безопасности как для персонала, так и для самого животного, а также эффективности проведения процедуры. При этом учитывалась сложность предстоящей манипуляции, её продолжительность и потенциальный уровень дискомфорта для животного (рисунк 1, 2).



Рисунок 1 – Первый способ фиксации подопытных коз при диагностических исследованиях, взятии образцов (проб), животное первой группы

Figure 1 – The first method of fixation of experimental goats in diagnostic studies, taking samples (samples), an animal of the first group



Рисунок 2 – Второй способ фиксации подопытных коз при диагностических исследованиях, взятии образцов (проб), животное второй группы

Figure 2 – The second method of fixation of experimental goats during diagnostic studies is taking samples (samples), an animal of the second group



Рисунок 3 – Подопытная коза, зафиксированная для учета начеса пуха

Figure 3 – An experimental goat, fixed to account for the fluffiness

Комфортные условия фиксации и содержания во время чески имели важную роль в здоровье и производительности исследуемых коз. Для их поддержания были обеспечены определенные факторы (рисунок 3, 4, 5).



Рисунок 4 – Подопытные козы перед ческой
Figure 4 – Experimental goats before carding



Рисунок 5 – Подопытные козы после чески
Figure 5 – Experimental goats after carding

В ходе экспериментального исследования проводился анализ морфологических показателей крови у коз с целью выявления возможных нарушений в организме и дефицита незаменимых биологически активных элементов, зависящих от уровня продуктивности животных. Данный подход позволяет своевременно выявлять и предотвращать развитие заболеваний. Анализ крови является незаменимым диагностическим методом. Поскольку органы кроветворения чрезвычайно чувствительны к различным физиологическим воздействиям на организм, состав крови отражает эти воздействия. Деятельность специалиста-лаборанта направлена на объективное исследование гематологических показателей с использованием лабораторных методов для получения информации о состоянии здоровья животного и эффективности лечебных мероприятий. Важно отметить, что информативность анализа напрямую зависит от возможностей используемых методов и наличия погрешностей, связанных с условиями и временем взятия пробы, ее хранением, квалификацией исполнителя и другими факторами. Любое углубленное клиническое исследование, особенно на этапе диагностики, должно включать анализ крови. Максимально полное использование полученных данных позволит ориентироваться при выборе дальнейших специфических, сложных и дорогостоящих методов исследования. Даже безупречно выполненные исследования, обеспечивающие максимально точные и надежные результаты, не будут полезными до тех пор, пока они не будут интегрированы в диагностический процесс

и проанализированы в контексте конкретного состояния козы. Только глубокое понимание роли и значения каждого из этих многочисленных факторов позволяет использовать гематологические показатели как один из элементов при формировании объективной и комплексной картины жизнедеятельности организма [19, 20].

В проведенном исследовании применялась материально-техническая база Пробного центра общего пользования ФГБУ "БСТ РАН", аккредитованного на проведение испытаний (аттестат аккредитации № RA.RU.НПФ 59 от 02.12.2015 г.). Употребляемое для аналитических изысканий оснащение отвечает требованиям ГОСТ Р 8.568-2017 "Гос. система обеспечения единства измерений" и включает в себя: автоматический биохимический анализатор DIRUI CS-T240, лабораторные – ВТЛ-150-П, электронные весы Pioneer PA 413 и Pioneer PX 224, газовый хроматограф "Хроматэк-Кристал 5000.2", лабораторные весы SE224-C, масс-спектрометр с индукцией соединённой плазмой Agilent 7900. Для проведения клинического анализа крови у коз отбиралось небольшое количество биоматериала, которое забиралось из сосудов (из яремной вены / v. jugularis interna). Перед процедурой волосяной покров в месте забора удалялся, а кожа обрабатывалась спиртом или раствором Никифорова (смесь спирта и эфира) для дезинфекции и обезжиривания.

Результаты и обсуждение (Results and discussion). В процессе научного изыскания была осуществлена процедура оценки влияния сезонной динамики на морфологические параметры состава крови коз оренбургской породы, с учётом их пуховой продуктивности. В марте был проведен сбор образцов пуха и шерстного покрова у подопытных животных, сопровождающийся взвешиванием и лабораторным анализом. Полученные данные позволили рассчитать показатели относительной пуховой продуктивности, которые выявили значимые различия как в объёме, так и в структуре шерстного покрова в зависимости от времени года. Исследование показало статистически значимые различия в характеристиках пуховой производительности между высокопродуктивной и низкопродуктивной группами коз (рисунок 6). У особей высокопродуктивной группы масса пуха оказалась выше на 97,2 г или 45,3 % по сравнению с экспериментальной группой. Аналогично, истинная длина волоса у коз высокопродуктивной группы была больше на 0,03 см или 0,44 %. В то же время, тонкость волокон пуха у коз низкопродуктивной группы составила 16,61 мкм, что на 0,1 мкм или 0,42 % меньше, чем у сверстниц высокопродуктивной.

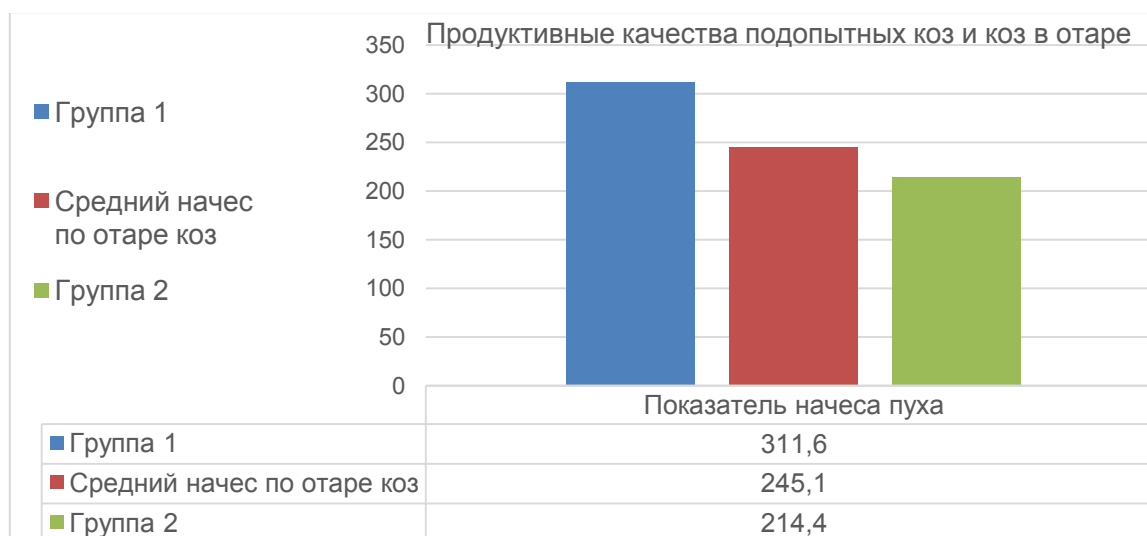


Рисунок 6 – Продуктивность коз, г
Figure 6 – Productivity of goats, g

Подвергая анализу рисунок 7 можно сделать вывод о том, что в январе месяце пухового волокна в составе шерсти высокопродуктивных особей содержалось 62,1 % и превышало данный показатель менее продуктивных сверстниц на 9,9 %. В марте отмечено существенное отличие в составе шерстного покрова: содержание пуха у коз высокопродуктивной группы превысило показатели менее продуктивной группы на 9,8 %.

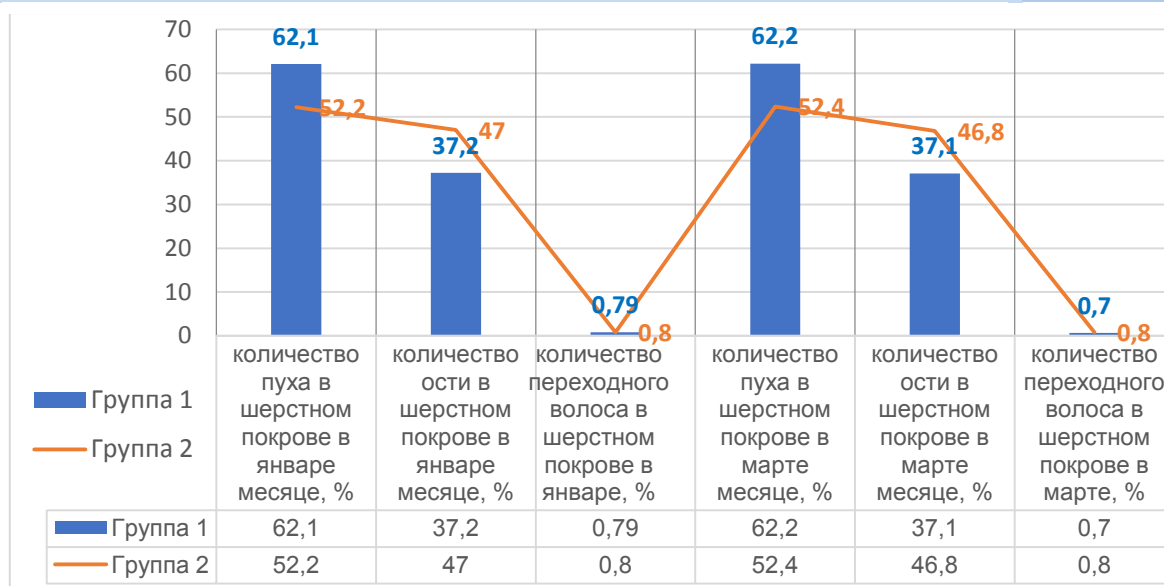


Рисунок 7 – Строение шерстного покрова в январе и марте месяце, %

Figure 7 – The structure of the coat in January and March, %

На рисунке 8 представлена структура шерстного покрова изучаемых пуховых коз в июне и октябре месяце. В июне месяце в составе шерстного покрова коз пух отсутствовал. Удельный вес ости в шерстном покрове в июне составил 99,0 % у высокопродуктивных коз первой группы и 98,9 % у менее продуктивных коз второй группы. С приходом осеннего периода, повлекшего понижение температуры окружающей среды в шерстном покрове, наблюдается появление пуха, что указывает на активацию пуховых фолликулов. В октябре содержание пуха в шерстном покрове составило 11,4 % у более продуктивных коз первой группы и 9,9 % у низкопродуктивных коз второй группы (разница статистически значима). Количество содержащейся ости в шерсти у исследуемых особей в октябре, по сравнению с июнем, снизилось до 87,7 % в группе высокопродуктивных коз и до 89,0 % в группе менее продуктивных.

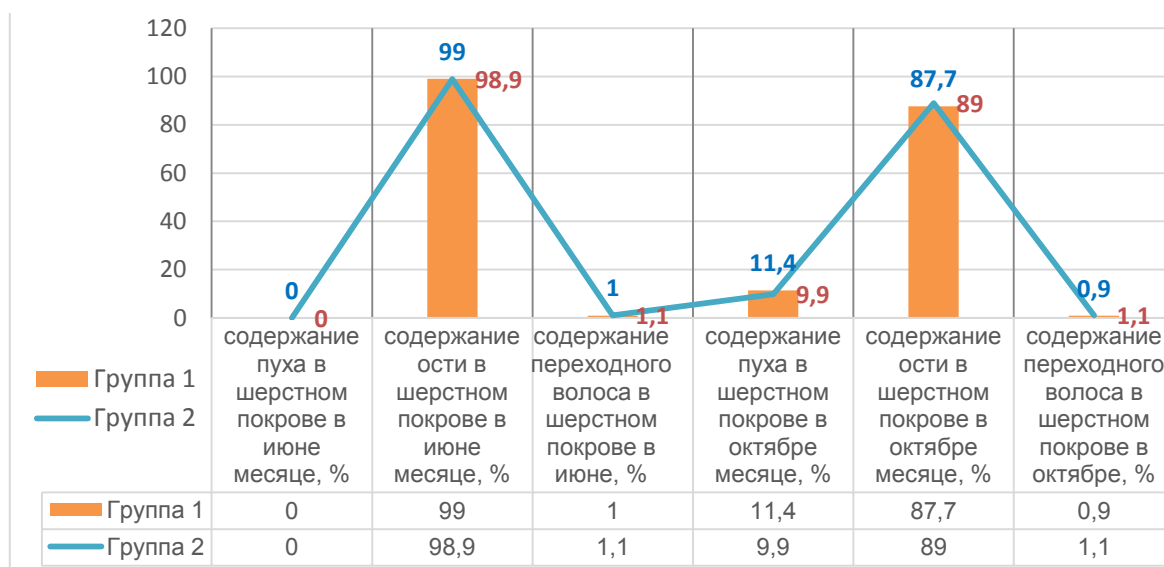


Рисунок 8 – Строение шерстного покрова в июне и октябре месяце, %

Figure 8 – The structure of the coat in June and October, %

Анализ данных, полученных при оценке пуховой продуктивности, позволяет сделать вывод о том, что козы высокопродуктивной группы характеризуются более высокими показателями как по количеству, так и по качеству получаемого пуха. Это обстоятельство требует пересмотра объемов заготовки пуха от менее продуктивных животных с целью их увеличения, что, в свою очередь, будет способствовать росту производства изделий из пуха.

Кровь является наиболее доступным объектом для исследования сложных физиологических процессов, протекающих в организме. Её изучение имеет первостепенное значение, поскольку кровь выполняет ключевую роль в обмене веществ между внешней средой и клетками организма. Продуктивность напрямую связана с интенсивностью обменных процессов. Анализ концентрации метаболитов в крови позволяет косвенно оценить скорость и масштаб этих процессов. Кровь, как внутренняя среда организма, характеризуется стабильным составом. Она отражает все изменения, происходящие в организме козы. Количественные и качественные показатели крови играют важную роль в определении интенсивности обмена веществ, а также процессов, влияющих на пуховую продуктивность. Исследование морфологических характеристик крови коз позволяет частично объяснить вариабельность показателей пуховой продукции.

Выполненные исследования морфологических параметров состава крови указывают на имеющиеся определенные различия между козами разных уровней продуктивности в разные сезоны года, хотя все имеющиеся отклонения находились в пределах физиологических отклонений. Результаты морфологической оценки крови коз оренбургской породы в зимне-весенний период показали соответствие их физиологической норме, они представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Морфологические показатели состава крови подопытных особей
зимой и весной в, (M $\pm$ STD)

Table 1 – Morphological parameters of the blood composition of experimental individuals
in winter and spring in, (M $\pm$ STD)

Состав крови / Blood composition	Группа (месяц сезона года) / Group (month of the season of the year)			
	январь / January		март / March	
	высокопродуктивные / highly productive	низкопродуктивные / low-yielding	высокопродуктивные / highly productive	низкопродуктивные / low-yielding
WBC 10 ⁹ /л	13,69 $\pm$ 4,50	12,52 $\pm$ 4,11	13,75 $\pm$ 5,14	12,64 $\pm$ 3,84
Neu %	29,46 $\pm$ 7,16	31,84 $\pm$ 8,84	29,74 $\pm$ 6,25	32,16 $\pm$ 9,75
Lym %	56,81 $\pm$ 8,25	56,87 $\pm$ 8,64	56,78 $\pm$ 8,10	56,82 $\pm$ 9,00
Mon %	3,98 $\pm$ 6,02	2,92 $\pm$ 6,42	3,42 $\pm$ 3,19	2,54 $\pm$ 3,43
Eos %	2,41 $\pm$ 1,07	1,17 $\pm$ 1,11	2,54 $\pm$ 0,94	1,88 $\pm$ 0,85
Bas %	0,38 $\pm$ 0,21	0,43 $\pm$ 0,16	0,52 $\pm$ 0,18	0,6 $\pm$ 0,40
Neu 10 ⁹ /л	4,11 $\pm$ 2,75	4,24 $\pm$ 1,78	5,17 $\pm$ 1,31	5,36 $\pm$ 2,27
Lym 10 ⁹ /л	6,91 $\pm$ 2,70	8,03 $\pm$ 2,59	7,04 $\pm$ 2,97	8,18 $\pm$ 3,29
Mon 10 ⁹ /л	0,39 $\pm$ 1,35	0,31 $\pm$ 0,76	0,44 $\pm$ 1,08	0,37 $\pm$ 0,48
Eos 10 ⁹ /л	0,35 $\pm$ 0,29	0,28 $\pm$ 0,21	0,47 $\pm$ 0,30	0,35 $\pm$ 0,13
Bas 10 ⁹ /л	0,05 $\pm$ 0,03	0,07 $\pm$ 0,02	0,06 $\pm$ 0,02	0,08 $\pm$ 0,06
RBC 10 ¹² /л	9,21 $\pm$ 0,42	8,81 $\pm$ 0,61	9,14 $\pm$ 0,40	8,80 $\pm$ 0,68
HGB g/l	98,2 $\pm$ 7,02	94,3 $\pm$ 5,99	93,2 $\pm$ 4,02	90,2 $\pm$ 7,89
HCT %	10,99 $\pm$ 1,11	10,01 $\pm$ 0,69	10,84 $\pm$ 0,78	9,72 $\pm$ 1,69
MCV fl	24,09 $\pm$ 3,13	24,67 $\pm$ 4,51	23,78 $\pm$ 2,81	24,38 $\pm$ 4,41
MCH Pg	6,69 $\pm$ 6,01	7,47 $\pm$ 5,46	5,52 $\pm$ 3,60	6,94 $\pm$ 9,73
MCHC g/l	334,02 $\pm$ 54,28	359,6 $\pm$ 91,43	320,8 $\pm$ 33,36	346,6 $\pm$ 152,98
RDW-CV %	14,77 $\pm$ 1,53	14,13 $\pm$ 1,87	15,48 $\pm$ 1,38	14,36 $\pm$ 2,09
RDW-SD fl	32,18 $\pm$ 1,27	30,37 $\pm$ 2,28	31,94 $\pm$ 1,35	29,66 $\pm$ 3,84

В зимний период количество лейкоцитов (WBC, 10⁹/л) в крови особей первой группы содержалось 13,69 $\times 10^9$ /л что больше, чем во второй на 1,19 $\times 10^9$ /л или 8,69 %. Нейтрофилы (Neu 10⁹/л) в большем количестве присутствуют в крови коз второй группы на 0,13 $\times 10^9$ /л или 3,07 %. Количество лимфоцитов (Lym 10⁹/л) также более высоким обнаружено в крови животных второй группы на 1,39 $\times 10^9$ /л или 17,31 % относительно коз первой группы. Моноцитов (Mon 10⁹/л) больше было в крови коз первой группы на 0,08 $\times 10^9$ /л или 20,51 %. Эозинофилы (Eos 10⁹/л) в более высоком количестве были представлены в крови коз первой группы на 0,07 $\times 10^9$ /л или 20,0 %, чем во второй. Базофилы (Bas 10⁹/л) в большем количестве присутствуют в крови коз второй группы на 0,02 $\times 10^9$ /л или 28,57 %. Количество гемоглобина (HGB g/l) в крови коз первой группы составляло 98,2 г/л, что больше, чем во второй на 3,9 г/л или 3,97 %, эритроцитов (RBC 10¹²/л) – 9,21 $\times 10^{12}$ /л, что больше на 0,40 $\times 10^{12}$ /л или 4,34 % соответственно.

В весенний период также сохранилось преимущество по содержанию в крови лейкоцитов за животными первой группы $13,75 \times 10^9/\text{л}$, что больше на $1,11 \times 10^9/\text{л}$ или 8,07 %, чем во второй группе. Нейтрофилы в большем количестве присутствуют в крови коз второй группы на $0,19 \times 10^9/\text{л}$ или 3,54 %. Количество в крови лимфоцитов также более высоким обнаружено в крови животных второй группы на $1,14 \times 10^9/\text{л}$ или 13,94 % относительно сверстниц первой группы. Моноцитов больше было в крови коз первой группы на $0,07 \times 10^9/\text{л}$ или 15,91 %. Эозинофилы в более высоком количестве были в крови коз первой группы на $0,12 \times 10^9/\text{л}$ или 25,53 %, чем во второй. Базофилы в большем количестве присутствуют в крови коз второй группы на $0,02 \times 10^9/\text{л}$ или 25,00 %. В крови коз первой группы в этот период было больше гемоглобина на 3,0 г/л или 3,22 % и эритроцитов на $0,34 \times 10^{12}/\text{л}$ или 3,72 %.

Представленные в таблице 2 морфологические показатели крови коз оренбургской породы в летне-осенний период несколько изменились по сравнению с показателями в зимне-весенний период, но разница между менее продуктивными и имеющими более высокую продуктивность животными по указанным показателям сохранилась. Также все представленные в таблице показали находились в референтных интервалах физиологической нормы. Так в летний период количество лейкоцитов (WBC, $10^9/\text{л}$) в крови особей первой группы было – $13,98 \times 10^9/\text{л}$ что больше, чем в крови коз второй группы на $1,06 \times 10^9/\text{л}$ или 7,58 %. Нейтрофилы (Neu $10^9/\text{л}$) в большем количестве содержались в крови коз второй группы $6,44 \times 10^9/\text{л}$, что на $0,53 \times 10^9/\text{л}$ или 8,23 % выше по сравнению с первой группой, лимфоцитов (Lym $10^9/\text{л}$) соответственно на $0,45 \times 10^9/\text{л}$ или 6,30 %. Моноцитов (Mon $10^9/\text{л}$) больше было в крови коз первой группы на $0,03 \times 10^9/\text{л}$ или 8,57 %. Эозинофилы (Eos $10^9/\text{л}$) в более высоком количестве были в крови коз второй группы на $0,08 \times 10^9/\text{л}$ или 17,78 %, базофилы (Bas $10^9/\text{л}$) на $0,02 \times 10^9/\text{л}$ или 22,22 %, чем в первой. Количество гемоглобина (HGB г/л) в крови коз первой группы составило 96,8 г/л, что больше, чем в второй на 3,9 г/л или 4,03 %, эритроцитов (RBC $10^{12}/\text{л}$) – $9,94 \times 10^{12}/\text{л}$, что больше на $0,62 \times 10^{12}/\text{л}$ или 6,24 % соответственно.

В осенний период также сохранилось преимущество по содержанию в крови лейкоцитов за животными первой группы $13,57 \times 10^9/\text{л}$, что больше на $1,01 \times 10^9/\text{л}$ или 7,44 %. Нейтрофилы в большем количестве содержались в крови коз второй группы на $0,37 \times 10^9/\text{л}$ или 5,24 %, лимфоцитов на $0,36 \times 10^9/\text{л}$ или 4,31 % относительно первой группы. Моноцитов больше было в крови коз первой группы на $0,06 \times 10^9/\text{л}$ или 20,70 %. Эозинофилы в более высоком количестве были в крови коз второй группы на $0,17 \times 10^9/\text{л}$ или 39,53 %, базофилы на $0,02 \times 10^9/\text{л}$ или 25,0 %, чем в первой. В крови коз первой группы в этот период было больше гемоглобина на 2,40 г/л или 2,33 % и эритроцитов на $1,32 \times 10^{12}/\text{л}$ или 12,22 %. Мониторинг эритроцитометрических показателей позволяет определить адаптационные возможности организма коз в разные сезоны года, эколого-физиологическое состояние в момент подготовки животных к разным периодам года, своевременно прогнозировать развитие шерстного покрова и величину пуховой продуктивности. Результаты мониторинга эритроцитометрических показателей крови коз опытных групп, полученные на основании функциональных характеристик, не выходили за пределы адаптивных свойств организма и сохраняли уровень, требующийся для генетически заложенного гомеостаза. Максимальные значения эритроцитов ($10,18 \times 10^{12}/\text{л}$) и гемоглобина (103,20 г/л) зарегистрированы в крови коз первой группы в осенний период, минимальные показатели выявлены в крови в весенний период ($8,80 \times 10^{12}/\text{л}$ – эритроциты, 90,2 г/л – гемоглобин). Аналогичная ситуация наблюдалась и по гемокритному числу.

Полученные данные позволяют сделать заключение, что сезонная изменчивость морфологического состава крови исследуемых коз подчинена общей закономерности. При этом в показателях состава крови подопытных особей более высокий уровень гемоглобина, наибольшее количество эритроцитов, степень насыщения эритроцита гемоглобином наблюдались у более высокопродуктивных животных, что возможно связано с высоким уровнем окислительно-восстановительных процессов, которые позволяют судить об интенсивности метаболических процессов в их организме. Если индексы эритроцитов, в определенной мере, характеризуют одну из важных функций крови коз – перенос кислорода от легочных альвеол к тканям, органам, то лейкоцитарная формула позволяет судить о формировании защитного потенциала пуховых коз.

Таблица 2 – Морфологические показатели крови коз оренбургской породы
в летне-осенний период, (M ± STD)Table 2 – Morphological parameters of blood of Orenburg breed goats
in the summer and autumn period, (M ± STD)

Состав крови / Blood composition	Группа (месяц сезона года) / Group (month of the season of the year)			
	июнь (лето) / June (summer)		октябрь (осень) / October (autumn)	
	высокопродуктивные / highly productive	низкопродуктивные / low-yielding	высокопродуктивные / highly productive	низкопродуктивные / low-yielding
WBC 10 ⁹ /l	13,98 ± 2,69	12,92 ± 2,75	13,57 ± 2,45	12,56 ± 3,24
Neu %	37,87 ± 7,25	38,12 ± 7,04	40,12 ± 6,69	43,04 ± 8,41
Lym %	57,34 ± 5,12	57,86 ± 8,91	57,91 ± 5,83	58,04 ± 5,83
Mon %	3,64 ± 5,14	2,96 ± 6,11	2,62 ± 3,58	2,02 ± 4,07
Eos %	1,72 ± 0,81	2,53 ± 1,84	1,54 ± 0,56	2,52 ± 2,35
Bas %	0,46 ± 0,16	0,53 ± 0,19	0,44 ± 0,11	0,48 ± 0,15
Neu 10 ⁹ /l	5,91 ± 1,43	6,44 ± 1,35	6,69 ± 1,74	7,06 ± 1,29
Lym 10 ⁹ /l	6,69 ± 1,16	7,14 ± 1,52	8,00 ± 1,70	8,36 ± 2,04
Mon 10 ⁹ /l	0,35 ± 2,83	0,32 ± 1,98	0,29 ± 0,81	0,23 ± 1,08
Eos 10 ⁹ /l	0,37 ± 0,12	0,45 ± 0,66	0,26 ± 0,12	0,43 ± 0,41
Bas 10 ⁹ /l	0,07 ± 1,22	0,09 ± 1,13	0,06 ± 1,29	0,08 ± 1,03
RBC 10 ¹² /l	9,94 ± 0,51	9,32 ± 0,49	10,18 ± 0,57	8,86 ± 0,28
HGB g/l	96,8 ± 6,13	92,9 ± 5,99	103,20 ± 0,57	100,80 ± 4,87
HCT %	10,54 ± 2,31	10,00 ± 1,29	11,86 ± 1,75	11,30 ± 0,65
MCV fl	23,52 ± 3,66	24,72 ± 4,37	23,52 ± 3,66	24,72 ± 4,37
MCH Pg	5,64 ± 4,82	7,85 ± 5,34	5,76 ± 3,66	6,41 ± 3,59
MCHC g/l	341,78 ± 52,31	364,3 ± 61,76	313,20 ± 70,60	322,60 ± 54,47
RDW-CV %	15,66 ± 1,78	14,71 ± 2,01	15,78 ± 1,68	14,94 ± 0,91
RDW-SD fl	33,32 ± 1,74	29,54 ± 1,95	31,30 ± 2,44	30,58 ± 1,68

Таким образом, из оценки морфологических показателей крови пуховых коз с разным уровнем продуктивности следует что, основные их параметры находятся в пределах физиологических норм, это указывает на хорошее состояние здоровья коз. При этом несколько выделяются козы первой группы, более высокого уровня пуховой продуктивности. Это в свою очередь отражается на начесе пуха, где козы высокопродуктивной группы на 45,32 % превосходят сверстниц низкопродуктивной группы. Полученные данные свидетельствуют, что козы во все сезоны года находятся в хорошем физиологическом состоянии, что важно для реализации потенциала высокой пуховой продуктивности. Полученные результаты в процессе проведения исследований свидетельствуют о сезонном изменении морфологического состава крови исследуемых коз. При этом все рассматриваемые показатели находились в пределах физиологических норм и изменялись в соответствии с физиологическим развитием животных с определенными межгрупповыми различиями по периодам года. В ходе проведенного исследования обнаружено, что морфологические показатели состава крови экспериментальных коз коррелируют с их продуктивностью и периодом (сезоном) года. Анализ гематологических показателей коз показал, что все параметры находятся в пределах нормы. Связь между морфологическим составом крови и продуктивностью коз тесная. Сезонные изменения активности элементов крови могут использоваться для прогнозирования хозяйственных качеств животных на ранних стадиях развития.

Закключение. Анализ гематологических показателей продемонстрировал, что все исследованные параметры находились в пределах нормативных значений. Кровь выполняет функцию внутренней среды организма козы. Тесные взаимосвязи существуют между показателями морфологического состава крови и продуктивностью коз. Анализ активности элементов морфологического состава сыворотки крови в разные сезоны года позволяет прогнозировать ценные хозяйственные качества коз на ранних стадиях развития. Это открывает возможности для всестороннего изучения данного вопроса. В организме козы в течение года непрерывно протекают многочисленные химические реакции, сопровождающиеся разрушением и синтезом разнообразных химических соединений. Кровь, как важный биологический маркер, отражает интенсивность окислительных процессов в организме. Кровь подопытных коз, функционируя как внутренняя среда организма, характеризуется относительной стабильностью своего морфологического состава в разные сезоны года. Тем не менее, она отражает в той или иной мере все изменения, происходящие в организме. При этом её морфофункциональные показатели носят индивидуальный характер в зависимости от уровня достигнутой продуктивности. Анализ мор-

фологических показателей коз в зависимости от сезона выявил статистически значимые различия между зимним, весенним, летним и осенним периодами. Эти сезонные вариации коррелируют с показателями продуктивности животных, что позволяет предположить возможность прогнозирования их продуктивных качеств на основе морфологических данных.

Conclusion. The analysis of hematological parameters demonstrated that all the studied parameters were within the normative values. Blood performs the function of the internal environment of the goat's body. Close interrelations exist between the indicators of morphological composition of blood and productivity of goats. The analysis of the activity of the elements of the morphological composition of blood serum in different seasons of the year makes it possible to predict the valuable economic qualities of goats at early stages of development. This opens up opportunities for a comprehensive study of this issue. Throughout the year, numerous chemical reactions occur continuously in the goat's body, accompanied by the destruction and synthesis of various chemical compounds. Blood, as an important biological marker, reflects the intensity of oxidative processes in the body. The blood of experimental goats, functioning as the internal environment of the body, is characterized by the relative stability of its morphological composition in different seasons of the year. Nevertheless, it reflects to one degree or another all the changes taking place in the body. At the same time, its morpho-functional indicators are individual in nature, depending on the level of productivity achieved. An analysis of the morphological parameters of goats, depending on the season, revealed statistically significant differences between the winter, winter, summer and autumn periods. These seasonal variations correlate with indicators of animal productivity, which suggests the possibility of predicting their productive qualities based on morphological data.

Библиографический список

1. Горлов И. Ф. и др. ДНК-маркеры в селекции овец. Инновации в производстве продуктов питания: от селекции животных до технологии пищевых производств: материалы международной научно-практической конференции. Персиановский: Донской государственный аграрный университет, 2019. С. 164-167.
2. Церенов И. В., Горлов И. Ф. Хозяйственно-биологические особенности овец калмыцкой курдючной породы. Волгоград: "СФЕРА", 2024. 250 с.
3. Шахбазова О. П. и др. Влияние генотипа на хозяйственно-биологические особенности бычков. Персиановский: Донской ГАУ, 2024. 185 с.
4. Горлов И. Ф. и др. Совершенствование хозяйственно-биологических особенностей овец эдильбаевской породы. Волгоград: "СФЕРА", 2024. 198 с.
5. Радчиков В. Ф. и др. Разработка сбалансированных кормов для КРС. Вопросы климатических изменений и адаптации к ним в условиях регионов: сборник тезисов выступлений международной научно-практической конференции. Челябинск: Челябинский государственный университет, 2025. С. 84-85.
6. Короткий В. П. и др. Влияние скормливания хвойно-энергетической добавки на продуктивность коров чёрно-пёстрой породы. Вопросы климатических изменений и адаптации к ним в условиях регионов: сборник выступлений международной научно-практической конференции. Челябинск: Челябинский государственный университет, 2025. С. 44-45.
7. Gorlov I. F. et al. Genetic characteristics of three sheep breeds in southern Russia: Comparison based on genome analysis. Iraqi Journal of Veterinary Sciences. 2024. Vol. 38. No. 3. Pp. 683-691.
8. Горлов И. Ф. и др. Интенсивность роста бычков казахской белоголовой породы разных генотипов. Материалы международной научно-практической конференции. Волгоград, 2015. С. 58-61.
9. Горлов И. Ф. и др. Особенности роста, развития и мясной продуктивности бычков казахской белоголовой породы разных генотипов. Молочное и мясное скотоводство. 2016. № 3. С. 10-13.
10. Шахбазова О. П. и др. Биохимические показатели крови бычков казахской белоголовой породы разных генотипов. Инновации в производстве продуктов питания: от селекции животных до технологии пищевых производств: материалы международных научно-практических конференций. Персиановский: Донской государственный аграрный университет, 2019. С. 245-250.
11. Мосолова Д. А. и др. Разработка методов эффективного использования породных ресурсов крупного рогатого скота при производстве говядины и молока в условиях Нижнего Поволжья. Элиста: Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова, 2025. 172 с.
12. Горлов И. Ф. и др. Влияние новых кормовых добавок на основные морфо-биохимические показатели крови цыплят-бройлеров. Вестник Донского государственного аграрного университета. 2024. № 1 (51). С. 79-86.
13. Горлов И. Ф. и др. Влияние лактулозосодержащих кормовых добавок на продуктивность, качественные показатели молока и иммунный статус коз. Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105. № 4. С. 89-100.
14. Горлов И. Ф. и др. Влияние фосфатидов и бишофита на зоотехнические показатели, гематологический и иммунный статус кур-несушек кросса Хайсекс Браун. Птицеводство. 2023. № 6. С. 19-26.
15. Горлов И. Ф. и др. Влияние кормовой добавки "КореМиск" на гематологический состав и естественную резистентность организма лактирующих коров. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 4 (48). С. 163-169.
16. Панин В. А. Инновационное развитие козоводства в условиях часто повторяющихся засух. Научное обеспечение инновационного развития сельского хозяйства в условиях часто повторяющихся засух: материалы международной научно-практической конференции. Оренбург: ООО "Агентство "Пресса", 2017. С. 318-324.
17. Gorlov I. F. et al. Association of the growth hormone gene polymorphism with growth traits in Salsk sheep breed. Small Ruminant Research. 2017. Vol. 150. Pp. 11-14.
18. Sanou L., Ouédraogo S., Savadogo P., Bindelle J. et al. Plant biomass and seed production of the legumes *Aeschynomene histrix* and *Stylosanthes hamata* and the potential of endozoochory by cattle and sheep in semi-arid native pastures. Heliyon. 2023. V. 9 (7). P. e18202.

19. Горлов И. Ф. и др. Влияние кормовых добавок на основе органических кислот на гематологические показатели и естественную резистентность бычков. Разработка инновационных технологий производства животноводческого сырья и продуктов питания на основе современных биотехнологических методов: материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград: ООО «СФЕРА», 2016. С. 51-53.

20. Панин В. А. Гематологические показатели симментальских коров и симментал Х голштинских помесей в условиях Южного Урала. Ветеринария и кормление. 2017. № 1. С. 14-17.

References

1. Gorlov I. F. et al. DNA markers in sheep breeding. Innovations in food production: from animal breeding to food production technology: materials of the international scientific and practical conference. Persianovsky: Don State Agrarian University, 2019. Pp. 164-167.

2. Tserenov I. V., Gorlov I. F. Economic and biological features of Kalmyk sheep. Volgograd: SPHERE, 2024. 250 p.

3. Shakhbazova O. P. et al. The influence of the genotype on the economic and biological characteristics of bull calves. Persianovsky: Donskoy State Agrarian University, 2024. 185 p.

4. Gorlov I. F. et al. Improvement of the economic and biological characteristics of sheep of the Edilbaevskaya breed. Volgograd: SPHERE, 2024. 198 p.

5. Radchikov V. F. et al. Development of balanced feed for cattle. Issues of climate change and adaptation to them in the conditions of the regions: a collection of abstracts of the international scientific and practical conference. Chelyabinsk: Chelyabinsk State University, 2025. Pp. 84-85.

6. Korotky V. P. et al. The effect of feeding a coniferous energy supplement on the productivity of black-and-white cows. Issues of climate change and adaptation to them in the conditions of the regions: a collection of speeches of the international scientific and practical conference. Chelyabinsk: Chelyabinsk State University, 2025. Pp. 44-45.

7. Gorlov I. F. et al. Genetic characteristics of three sheep breeds in southern Russia: Comparison based on genome analysis. Iraqi Journal of Veterinary Sciences. 2024. Vol. 38. No. 3. Pp. 683-691.

8. Gorlov I. F. et al. The growth rate of Kazakh white-headed gobies of different genotypes. Materials of the international scientific and practical conference. Volgograd, 2015. Pp. 58-61.

9. Gorlov I. F. et al. Features of growth, development and meat productivity of Kazakh white-headed bull calves of different genotypes. Dairy and beef cattle breeding. 2016. No. 3. Pp. 10-13.

10. Shakhbazova O. P. et al. Biochemical blood parameters of Kazakh white-headed bull calves of different genotypes. Innovations in food production: from animal breeding to food production technology: proceedings of international scientific and practical conferences. Persianovsky: Don State Agricultural University, 2019. Pp. 245-250.

11. Mosolova D. A. et al. Development of methods for the effective use of native cattle resources in the production of beef and milk in the conditions of the Lower Volga region. Elista: B. B. Gorodovikov Kalmyk State University, 2025. 172 p.

12. Gorlov I. F. et al. The effect of new feed additives on the main morpho-biochemical parameters of the blood of broiler chickens. Bulletin of the Don State Agrarian University. 2024. No. 1 (51). Pp. 79-86.

13. Gorlov I. F. et al. The effect of lactose-containing feed additives on productivity, milk quality and immune status of goats. Animal husbandry and feed production. 2022. Vol. 105. No. 4. Pp. 89-100.

14. Gorlov I. F. et al. The effect of phosphatides and bischofite on zootechnical parameters, hematological and immune status of laying hens of the Hayesex Brown cross. Poultry farming. 2023. No. 6. Pp. 19-26.

15. Gorlov I. F. et al. The effect of the feed additive "Coremix" on the hematological composition and natural body resistance of lactating cows. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2017. No. 4 (48). Pp. 163-169.

16. Panin V. A. Innovative development of goat breeding in conditions of frequent droughts. Scientific support for innovative agricultural development in conditions of frequent droughts: materials of the international scientific and practical conference. Orenburg: Press Agency LLC, 2017. Pp. 318-324.

17. Gorlov I. F. et al. Association of the growth hormone gene polymorphism with growth traits in Salsk sheep breed. Small Ruminant Research. 2017. Vol. 150. Pp. 11-14.

18. Sanou L., Ouédraogo S., Savadogo P., Bindelle J. et al. Plant biomass and seed production of the legumes *Aeschynomene histrix* and *Stylosanthes hamata* and the potential of endozoochory by cattle and sheep in semi-arid native pastures. Heliyon. 2023. V. 9 (7). P. e18202.

19. Gorlov I. F. et al. The effect of feed additives based on organic acids on hematological parameters and natural resistance of bull calves. Development of innovative technologies for the production of livestock raw materials and food products based on modern biotechnological methods: proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Volgograd: SPHERE LLC, 2016. Pp. 51-53.

20. Panin V. A. Hematological parameters of Simmental cows and Simmental Holstein hybrids in the conditions of the Southern Urals. Veterinary medicine and feeding. 2017. No. 1. Pp. 14-17.

Информация об авторах

Харламов Анатолий Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (Российская Федерация, 460051, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29), ORCID orcid.org/0000-0002-9477-6568, e-mail: harlamov52@mail.ru

Панин Виктор Алексеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (Российская Федерация, 460051, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29), ORCID orcid.org/0000-0003-1239-1806, e-mail: oniish@yandex.ru

Authors' Information

Kharlamov Anatoly Vasilyevich, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460051, Orenburg, 9 January str., 29), ORCID orcid.org/0000-0002-9477-6568, e-mail: harlamov52@mail.ru

Panin Viktor Alekseevich, Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnology of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460051, Orenburg, 9 January str., 29), ORCID orcid.org/0000-0003-1239-1806, e-mail: oniish@yandex.ru

**THE ASSESSMENT OF THE MICROBIAL PROTEIN EFFECT ON THE NUTRIENTS
DIGESTIBILITY AND THE TILAPIA INTESTINAL MICROFLORA****Agapova V. N., Randelin D. A., Agapov S. Yu., Vorontsova E. S.**Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: 55avn5@mail.ru

Received 21.09.2025

Submitted 11.01.2026

Summary

In this paper, the results of a study on juvenile tilapia that consumed gaprin instead of fishmeal in a volume of 25/50/75 % are noted and indicated. The contents of the fish intestines were studied by their chemical composition and residual amino acid content, and the intestinal microbiome was also studied. It was found that gaprin, as a high-protein component of microbial synthesis, had no negative effect on the health and functioning of the gastrointestinal tract. The introduction of microbial protein had a positive effect on the absorption of nutrients from tilapia aquaculture feeds. The safety of the individuals of the experimental groups was 100 %.

Abstract

Introduction. According to the strategy for the development of the fisheries sector in the Russian Federation for the period up to 2030, the industry is expected to develop dynamically, replacing import products with domestic ones, by creating favorable conditions for doing business and attracting investments. In this regard, the aquaculture industry is currently beginning to develop actively, which will certainly contribute to an increase in the production of fish products to ensure uninterrupted supply of valuable food to the population and lead to the creation of new jobs, which in turn will have a positive impact on economic performance in general. **Object.** Juvenile tilapia. **Materials and methods.** Scientific research was carried out on the territory of the Volgograd State Agrarian University in the basin workshop of the center "Breeding of valuable sturgeon breeds". The effect of gaprin on the microbial community of fish intestines was evaluated (the total number of bacteria in the intestinal contents: determination of the number and ratio of microorganisms of the genus *Eubacterium*, *Lachnobacterium*, *Clostridium* and *Peptostreptococcus*, *Fusobacterium*, *Sneathia* and *Leptotrichia*, etc.). As well as the analysis of tilapia feces for the content of the residual amount of amino acids (10 essential and 6 interchangeable amino acids) and the chemical composition of the intestinal contents (water, proteins, fats). The results obtained within the framework of the experiment were subjected to biometric processing using Microsoft Office software. As part of this process, an application was used to determine the criterion for the reliability of the Student-Fisher difference. **Results and conclusion.** It was found that the introduction of the protein preparation of the microbial synthesis of gaprin into aquaculture for tilapia juveniles in a volume of 25/50/75 % did not have a negative effect on the intestinal microbiome, and also contributed to better absorption of nutrients from feed. Thus, according to the data, it was noted that in the excrement samples obtained from juveniles of the 2nd, 3rd and 4th experimental groups, a lower total content of both substituted and essential amino acids was found than in the organic residues of hydrobionts of the 1st control group (by 0.289 %, 0.389 % and 0.627 %) and (on 0.39 %, 0.7 %, 1.15 %), accordingly. It was found that the total number of bacteria in the intestinal contents ranged from 2.00x10⁴ to 2.51x10⁶ cells/gram. It is noted that the taxonomic landscape of the microflora of the intestinal tract of fish corresponds to the norm. The safety of tilapia juveniles at the end of the study was equal to 100 %.

Keywords: gaprin, microbial protein, tilapia, intestinal microflora, amino acid composition of feces, chemical composition of fish droppings.

Citation. Agapova V. N., Randelin D. A., Agapov S. Yu., Vorontsova E. S. The assessment of the microbial protein effect on the nutrients digestibility and the tilapia intestinal microflora. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 329-336 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2026-01-34.

Authors' contribution. The team of authors conducted a study and provided the results of the obtained studies in this article.

Conflict of interest. The authors note that there is no conflict of interests.

УДК 639.3

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МИКРОБНОГО БЕЛКА НА ПЕРЕВАРИМОСТЬ
ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ И МИКРОФЛОРУ КИШЕЧНИКА ТИЛАПИИ****Агапова В. Н., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент****Ранделин Д. А., доктор биологических наук, профессор****Агапов С. Ю., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент****Воронцова Е. С., кандидат биологических наук**ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Согласно стратегии развития рыбохозяйственного комплекса в Российской Федерации на период до 2030 года, ожидается динамическое развитие отрасли, направленное на замещение импортной продукции отечественной, путем создания благоприятных условий для веде-

ния бизнеса и привлечения инвестиций; все эти предпосылки будут способствовать увеличению производства рыбной продукции необходимого обеспечения населения ценным источником белка, незаменимых аминокислот, витаминов и минеральных элементов, а также приведет к созданию новых рабочих мест, что в свою очередь положительно скажется на экономических показателях рыбохозяйственных предприятий. **Объект.** Молодь тилапии. **Материалы и методы.** Научные исследования проводились на территории ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» в бассейновом цехе центра «Разведение ценных пород осетровых». Определялись и изучались показатели усвояемости питательных веществ с расчетом прироста ихтиомассы, кормового коэффициента и суммарных затрат скормленных аквакультур. Производились оценка влияния гаприна на микробное сообщество кишечника молоди тилапии (общее количество бактерий в содержимом кишечника: количество и соотношение микроорганизмов рода *Eubacterium*, *Lachnobacterium*, *Clostridium* и *Peptostreptococcus*, *Fusobacterium*, *Sneathia* и *Leptotrichia* и др.), определение массовой доли аминокислот (10 незаменимых аминокислот, таких как: гистидин, аргинин, валин, треонин, триптофан, изолейцин, фенилаланин, лейцин, лизин, аланин, и 6 заменимых аминокислот: серин, глутамин, глицин, аланин, тирозин, пролин) и химического состава экскрементов гидробионтов (вода, белки, жиры). Результаты, полученные в рамках опыта, были подвергнуты биометрической обработке с использованием программного обеспечения Microsoft Office. В рамках опыта использовалось приложение для определения критерия достоверности разности по Стьюденту-Фишеру. **Результаты и выводы.** Установлено, что введение белкового препарата микробиального синтеза гаприна в аквакультуру для молоди тилапии в объеме 25-50-75 % не оказало отрицательного влияния на микробиом кишечника, а также способствовало лучшему усвоению питательных веществ из кормов. Таким образом, согласно данным, отмечено, что в образцах экскрементов, полученных от молоди тилапии 2, 3 и 4 опытных групп, было обнаружено меньшее суммарное содержание как заменимых, так и незаменимых аминокислот, нежели в органических выделениях из кишечника гидробионтов 1 контрольной группы (на 0,289 %, 0,389 % и 0,627 % и на 0,39 %, 0,70 %, 1,15 %, соответственно). Установлено, что общее количество бактерий в содержимом кишечника составляло от $2,00 \times 10^4$ до $2,51 \times 10^6$ клеток/грамм. Отмечено, что таксономический пейзаж микрофлоры кишечного тракта рыб соответствует норме. Сохранность молоди тилапии по окончании исследования была равна 100 %.

Ключевые слова: гапсин, микробиальный белок, тилапия, микрофлора кишечника тилапии, аминокислотный состав кала тилапии, химический состав помета рыб.

Цитирование. Агапова В. Н., Ранделин Д. А., Агапов С. Ю., Воронцова Е. С. Оценка влияния микробного белка на переваримость питательных веществ и микрофлору кишечника тилапии. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 329-336. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-34.

Авторский вклад. Команда авторов провела исследование и предоставила полученные результаты в данной статье.

Конфликт интересов. Авторы отмечают, что столкновение интересов отсутствует.

Введение. Отрасль аквакультуры одна из самых динамично развивающихся в сельском хозяйстве на сегодняшний день. В связи с наметившейся отрицательной тенденцией, связанной с низким естественным приростом популяции «диких» форм рыб в естественной среде обитания, рыбохозяйственные предприятия направляют свою деятельность на обеспечение рыбной продукцией населения, рыбой, выращенной в специально созданных условиях, в установках замкнутого водоснабжения, садках, прудах, проточных бассейнах.

За бесперебойным и достаточным обеспечением рыбой, как ценным и незаменимым продуктом питания для человека, стоит качественно новый подход выращивания гидробионтов, который связан как с методами, способами, так и с применением новых инновационных технологий и технических решений в отрасли аквакультуры, к которым также относится применение нетрадиционных кормовых ингредиентов различных по происхождению: растительного, животного, микробиального (что способствует как удешевлению кормов, так и увеличению рентабельности рыбоводных предприятий) [6, 8, 10].

В связи с вводом «новых», нетрадиционных ингредиентов в состав аквакультур для рыбы важно изучать их влияние на показатели прироста ихтиомассы, линейные показатели тела, усвояемость питательных веществ из рационов, рассчитать кормовой коэффициент, оценить целесообразность их применения, принимая во внимание гематологические показатели, а также иммунный статус рыб [2, 3, 7, 11].

Цель исследования – оценка воздействия кормов, обогащенных гаприном, на усвояемость питательных веществ и здоровье молоди тилапии, посредством изучения содержимого кишечника (химический состав кала, содержание аминокислот и микрофлоры) молоди тилапии, выращенной в условиях УЗВ [9, 12].

Материалы и методы. Изучение влияния препарата гаприн в составе аквакормов на усвояемость питательных веществ, а также на микробное сообщество кишечника рыб и остаточное содержание в кале аминокислот, воды, белка и жира проводилось на молоди тилапии общей численностью 400 голов в условиях бассейнового цеха «Разведение ценных пород осетровых» ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ.

4 группы по 100 голов формировались по доле ввода гаприна в корма для гидробионтов:

1 контрольная группа – употребляла основной рацион для молоди тилапии производства ООО «Инновация»;

2 опытная группа – получала основной рацион с заменой рыбной муки на гаприн в объеме 25 % производства ООО «Инновация»;

3 опытная группа – поедала основной рацион с заменой рыбной муки на гаприн в объеме 50 % производства ООО «Инновация»;

4 опытная группа – получала основной рацион с заменой рыбной муки на гаприн в объеме 75 % производства ООО «Инновация».

Все ингредиенты для производства аквакормов были отечественного производства. Кормление гидробионтов проводилось трижды в сутки, на объем суточной дачи кормов влияли данные, полученные в процессе взвешивания тилапии в рамках проведенного исследования.

Расчет прироста ихтиомассы у гидробионтов осуществлялся путем взвешивания на протяжении всего этапа исследования.

Сбор органического материала – содержимого кишечника, осуществлялся на момент полного вылова рыбы из воды, фекалии подопытной тилапии помещались в емкости с плотно притёртыми крышками.

Определение химических показателей в помете подопытной тилапии, а также измерение массовой доли аминокислот в органических выделениях проводили на базе ФГБНУ "Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции".

Изучение микрофлоры кишечника подопытных рыб с применением молекулярно-генетических методов был выполнен компанией ООО «БИОТРОФ+».

Результаты и выводы. Проводились исследования по изучению влияния микробиального белкового препарата гаприн на усвояемость питательных веществ и анализ микробиального содержимого кишечника подопытных рыб. В схеме опыта указаны группы и рационы, применяемые в процессе выращивания молоди и длительность проведения опыта (таблица 1).

Таблица 1 – Схема опыта
Table 1 – The scheme of the experiment

Группа/рацион / Group/diet	Длительность проведения исследования, дней / Duration of the study, days	Количество особей на начало исследования, гол / Number of individuals at the beginning of the study	Количество особей по окончании исследования, гол / Number of individuals at the end of the study
1 контрольная/ОР / control 1/basic ration	60	100	100
2 опытная/ОР+25 % гаприна взамен рыбной муки / experimental 2/ basic diet +25 % gaprin instead of fish meal			
3 опытная/ОР+50 % гаприна взамен рыбной муки / experimental 3/ basic diet +50 % gaprin instead of fish meal			
4 опытная/ОР+75 % гаприна взамен рыбной муки / experimental 4/ basic diet +75 % gaprin instead of fish meal			

Известно, что тилапия не требовательна к пище, способна получать все необходимые нутриенты из кормов как животного, так и растительного происхождения.

По результатам проведенного исследования были получены данные, благодаря которым стало возможным оценить влияние гаприна на зоотехнические показатели рыб. Установлено, что количество затраченных кормов, в опытных группах было выше, чем в контрольной группе. Так гидробионты 4, 3 и 2 опытных групп за период опыта употребляли в пищу аквакорма больше (на 2,87 кг, 2,75 кг и 1,1 кг) по сравнению с контрольной группой. Несмотря на разницу в объеме потребляемых кормов за период исследования, были получены данные показателей прироста ихтиомассы, согласно которым следует, что молодь тилапии опытных групп, имела большую живую массу, чем представители 1 контрольной группы. Разница данных показателей была в пользу подопытных гидробионтов 2, 3 и 4 групп, по отношению к контролю и составила 1,23 кг, 2,92 кг, 3,28 кг (что соответствует 35,7 %, 85,1 % и 95,6 %).

Тилапия уникальная аквакультура еще и потому, что характеризуется высокой конверсией питательных веществ рациона. Установлено, что наименьший кормовой коэффициент был зафиксирован у молоди тилапии 4 опытной группы, чем у представителей 1 контрольной, 2 и 3 опытных групп (на 0,14 кг, 0,07 кг и 0,04 кг).

Также важно отметить тот факт, что наименьшее количество кормов, затраченное на получение 1 кг мяса рыбы было у молоди тилапии всех опытных групп (2, 3 и 4) по отношению к 1 контрольной (на 0,07 кг, 0,1 кг и 0,14 кг).

Установлено, что содержимое кишечника рыб напрямую указывает на качество скормленных аквакормов: сбалансированность рациона, подбор ингредиентов состава, своевременность осуществляемого кормления и т. д. [13, 15]. В связи с этим анализ экскрементов является маркером «правильности» кормления гидробионтов. В рамках проведенного опыта, полученные образцы кала рыб исследовались по химическому составу и остаточному содержанию аминокислот.

Состав кала – это вода и сухой остаток в виде минеральных веществ, липидов, углеводов, белка, бактерий и др. Известно, что для продвижения каловых масс по кишечнику обязательно необходима вода, как для растворения, так и для выведения токсинов из организма. Вода – один из факторов, влияющих на консистенцию фекалий, которые могут меняться, быть либо слишком жидкими или наоборот тягучими (на консистенцию помета также влияет видовая принадлежность рыбы, употребляемые корма, различные заболевания). Содержание воды в каловых массах было обнаружено меньше у гидробионтов 1 контрольной группы, чем у молоди опытных групп; также установлено, что с большим процентом ввода белкового препарата гаприн в аквакорма, в продуктах органических выделений испытуемых гидробионтов больше содержалось воды. Соответственно сухого вещества было обнаружено больше в экскрементах молоди тилапии 1 контрольной группы и в порядке уменьшения 2, 3 и 4 опытных групп.

Таких минеральных элементов, как кальций и фосфор, было обнаружено больше в помете гидробионтов 1 контрольной группы, примерно в половину, чем у молоди 4 опытной группы. Уменьшение содержания кальция и фосфора в помете тилапии происходило напрямую с увеличением доли ввода гаприна взамен рыбной муки. Важно отметить, что все гидробионты опытных групп остро не нуждались в минеральных элементах и получали их в достаточном количестве из скормливаемых аквакормов.

Для того, чтобы установить, насколько эффективным является скормливание белкового препарата гаприн молоди тилапии, взамен рыбной муки, было проведено исследование, направленное на определение массовой доли аминокислот в экскрементах.

Как известно в кормлении выделяют 2 группы аминокислот, которые могут синтезироваться в организме и которые не могут синтезироваться, то есть обязательно должны поступать в рацион живых организмов с пищей.

Незаменимыми аминокислотами в рыбоводстве принято считать 10 аминокислот (рисунок 1). Их недостаток существенно сказывается на приросте ихтиомассы, темпах роста гидробионтов, статусе здоровья, увеличении затрат на единицу получаемой продукции, а также вкусовых качествах рыбной продукции.

По данным рисунка 2 видно, что часть незаменимых аминокислот в органических продуктах выделения у гидробионтов 2, 3 и 4 опытных было обнаружено больше: аргинина (на 0,053 %, 0,064 %, 0,067 %), треонина (на 0,024 %, 0,101 %, 0,13 %), валина (на 0,039 %, 0,169 %, 0,233 %), фенилаланина (на 0,011 %, 0,073 %, 0,11 %), чем в 1 контрольной группе.

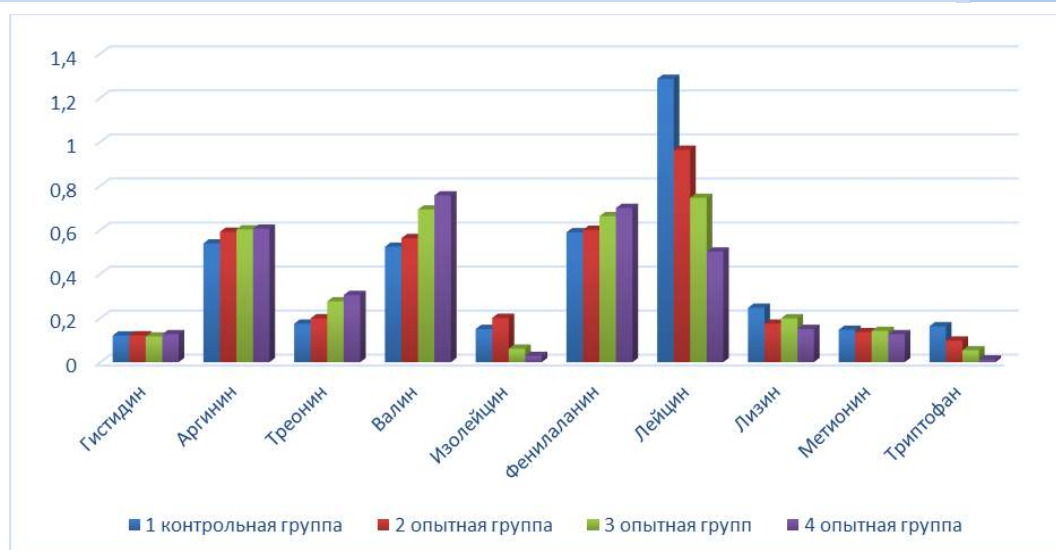


Рисунок 1 – Содержание незаменимых аминокислот в кале молоди тилапии
Figure 1 – The content of non-replaceable amino acids in the feces of juvenile tilapia

В образцах кала гидробионтов 1 контрольной группы было обнаружено больше таких аминокислот как: лейцин, лизин, метионин, триптофан, чем у гидробионтов 2, 3 и 4 опытных групп (на 0,322 %, 0,54 % и 0,784 %; 0,072 %, 0,048 % и 0,096 %; 0,011 %, 0,005 % и 0,02 %; 0,065 %, 0,109 % и 0,151 %, соответственно).

Наибольшее содержание гистидина было обнаружено в фекалиях рыб 4 опытной группы. Больше чем у представителей 1 контрольной, 2 и 3 опытных групп на 0,006 %, 0,005 % и 0,01 %. Остаточное количество изолейцина в органических продуктах выделения тилапии в большем количестве было у гидробионтов 2 опытной группы в сравнении с 1 контрольной, 3 и 4 опытных групп на 0,05 %, 0,14 % и 0,173 %.

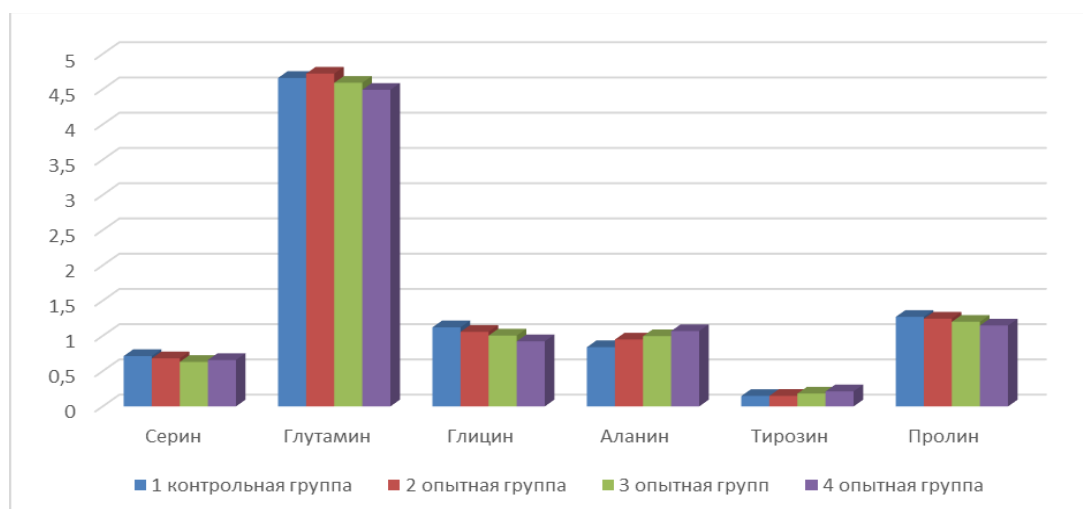


Рисунок 2 – Содержание заменимых аминокислот в кале молоди тилапии
Figure 2 – The content of interchangeable amino acids in the feces of juvenile tilapia

Согласно рисунку 2, наибольшая концентрация таких незаменимых аминокислот как: серин, глицин и пролин была выше в экскрементах гидробионтов 1 контрольной группы по отношению к 2, 3 и 4 опытным группам (на 0,033 %, 0,084 % и 0,057 %; 0,065 %, 0,118 % и 0,199 % и 0,026 %, 0,07 % и 0,123 %, соответственно). Больше остаточное количество заменимых аминокислот в помете молоди рыб – аланина и тирозина было выявлено у 2, 3 и 4 опытных группах, чем в 1 контрольной (на 0,109 %, 0,156 % и 0,228 % и 0,065 %, 0,064 % и 0,031 %). В фекалиях тилапии 2 опытной группы аминокислоты глутамина было больше, чем у гидробионтов 1, 3 и 4 групп (на 0,061 %, 0,13 % и 0,23 %, соответственно).

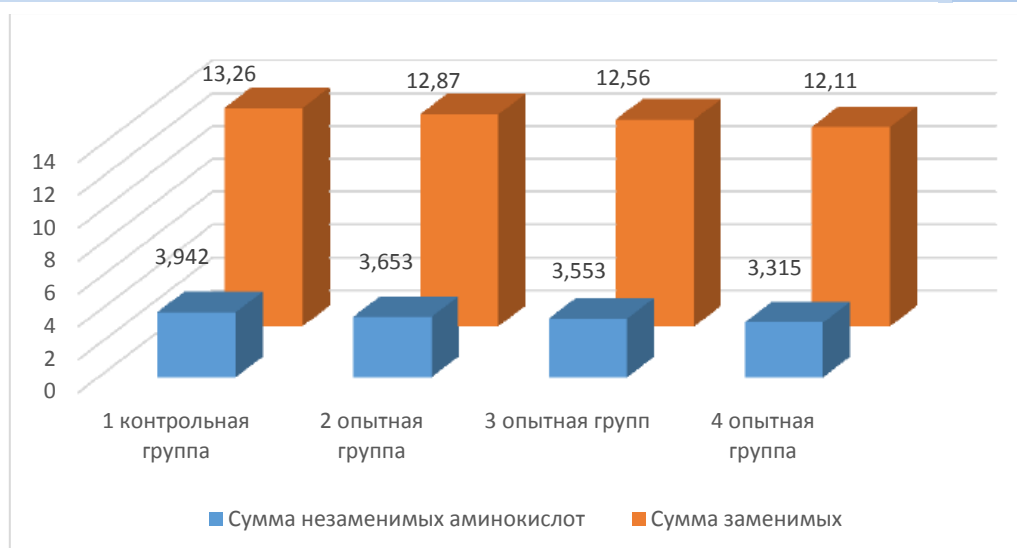


Рисунок 3 – Суммарное содержание не заменимых и заменимых аминокислот в кале молоди тилапии
Figure 3 – The total content of non-replaceable and non-replaceable amino acids in the feces of juvenile tilapia

Таким образом, согласно данным, отмеченным на рисунке 3, видно, что в образцах фекалий, полученных от молоди тилапии 2, 3 и 4 опытных групп, было обнаружено меньшее суммарное содержание как заменимых, так и незаменимых аминокислот, нежели в органических остатках гидробионтов 1 контрольной группы (на 0,289 %, 0,389 % и 0,627 % так и на 0,39 %, 0,7 %, 1,15 % соответственно).

Одним из этапов определения влияния препарата гаприн на организм молоди тилапии являлось изучение микробного сообщества кишечника рыб, которое указывает не только на переваримость и усвояемость питательных веществ из корма, а также демонстрирует «картину» физиологического состояния гидробионтов и работы иммунитета.

Установлено, что общее количество бактерий в содержимом кишечника подопытной молоди рыб составляло от $2,00 \times 10^4$ до $2,51 \times 10^6$ клеток/грамм.

Известно, что на показатели наличия (качественные и количественные) микроорганизмов влияет тип питания [11, 12, 14]. Тилапию можно назвать неприхотливой в еде, так как она является всеядной рыбой, а также способной употреблять растительную пищу (фитопланктон, высшие водные растения), в связи с этим в содержимом ее кишечника содержится большое количество целлюлозолитических бактерий, способных разрушать клетчатку. Таким образом получается, что основная группа микроорганизмов кишечника приходится на *Prevotella* и *Porphyromonas*, их среднее содержание по группам составляло от $7,94 \times 10^3$ до $2,00 \times 10^6$ клеток/грамм.

Также в результате исследования образцов экскрементов подопытной тилапии обнаружены микроорганизмы рода *Eubacterium*, *Lachnobacterium*, *Clostridium* и *Reptostreptococcus*, которые обладают способностью расщеплять углеводосодержащие компоненты рационов. Установлено, что наибольшая популяция целлюлозолитических микроорганизмов была выявлена в микрофлоре кишечника подопытной тилапии 3 группы, употреблявшей корма с вводом гаприна 50 % взамен рыбной муки.

Микроорганизмы рода *Fusobacterium*, *Sneathia* и *Leptotrichia* в содержимом кишечника гидробионтов всех четырех групп были незначительными.

Анализ микрофлоры кишечника рыб 1 контрольной, 2, 3 и 4 опытных групп отмечает, что содержание актиномицетов рода *Mobiluncus*, *Corynebacterium*, *Atopobium*, грибов рода *Candida* было ниже предела достоверного обнаружения.

Стафилококки рода *Staphylococcus* были обнаружены в пределах $1,26 \times 10^3$ у тилапии 4 опытной группы, а у остальных подопытных гидробионтов этот показатель был ниже предела достоверного обнаружения. Несмотря на то, что стафилококки рода *Staphylococcus* являются возбудителями заболеваний, их концентрация в содержимом кишечника находилась в пределах нормы.

Согласно результатам полученного исследования, следует, что таксономический пейзаж микрофлоры кишечного тракта соответствует норме.

Выживаемость во всех подопытных группах молоди тилапии была равна 100 %.

Выводы. Результаты, полученные в рамках проведенного исследования, отмечают положительный эффект от применения гаприна, как высокоценного белкового ингредиента микробиального синтеза в кормлении молоди тилапии.

Корма, в состав которых был введен гаприн в процентном соотношении 25-50-75 % взамен рыбной муки, имели наибольшую поедаемость у рыб, также отмечалась лучшая усвояемость питательных веществ у гидробионтов всех опытных групп. Результаты исследования свидетельствуют о положительном эффекте, выраженном в наименьших затратах скормленных кормов, по отношению к приросту 1 кг мяса рыбы.

Также гаприн в аквакормах для рыб не оказал негативного воздействия на здоровье, согласно полученным и изученным показателям аминокислотного и химического содержания кишечника, которые у молоди тилапии опытных групп были в пределах физиологической нормы, соответствующей виду.

Таксономический пейзаж микрофлоры кишечного тракта соответствует норме. Актиномицеты рода *Mobiluncus*, *Corynebacterium*, *Atopobium*, грибки рода *Candida* находились ниже предела достоверного обнаружения. Стафилококки рода *Staphylococcus* в содержимом кишечника рыб были ниже предела достоверного обнаружения или допустимого значения.

Conclusions. The results obtained in the framework of the study indicate the positive effect of using gaprin as a highly valuable protein ingredient of microbial synthesis in feeding tilapia juveniles instead of partially replacing expensive fish meal.

The feeds containing gaprin in a percentage of 25/50/75 % instead of fish meal had the highest digestibility in fish, and the best digestibility of nutrients in aquatic organisms of all experimental groups was also noted. The results of the experiment indicate a positive effect, expressed in the lowest cost of fed feed, in relation to an increase of 1 kg of fish meat.

Gaprin introduced into fish feed did not have a negative effect on health, according to the obtained and studied parameters of the amino acid and chemical contents of the intestine, which in all juvenile tilapia of the experimental groups were within the physiological norm corresponding to the species.

The taxonomic landscape of the intestinal microflora corresponds to the norm. Actinomycetes of the genus *Mobiluncus*, *Corynebacterium*, *Atopobium*, and fungi of the genus *Candida* were below the limit of reliable detection. *Staphylococcus* of the genus *Staphylococcus* was found to be within the normal range.

The survival rate in all experimental groups of juvenile tilapia was 100 %.

Библиографический список

1. Агапова В. Н., Ранделин Д. А., Кравченко Ю. В., Новокщенова А. И. Эффективность применения белкового сырья микробного синтеза на показатели роста и развития стерляди. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 2 (70). С. 402-407.
2. Василенко В. Н., Фролова Л. Н., Драган И. В., Михайлова Н. А. Разработка производственных экструдированных кормов для индустриального производства тилапии. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2019. Т. 81. № 1 (79). С. 132-137.
3. Ранделин Д. А. и др. Влияние альтернативного белкового сырья «Гаприн» - продукта микробного синтеза на продуктивные качества радужной форели. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 1 (73). С. 163-172.
4. Воронцова Е. С. и др. Влияние белкового сырья микробного синтеза (гаприн) на химический состав мышечной ткани стерляди. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2024. № 110. С. 204-210.
5. Ранделин Д. А. и др. Влияние кормовой добавки "БЕТА-ФЛОРА" в составе производственных лососевых кормов на хозяйственно-биологические показатели радужной форели. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 4 (68). С. 225-232.
6. Бабо Ж. Ж., Кадиев А. К. Перспективы искусственного выращивания тилапии (*Oreochromis niloticus*). Проблемы развития АПК региона. 2021. № 1 (45). С. 140-144.
7. Зуева М. С. и др. Современные исследования по изучению микробиома кишечника рыб. Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 2. С. 198-213.
8. Николаев С. И. и др. Оценка эффективности влияния белковых концентратов на химический состав мяса рыб. Главный зоотехник. 2024. № 2 (247). С. 24-35.
9. Скоков Р. Ю. и др. Тростник Южный в кормах для прудовых растительноядных рыб: экологический, социальный, экономический эффекты. Рыбное хозяйство. 2023. № 5. С. 60-66.
10. Chang X., Kang M., Shen Y., Yun L., Yang G., Zhu L., Meng X., Zhang J., Su X. *Bacillus coagulans* SCC-19 maintains intestinal health in cadmium-exposed common carp (*Cyprinus carpio* L.) by strengthening the gut barriers, relieving oxidative stress and modulating the intestinal microflora. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2021. V. 228. 112977.
11. Perry W. B., Lindsay E., Payne C. J., Brodie C., Kazlauskaitė R. The role of the gut microbiome in sustainable teleost aquaculture. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. 2020. V. 287 (1926). 20200184.

12. Rezende R. A. E., Soares M. P., Sampaio F. G., Cardoso I. L., Ishikawa M. M., Dallago B. S. L., Rantin F. T., Duarte M. C. T. Phytobiotics blend as a dietary supplement for Nile tilapia health improvement. *Fish & Shellfish Immunology*. 2021. No 114. Pp. 293-300.
13. Spilsbury F., Foysal J., Tay A., Gagnon M. M. Gut microbiome as a potential biomarker in fish: dietary exposure to petroleum hydrocarbons and metals, metabolic functions and cytokine expression in juvenile *Lates calcarifer*. *Frontiers in Microbiology*. 2022. No 13. 827371.
14. Tyagi A., Singh B., Thammegowda N. K. B., Singh N. K. Shotgun metagenomics offers novel insights into taxonomic compositions, metabolic pathways and antibiotic resistance genes in fish gut microbiome. *Archives of Microbiology*. 2019. No 201 (3). Pp. 295-303.
15. Yuan J., Wang Zh., Wang B., Mei H., Zhai X., Zhuang Zh., Chen M., Zhang Y. Non-specific immunity associated gut microbiome in *Aristichthys nobilis* under different rearing strategies. *Genes (Basel)*. 2021. V. 12 (6). 916.

References

1. Agapova V. N., Randelin D. A., Kravchenko Yu. V., Novokshchenova A. I. The effectiveness of using protein raw materials of microbial synthesis on the growth and development of sterlet. *Bulletin of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: science and higher professional education*. 2023. No 2 (70). Pp. 402-407.
2. Vasilenko V. N., Frolova L. N., Dragan I. V., Mikhailova N. A. Development of production extruded feeds for industrial tilapia production. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2019. Vol. 81. No 1 (79). Pp. 132-137.
3. Randelin D. A. et al. The effect of the alternative protein raw material "Gaprin", a product of microbial synthesis, on the productive qualities of rainbow trout. *Bulletin of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education*. 2024. No 1 (73). Pp. 163-172.
4. Vorontsova E. S. et al. The effect of protein raw materials of microbial synthesis (haprin) on the chemical composition of sterlet muscle tissue. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2024. No 110. Pp. 204-210.
5. Randelin D. A. et al. The effect of the BETA-FLORA feed additive in the composition of production salmon feeds on the economic and biological parameters of rainbow trout. *Bulletin of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: science and higher professional education*. 2022. No 4 (68). Pp. 225-232.
6. Babo Zh. Zh., Kadiev A. K. Prospects for artificial cultivation of tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Problems of agro-industrial complex development in the region*. 2021. No 1 (45). Pp. 140-144.
7. Zueva M. S. et al. Modern research on the microbiome of fish intestines. *Animal husbandry and feed production*. 2023. Vol. 106. No 2. Pp. 198-213.
8. Nikolaev S. I. et al. Evaluation of the effectiveness of the effect of protein concentrates on the chemical composition of fish meat. *Chief zootechnician*. 2024. № 2 (247). Pp. 24-35.
9. Skokov R. Yu. et al. Southern reed in feed for pond herbivorous fish: ecological, social, and economic effects. *Fishing industry*. 2023. No 5. Pp. 60-66.
10. Chang X., Kang M., Shen Y., Yun L., Yang G., Zhu L., Meng X., Zhang J., Su X. *Bacillus coagulans* SCC-19 maintains intestinal health in cadmium-exposed common carp (*Cyprinus carpio* L.) by strengthening the gut barriers, relieving oxidative stress and modulating the intestinal microflora. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021. V. 228. 112977.
11. Perry W. B., Lindsay E., Payne C. J., Brodie C., Kazlauskaitė R. The role of the gut microbiome in sustainable teleost aquaculture. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2020. V. 287 (1926). 20200184.
12. Rezende R. A. E., Soares M. P., Sampaio F. G., Cardoso I. L., Ishikawa M. M., Dallago B. S. L., Rantin F. T., Duarte M. C. T. Phytobiotics blend as a dietary supplement for Nile tilapia health improvement. *Fish & Shellfish Immunology*. 2021. No 114. Pp. 293-300.
13. Spilsbury F., Foysal J., Tay A., Gagnon M. M. Gut microbiome as a potential biomarker in fish: dietary exposure to petroleum hydrocarbons and metals, metabolic functions and cytokine expression in juvenile *Lates calcarifer*. *Frontiers in Microbiology*. 2022. No 13. 827371.
14. Tyagi A., Singh B., Thammegowda N. K. B., Singh N. K. Shotgun metagenomics offers novel insights into taxonomic compositions, metabolic pathways and antibiotic resistance genes in fish gut microbiome. *Archives of Microbiology*. 2019. No 201 (3). Pp. 295-303.
15. Yuan J., Wang Zh., Wang B., Mei H., Zhai X., Zhuang Zh., Chen M., Zhang Y. Non-specific immunity associated gut microbiome in *Aristichthys nobilis* under different rearing strategies. *Genes (Basel)*. 2021. V. 12 (6). 916.

Информация об авторах

Агапова Василина Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т. Университетский, 26), e-mail: 55avn5@mail.ru

Ранделин Дмитрий Александрович, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: randelin_dm@mail.ru

Агапов Сергей Юрьевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: agapov_s_y@mail.ru

Воронцова Елена Сергеевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: esvoronts@mail.ru

Authors' Information

Agapova Vasilina Nikolaevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: 55avn5@mail.ru

Randelin Dmitriy Aleksandrovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: randelin_dm@mail.ru

Agapov Sergey Yuryevich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: agapov_s_y@mail.ru

Vorontsova Elena Sergeevna, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: esvoronts@mail.ru

THE EFFECTIVENESS OF THE SORBED PROBIOTIC PREPARATION IN THE CULTIVATION OF THE STURGEON FISH HYBRID FORMS¹Zhandalgarova A. D., ¹Sergeeva Yu. V., ¹Grozesku Yu. N., ²Grozesku L. Yu.¹Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russian Federation²Saint Petersburg State Institute of Technology
Saint Petersburg, Russian Federation

Corresponding author E-mail: zhandalgarova@mail.ru

Received 16.10.2025

Submitted 19.12.2025

Summary

The article presents experimental data on the effect of a sorbed probiotic preparation based on lacto- and bifidobacteria on the physiological and immunological state of sterlet. It has been established that the use of probiotics improves the hematological and biochemical parameters of blood, modulates the leukogram of peripheral blood and has a regulatory effect on the leukocyte shift index, reflecting the state of immune reactivity of sturgeon fish.

Abstract

Introduction. Modern aquaculture technologies are aimed at increasing the intensity of reproduction processes. In industrial farms, increased planting densities contribute to an increase in the number of opportunistic microflora, which increases the burden on the immune system of fish. To increase the resistance of cultivated objects, it is necessary to carry out bacteriotherapy. In this case, probiotic drugs act as an effective alternative to antibiotic therapy without causing resistance to individual strains of microorganisms. Probiotic preparations, which are a complex of bifidobacteria and lactobacilli, preserve and improve the physiological balance of the intestinal microflora, exhibit antagonistic activity against a wide range of pathogenic and opportunistic microorganisms; neutralize toxic metabolic products, increase the nonspecific resistance of the body. In addition, they have a variety of biological properties and are actively involved in metabolic and regulatory processes. In view of this, the use of sorbed probiotic drugs in the cultivation of valuable aquaculture facilities is a promising area. **Object.** In experimental studies, the subjects were Bester's two-year-olds. **Materials and methods.** The experiments were carried out in the conditions of the Department of "Aquaculture and Aquatic Bioresources" of the Astrakhan State Technical University. To assess the physiological state of the studied fish, the following parameters were determined: hemoglobin concentration, average hemoglobin content in the erythrocyte (AHE), hematocrit level, erythrocyte sedimentation rate (ESR) and leukogram. **Results and conclusions.** Based on the conducted studies, it was found that in all experimental groups that consumed the main diet containing a probiotic drug, the leukocyte shift index was slightly lower compared to the control group, where its value was 0.27. The lowest indicator was at the level of 0.24, and was observed in the experimental group 2, who consumed 4 g of probiotic drug in the diet. A beneficial effect of the indicated dose of the drug (4 g / kg) on the hemoglobin level was also noted. This indicator in this experimental group was 9 % higher compared to the control indicators. The studied complex of physiological parameters indicates the beneficial effect of the sorbed probiotic preparation in the amount of 4 g/kg of compound feed on the physiological and immune status of the cultivated hybrids of sturgeon fish.

Keywords: sturgeon hybrids, sturgeon fish breeding, sturgeon fish diets, probiotic feed additives, bifidobacteria.

Citation. Zhandalgarova A. D., Sergeeva Yu. V., Grozesku Yu. N., Grozesku L. Yu. The effectiveness of the sorbed probiotic preparation in the cultivation of the sturgeon fish hybrid forms. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 337-343 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-35.

Authors' contribution. All the authors of this study were directly involved in the planning, execution, or analysis of this study. All the authors of this article have reviewed and approved the submitted final version.

Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 639.3.046.14

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СОРБИРОВАННОГО ПРОБИОТИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ГИБРИДНЫХ ФОРМ ОСЕТРОВЫХ РЫБ¹Жандалгарова А. Д., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент¹Сергеева Ю. В., кандидат биологических наук, доцент¹Грозеску Ю. Н., доктор сельскохозяйственных наук, доцент²Грозеску Л. Ю., магистрантФГБОУ ВО Астраханский государственный технический университет
г. Астрахань, Российская ФедерацияФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный технологический институт
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Актуальность. Современные технологии аквакультуры направлены на повышение интенсивности процессов воспроизводства. В условиях промышленных хозяйств увеличенные плотности посадки способствуют повышению численности условно-патогенной микрофлоры, в связи с чем воз-

растает нагрузка на иммунную систему рыб. Для повышения резистентности выращиваемых объектов необходимо проводить бактериотерапию. В этом случае пробиотические препараты выступают эффективной альтернативой антибиотикотерапии, не вызывая резистентности к отдельным штаммам микроорганизмов. Пробиотические препараты, представляющие собой комплекс бифидобактерий и лактобактерий сохраняют и улучшают физиологическое равновесие кишечной микрофлоры; проявляют антагонистическую активность по отношению к широкому спектру патогенных и условно-патогенных микроорганизмов; нейтрализуют токсичные продукты метаболизма, повышают неспецифическую резистентность организма. Кроме того, обладают разнообразными биологическими свойствами, активно участвуют в обменных и регуляторных процессах. Ввиду этого, применение пробиотических препаратов при выращивании ценных объектов аквакультуры является перспективным направлением. **Объект.** В экспериментальных исследованиях объектом выступали двухгодовики бестера. **Материалы и методы.** Эксперименты осуществлялись в условиях кафедры «Аквакультура и водные биоресурсы» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет». Для оценки физиологического состояния исследуемых рыб определяли: концентрацию гемоглобина, среднее содержание гемоглобина в эритроците (СГЭ), уровень гематокрита, скорость оседания эритроцитов (СОЭ) и лейкограмму. **Результаты и выводы.** На основании проведенных исследований было установлено, что во всех опытных группах, потреблявших основной рацион с содержанием пробиотического препарата, индекс сдвига лейкоцитов был несколько ниже по сравнению с контрольной группой, где его значение составило 0,27. Самый низкий показатель находился на уровне 0,24, и наблюдался в опытной группе 2, потреблявшей в рационе 4 г пробиотического препарата. Так же отмечено благоприятное влияние указанной дозы препарата (4 г/кг) на уровень гемоглобина. Этот показатель в данной опытной группе был на 9 % выше по сравнению с контрольными показателями. Изученный комплекс физиологических показателей свидетельствует о благоприятном влиянии сорбированного пробиотического препарата в количестве 4 г/кг комбикорма на физиолого-иммунологический статус выращиваемых гибридов осетровых рыб.

Ключевые слова: гибриды осетровых рыб, разведение осетровых рыб, рационы осетровых рыб, пробиотические кормовые добавки, бифидобактерии.

Цитирование. Жандалгарова А. Д., Сергеева Ю. В., Грозеску Ю. Н., Грозеску Л. Ю. Эффективность применения сорбированного пробиотического препарата при выращивании гибридных форм осетровых рыб. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 337-343. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-35.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Рост населения повышает спрос на продукты питания, в связи с чем искусственное выращивание рыбы становится всё более актуальным. Также большое влияние на развитие аквакультуры в целом оказывает снижение запасов рыбы и морепродуктов в основных промысловых районах: треть из них истощена, а большая часть используется слишком активно, особенно в шельфовых районах. Современное рыбоводство всё больше превращается в высокотехнологичную отрасль [1].

Искусственное разведение ценных гидробионтов развивается интенсивно, по большей части, благодаря появлению новых методов интенсификации выращивания ценных объектов. Это связано с внедрением инновационных технологий, которые позволяют увеличивать выход продукции с единицы объёма или площади, сокращать сроки выращивания и автоматизировать производственные процессы.

Одним из важнейших звеньев технологического процесса при искусственном выращивании ценных объектов является кормление, а затраты на корма – одна из существенных статей расходов в производстве продукции аквакультуры. Комбикорма, применяемые в аквакультуре должны соответствовать высоким требованиям к качеству, а также удовлетворять биологические потребности объектов выращивания [2].

Применение кормовых добавок в рационах объектов аквакультуры позволяет повысить безопасность и качество кормов, улучшить усвояемость питательных веществ и повысить сопротивляемость организма рыб к различным инфекциям. Одними из таких добавок выступают пробиотические препараты на основе лакто- и бифидобактерий, сорбированных на активированном угле [3]. Они активизируют специфические и неспецифические системы защиты организма, нормализуют пищеварительные процессы, способствуют лучшему усвоению кормов, повышают иммунный статус и устойчивость организма к заболеваниям, а также улучшают рыбоводно-биологические показатели, кроме того способны связывать токсические вещества в процессе пищеварения, способствуют ускорению всасывания питательных веществ в кишечнике [4].

Кроме того, положительным свойством пробиотиков следует считать их способность фиксироваться в слизистом слое с помощью специальных рецепторов, тем самым обеспечивая заселение кишечника устойчивыми колониями, что препятствует выживанию и распространению патогенной и условно-патогенной микрофлоры. Положительный эффект также выражается в изменении состава форменных элементов крови, приводящем к повышению содержания тех элементов, которые оказывают бактерицидное действие [5].

Целью представленного исследования явилась оценка эффективности применения сорбированного пробиотического препарата при выращивании двухгодовиков бестера.

Материалы и методы. Для проведения оценки эффективности применения сорбированного пробиотического препарата, содержащего комплекс бифидобактерий р. *Bifidobacterium* и лактобактерий р. *Lactobacillus* на организм осетровых рыб проводили в Инновационном центре «Биоаквапарк – научно-технический центр аквакультуры» Астраханского государственного технического университета.

В качестве объектов исследования использовали двухгодовиков бестера. Бестер, являясь гибридом двух видов рыб семейства осетровых, сочетает быстрый рост белуги и раннее созревание стерляди, в связи с чем является предпочтительным объектом аквакультуры [6].

Исследуемые объекты были разделены на четыре группы по 20 экземпляров в каждом варианте. В качестве контроля, в эксперименте, применялся комбикорм «Alltech® Sorpens» без добавления пробиотического препарата, в опытной группе 1 кормление осуществляли комбикормом «Alltech® Sorpens» с добавлением 2 г пробиотика, опытная группа 2 на протяжении эксперимента питалась комбикормом «Alltech® Sorpens» с содержанием 4 г пробиотика и опытная группа 3 потребляла тот же комбикорм, что и предыдущие три группы, но с добавлением 6 г пробиотика. Для проведения исследований использовали пробиотический препарат, представляющий собой комплекс бифидобактерий р. *Bifidobacterium*, сорбированных на активированном угле, и лактобактерий р. *Lactobacillus*. В 4 г препарата содержатся: живые бифидобактерии – не менее 50 млн колониеобразующих единиц (5x10⁷ КОЕ), живые лактобактерии – не менее 50 млн колониеобразующих единиц (5x10⁷ КОЕ), лактоза моногидрат – до средней массы 0,85 г/0,2 г. Пробиотик наносили на комбикорм разработанным методом, основанным на фиксации препарата с использованием желатинсодержащего вещества [6]. Длительность экспериментальных работ составила 30 суток, через 14 суток были проведены контрольные исследования. Кроме того, перед началом эксперимента был осуществлен контрольный отбор проб. Проведение исследований осуществлялось в стеклопластиковых бассейнах модели ИЦА-1 с соблюдением всех регламентированных требований. Гидрохимические показатели воды в период эксперимента поддерживались на оптимальном для данного гибрида уровне, и составляли соответственно – температура воды 23,0-26,0°C, кислород – 7,0 мг/л.

При проведении эксперимента использовали комплексную оценку влияния пробиотического препарата на физиолого-иммунологическое состояние изучаемого объекта на основе определения ряда гематологических показателей. Взятие крови осуществляли из хвостовой вены по общепринятым методикам [7]. При проведении экспериментальных работ измеряли концентрацию гемоглобина, гематокрита, скорость оседания эритроцитов (СОЭ) и лейкоцитарную формулу. Кровь собирали в сухую стерильную пробирку при помощи медицинского шприца. Для получения сыворотки изучаемые образцы выдерживали в штативе при температуре 24°C на протяжении 60 минут, затем помещали в холодильную камеру. При температуре 4°C экспозиция составляла 24 часа, что обеспечивало процесс свертывания крови и ретракции сгустка. Затем с использованием шприца с тонкой иглой осуществляли перенос сыворотки крови в пробирку Эппендорфа для дальнейшего анализа.

Концентрацию гемоглобина определяли гемиглобинцианидным методом. Определение общего белка в плазме крови осуществляли с применением биуретового метода. Показатель СГЭ (содержание гемоглобина в эритроците) рассчитывали по формуле И. И. Гительзон, И. А. Терскова. Количество эритроцитов (10⁶ мкл) определяли пробирочным методом в камере Горяева. Скорость оседания эритроцитов (СОЭ) осуществляли в приборе Т. П. Панченкова [7, 8].

Для определения оптической плотности исследуемых анализов использовали спектрофотометр Unicо 2100. Гистологические препараты крови изучали при помощи электронного микроскопа Olympus (Япония). Мазки крови делали на обезжиренное предметное стекло, фиксировали в 96 % этаноле в течение 30 мин и окрашивали по Романовскому-

Гимза [7, 8, 9]. Значение лейкоцитарной формулы определяли методом иммерсионной микроскопии окрашенных мазков крови (увеличение 100×1,25). При определении формулы подсчитывали 200 клеток крови с последующим определением их процентного соотношения в пробе [8]. Деривации в показателях гематологических анализов определяли при помощи показателя – индекс сдвига лейкоцитов, который характеризуется отношением количества гранулоцитов к агранулоцитам.

Полученные результаты были подвергнуты статистической обработке с вычислением средней ошибки. Статистическая обработка числовых данных проводилась с применением программных пакетов Statistica v 6.0 и Microsoft Office Excel 2007.

Результаты и обсуждение. Кровь, являясь внутренней жидкой тканью организма, служит важнейшим физиологическим фактором, который быстро откликается на воздействие меняющихся условий внешней среды и тем самым отражает общее состояние изучаемого объекта. Она функционально тесно связана со всеми тканями и клетками живого организма, поэтому любая аномалия в тканях и органах моментально сказывается на показателях крови. В свою очередь, изменения показателей крови влекут за собой изменения, а иногда и нарушения в строении и работе органов и тканей живого организма. Именно поэтому, при анализе физиоло-иммунологического статуса рыб необходимо проводить гематологические исследования.

Пробиотики оказывают положительное влияние на гематологические показатели, это касается содержания гемоглобина, количества эритроцитов, лейкоцитов и некоторых других параметров крови, что выражается в улучшении физиолого-иммунологического статуса рыб [11].

Оценка влияния рациона с содержанием пробиотического препарата, иммобилизованного на энтеросорбенте на основе штаммов бактерий р. *Bifidobacterium* и *Lactobacillus* на гематологические показатели двухгодовиков бестера не выявила признаков отрицательного воздействия на физиологический статус рыб (таблица 1).

Таблица 1 – Гематологические показатели бестера (n=20)
Table 1 – Bester's hematological parameters (n=20)

Показатель / Indicator	Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	СОЭ, мм/ч / ESR, mm/h	Гематокрит, % / Hematocrit, %	Эритроциты, 10 ⁶ мкл / Red blood cells, 10 ⁶ µl	СГЭ, пг / SGE, pg
Контрольная / Control	51,7±1,54	3,2±0,21	26,5±1,41	0,90±0,02	57,4±2,01
Опытная 1 / Experimental 1	51,9±1,65	3,0±0,32	28,1±1,52	0,89±0,05	58,3±1,87
Опытная 2 / Experimental 2	56,2±1,97*	2,9±0,11*	27,5±1,24	0,97±0,04*	57,9±1,68
Опытная 3 / Experimental 3	52,1±1,12	2,8±0,35*	24,1±1,78	0,85±0,04	61,3±1,97*

Примечание: различия достоверны при * P≤0,05

Note: the differences are significant at * P<0.05

Проведенные исследования позволили установить положительное влияние пробиотика-энтеросорбента на основные гематологические показатели исследуемых осетровых рыб. В частности, следует отметить устойчивое повышение гемоглобина в рамках физиологических стандартов, у экспериментальных групп. Так, максимальное значение гемоглобина, на уровне 56,2 г/л было определено в опытной группе, содержащейся на рационе с добавлением 4 грамм пробиотика на килограмм комбикорма, что выше, чем в контрольной группе на 9 %. В остальных опытных группах также было отмечено устойчивое повышение количества гемоглобина по сравнению с контрольным вариантом.

Показатель СОЭ отражает состояние здоровья рыб. Следует отметить, что замедление скорости оседания эритроцитов происходит при увеличении вязкости крови, ускорение же указывает на наличие воспалительных процессов и ухудшение кровообращения [1]. При проведении гематологических анализов было установлено, что показатель СОЭ по исследуемым группам отличался незначительно, тем не менее, самый высокий – 3,2 мм/ч был отмечен в контрольной группе, без применения пробиотика-энтеросорбента. Остальные гематологические показатели двухгодовиков бестера также находились в пределах нормы и имели оптимальные физиологические значения.

Для выявления иммунореактивности при воздействии факторов внешней среды, включая кормление, на исследуемые объекты, необходимо было провести подсчет лейкоцитарной формулы (рисунок 1).

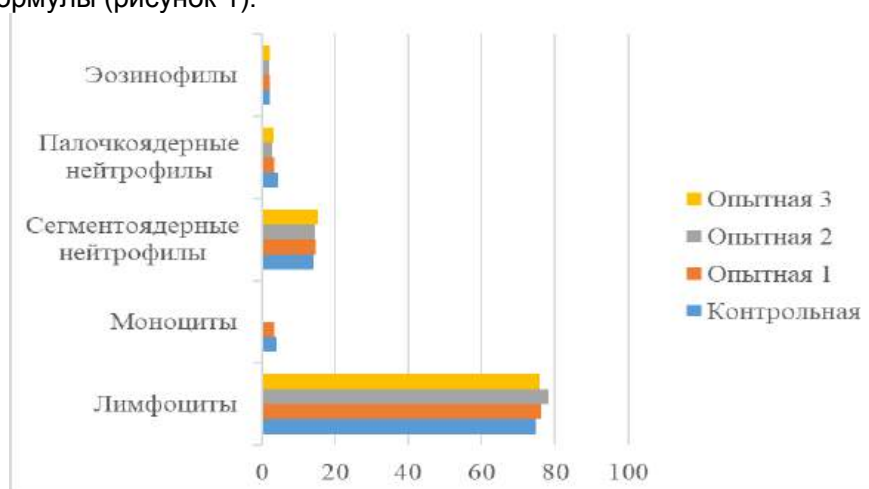


Рисунок 1 – Лейкограмма крови бестера, %
Figure 1 – Bester's leukogram of blood, %

Лимфоциты, являясь самой большой группой лейкоцитов рыб [12], участвуют в формировании специфического иммунитета. Это самые быстро реагирующие клетки иммунной системы живого организма [13]. Результаты проведенных исследований показывают, что содержание лимфоцитов на протяжении всего эксперимента оставалось в пределах физиологической нормы. У опытной группы 2, получающей рацион с содержанием 4 г пробиотика наблюдался самый высокий показатель содержания лимфоцитов в периферической крови – 76,45 %.

Известно, что сегментоядерные нейтрофилы выполняют фагоцитарную функцию в организме. В проведенных экспериментах их доля находилась в пределах референсных значений. Достоверных отличий от контроля не наблюдалось.

Моноциты принимают активное участие в иммуногенезе и гранулопоэзе, кроме того способны инактивировать токсины [12]. Установлено, что в результате проведенных экспериментов доля моноцитов в лейкограмме двухгодовиков бестера составила 4,15 % в контрольном варианте. У бестера, получающего рацион с содержанием 4 г пробиотика – энтеросорбента была определена самая низкая доля от лейкограммы – 2,69 %. Однако, следует отметить, что во всех вариантах эксперимента показатели лейкоцитарной формулы не выходили за границы референсного диапазона.

Для оценки влияния пробиотика – энтеросорбента на физиолого-иммунологический статус рыб необходимо было так же определить показатель ИСЛ (рисунок 2).



Рисунок 2 – Влияние пробиотика на ИСЛ в крови бестера
Figure 2 – The effect of probiotics on bester leukocyte shift index

По результатам проведенных исследований установлено, что во всех опытных группах, потреблявших основной рацион с содержанием пробиотического препарата, индекс сдвига лейкоцитов был несколько ниже по сравнению с контрольной группой, где его значение составило 0,27. Самый низкий показатель находился на уровне 0,24, и наблюдался в опытной группе 2, потреблявшей в рационе 4 г пробиотического препарата. Это свидетельствует о благоприятном действии исследуемого препарата на организм двухгодовалых бестера. В первой и третьей опытных группах также наблюдалось снижение данного показателя, однако отличия от контроля не были столь значительны. Значения показателя во всех группах, включая контрольную, находились в пределах референсных значений для данного вида рыб.

Заключение. Таким образом, проведенные исследования позволили установить положительное воздействие сорбированного пробиотического препарата, представляющего собой комплекс бифидобактерий р. *Bifidobacterium*, сорбированных на активированном угле, и лактобактерий р. *Lactobacillus* на организм осетровых рыб. Бифидобактерии и лактобактерии синергически взаимодействуя, поддерживают и регулируют физиологическое равновесие кишечной микрофлоры, повышают устойчивость слизистой оболочки кишечника к болезнетворным микроорганизмам, обладают антагонистической активностью в отношении многих патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, нормализуют показатели иммунитета. Установлено, что применение пробиотического препарата в комбикормах для ценных объектов аквакультуры улучшало показатели крови, повышая содержание гемоглобина до 56,2 г/л. Опытные исследования показали, что оптимальным содержанием пробиотического препарата – энтеросорбента следует считать 4 г на килограмм комбикорма. Именно такое содержание пробиотика способствует снижению напряженности иммунной реакции рыб, улучшая микроциркуляцию крови за счет улучшения ее реологических свойств.

Conclusion. Thus, the conducted studies made it possible to establish the positive effect of the sorbed probiotic preparation, which is a complex of *Bifidobacterium* sorbed on activated carbon, and *Lactobacillus* on the body of sturgeon fish. *Bifidobacteria* and *lactobacilli* interact synergistically to support and regulate the physiological balance of the intestinal microflora, increase the resistance of the intestinal mucosa to pathogenic microorganisms, have antagonistic activity against many pathogenic and opportunistic microorganisms, and normalize immunity. The use of a probiotic drug in compound feeds for valuable aquaculture facilities improves blood counts, increasing the hemoglobin content to 56.2 g/l. Experimental studies have shown that the optimal content of probiotic enterosorbent preparation should be considered 4 g per kilogram of compound feed. It is this probiotic content that helps to reduce the intensity of the immune response of fish, improving blood microcirculation by improving its rheological properties.

Библиографический список

1. Жандалгарова А. Д., Бахарева А. А., Грозеску Ю. Н. Оценка влияния пробиотического препарата на энтеросорбенте «Флорин форте» на физиолого-иммунологическое состояние бестера. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2023. № 4. С. 42-47.
2. Тарлева А. Ф., Микряков Д. В., Жандалгарова А. Д. Влияние пробиотического препарата «Экофлор» на протеолитическую активность кишечника стерляди. Международный вестник ветеринарии. 2024. № 1. С. 215-223.
3. Жандалгарова А. Д., Бахарева А. А., Грозеску Ю. Н. Применение сорбированных пробиотических препаратов в кормлении осетровых рыб. Астрахань: Астраханский государственный технический университет, 2025. 68 с.
4. Романова Н. Н., Головина Н. А., Головин П. П. и др. Гематологические показатели муксуна (*Coregonus muksun* Salmonidae) при формировании ремонтно-маточного стада в условиях рыбоводного завода. Вопросы рыболовства. 2020. № 3. С. 331-342.
5. Юрин Д. А. и др. Влияние применения пробиотиков на рыбоводно-биологические показатели и приросты осетровых рыб. Сборник научных КНЦЗВ. 2022. Т. 11. № 1. С. 100-104.
6. Жандалгарова А. Д. и др. Иммуномодулирующее действие комплекса бифидо- и лактобактерий на неспецифический гуморальный иммунитет гибрида осетровых рыб. Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2025. № 2. С. 249-254.
7. Нгуен Т. Х. В. и др. Оценка гематологических показателей при использовании различных белковых компонентов в кормах для речного (Европейского) окуня (*Perca fluviatilis* L.). АПК России: образование, наука, производство: сборник статей V Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. С. 226-231.
8. Zhandalgarova A. D., Bakhareva A. A., Grozesku Yu. N., Fedorovykh Yu. V., Sergeeva Yu. V. Normalization of the symbiotic intestinal microflora of sturgeon's juvenile with the introduction of a new generation of probiotic preparations into their diet. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 723. No 2. P. 022028.
9. Жандалгарова А. Д. и др. Влияние иммобилизованной формы пробиотического препарата "Экофлор" на показатели неспецифического гуморального иммунитета осетровых рыб. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2023. № 2. С. 77-84.
10. Сергина Ю. А. и др. Влияние пробиотика, иммобилизованного на энтеросорбенте, на интенсивность роста и физиологические показатели красной тиляпии (*Oreochromis mossambicus* × *Oreochromis niloticus*). Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2023. № 1. С. 64-71.

11. Zhandalgarova A. et al. Analysis of the effect of the sorbent probiotic drug "Florin Forte" on the cellular immunity of the Russian-Lena sturgeon. IV International Conference on Ensuring Sustainable Development in the Context of Agriculture, Energy, Ecology and Earth Science (ESDCA2024): E3S Web of Conferences. Smolensk, 2024. Vol. 510. P. 1034.

12. Жандалгарова А. Д. и др. Анализ лейкоцитарной формулы периферической крови стерляди (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758), выращенной с применением пробиотика-энтеросорбента «Экофлор». Наука и практика - 2022: материалы Всероссийской междисциплинарной научной конференции. Астрахань: Астраханский государственный технический университет, 2022. С. 93-94.

13. Гордеев И. И., Балабанова Л. В., Суворова Т. А., Микряков Д. В. Состав лейкоцитов периферической крови горбуши *Oncorhynchus gorbusha* и кеты *O. keta* (Salmonidae) в морской период жизни. Вопросы ихтиологии, 2022. Т. 62. № 2. С. 244-248.

References

1. Zhandalgarova A. D., Bakhareva A. A., Grozescu Yu. N. Evaluation of the effect of a probiotic drug on enterosorbent Florin forte on the physiological and immunological state of bester. Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries. 2023. No 4. Pp. 42-47.

2. Tarleva A. F., Mikryakov D. V., Zhandalgarova A. D. The effect of the probiotic drug "Ecoflor" on the proteolytic activity of the sterlet intestine. International Bulletin of Veterinary Medicine. 2024. No 1. Pp. 215-223.

3. Zhandalgarova A. D., Bakhareva A. A., Grozescu Yu. N. The use of sorbed probiotic drugs in feeding sturgeon fish. Astrakhan: Astrakhan State Technical University, 2025. 68 p.

4. Romanova N. N., Golovina N. A., Golovin P. P. et al. Hematological parameters of the muksun (*Coregonus muksun* Salmonidae) during the formation of a repair and broodstock in a fish hatchery. Fishing issues. 2020. No 3. Pp. 331-342.

5. Yurin D. A. et al. The effect of the use of probiotics on fish-breeding and biological parameters and sturgeon fish growth. Collection of scientific CSCSV. 2022. Vol. 11. No. 1. Pp. 100-104.

6. Zhandalgarova A. D. et al. The immunomodulatory effect of the bifido- and lactobacilli complex on the non-specific humoral immunity of a hybrid of sturgeon fish. Proceedings of the Russian Academy of Sciences. The series is biological. 2025. No 2. Pp. 249-254.

7. Nguyen T. H. V. et al. Assessment of hematological parameters when using various protein components in feeds for river (European) perch (*Perca fluviatilis* L.). Agro-industrial Complex of Russia: education, science, production: Collection of articles of the V All-Russian (National) Scientific and Practical Conference with international participation. Penza: Penza State Agrarian University, 2023. Pp. 226-231.

8. Zhandalgarova A. D., Bakhareva A. A., Grozesku Yu. N., Fedorovych Yu. V., Sergeeva Yu. V. Normalization of the symbiotic intestinal microflora of sturgeon's juvenile with the introduction of a new generation of probiotic preparations into their diet. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 723. No 2. P. 022028.

9. Zhandalgarova A. D. et al. The effect of the immobilized form of the probiotic drug "Ecoflor" on the indicators of nonspecific humoral immunity of sturgeon fish. Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries. 2023. No 2. Pp. 77-84.

10. Sergina Y. A. et al. Effect of a probiotic immobilized on an enterosorbent on the growth intensity and physiological parameters of red tilapia (*Oreochromis mossambicus* × *Oreochromis niloticus*). Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Fishery. 2023. № 1. Pp. 64-71.

11. Zhandalgarova A. et al. Analysis of the effect of the sorbent probiotic drug "Florin Forte" on the cellular immunity of the Russian-Lena sturgeon. IV International Conference on Ensuring Sustainable Development in the Context of Agriculture, Energy, Ecology and Earth Science (ESDCA2024): E3S Web of Conferences. Smolensk, 2024. Vol. 510. P. 1034.

12. Zhandalgarova A. D. et al. Analysis of the leukocyte formula of peripheral sterlet blood (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758) grown using the probiotic enterosorbent Ecoflor. Science and Practice - 2022: Proceedings of the All-Russian Interdisciplinary Scientific Conference. Astrakhan: Astrakhan State Technical University, 2022. Pp. 93-94.

13. Gordeev I. I., Balabanova L. V., Suvorova T. A., Mikryakov D. V. Composition of peripheral blood leukocytes of pink salmon *Oncorhynchus gorbusha* and chum salmon *O. keta* (Salmonidae) in the marine period of life. Questions of Ichthyology. 2022. V. 62. No. 2. Pp. 244-248.

Информация об авторах

Жандалгарова Аделя Джуманияшевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» (Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, стр. 16/1), e-mail: zhandalgarova@mail.ru

Сергеева Юлия Валерьевна, кандидат биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» (Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, стр. 16/1), e-mail: js4444@mail.ru

Грозеску Юлия Николаевна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» (Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, стр. 16/1), e-mail: grozesku@yandex.ru

Грозеску Лариса Юрьевна, магистрант, ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), (Российская Федерация, 190013, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, 24-26/49А), e-mail: grozesku@yandex.ru

Authors' Information

Zhandalgarova Adelya Dzhumaniashevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Astrakhan State Technical University (Russian Federation, 414056, Astrakhan, Tatishcheva str., 16/1), e-mail: zhandalgarova@mail.ru

Sergeeva Yulia Valeryevna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Astrakhan State Technical University (Russian Federation, 414056, Astrakhan, Tatishcheva str., 16/1), e-mail: js4444@mail.ru

Grozesku Yulia Nikolaevna, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Astrakhan State Technical University (Russian Federation, 414056, Astrakhan, Tatishcheva str., 16/1), e-mail: grozesku@yandex.ru

Grozesku Larisa Yurievna, Master's student, St. Petersburg State Institute of Technology (Technical University), (24-26 Prospekt/ 49 letter A, Russian Federation, 190013, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 24-26/49A), e-mail: grozesku@yandex.ru

THE INTEGRATION OF THE SUCKLING PIGLETS FROM THE MULTIPLE NESTS WITHOUT THEIR DISBANDMENT AS A FACTOR OF THE YOUNG PIG'S PRODUCTIVITY INCREASING**Kostenko S. V., Koshchaev A. G.***Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin
Krasnodar, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: svkostenko1964@mail.ru

Received 11.11.2025

Submitted 31.12.2025

Summary

The results indicate that simulating some aspects of keeping piglets in natural conditions, such as integration during lactation with individuals from other litters, can have a positive impact on weaning results and open up opportunities for industrial rearing technologies that improve suckling conditions and potentially increase productivity.

Abstract

Introduction. It is not always possible to fully realize the genetic potential of highly productive sows in production conditions, since it is impossible to single out the optimal ones among the individual technological methods of growing piglets from multiple nests during the suckling period. In addition, when weaning from a sow, piglets face drastic changes in their physical and social environment, as well as changes in maintenance and feeding. The transfer of young animals to rearing is always associated with a slowdown in growth and is often accompanied by diarrhea. These circumstances make it urgent and necessary to find solutions that would be more effective and meet the biological and physiological characteristics of both highly productive sows and suckling pigs. **The object.** The object of research is the young pigs after weaning. **Materials and methods.** The experimental part of the work was performed in the conditions of the CPC "Piglet" of the Kuban State Agrarian University Educational facilities on sows of Landrace × Yorkshire and piglets of Landrace × Yorkshire × Duroc. **Results and conclusions.** The incidence of diarrhea in the first four weeks after weaning was higher in the young of the control group and by the end of this period was 5.24 % versus 4.05 % in the group of socialized piglets. In comparison with the control, the piglets of the experimental group demonstrated a higher consumption of compound feed: by 9.0 % during rearing and by 3.4 % during fattening, which also influenced the intensity of their growth. Thus, during the rearing and fattening period, the animals of the experimental group outperformed their peers in the control group in terms of average daily growth by 10.4 % and 7.9 %, in terms of feed costs – by 5.3 % and 6.5 % respectively.

Keywords: *young pigs, suckling pigs, productivity of young pigs, growth rate of piglets.*

Citation. Kostenko S. V., Koshchaev A. G. The integration of the suckling piglets from the multiple nests without their disbandment as a factor of the young pig's productivity increasing. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 344-350 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-36.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 636.4.083.37

**ИНТЕГРАЦИЯ ПОРОСЯТ-СОСУНОВ ИЗ МНОГОПЛОДНЫХ ГНЕЗД
БЕЗ ИХ РАСФОРМИРОВАНИЯ КАК ФАКТОР
ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ МОЛОДНЯКА СВИНЕЙ****Костенко С. В., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Кощаев А. Г., доктор биологических наук, профессор, академик РАН***ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»
г. Краснодар, Российская Федерация*

Актуальность. Реализовать в производственных условиях генетический потенциал высокопродуктивных свиноматок в полном объеме не всегда представляется возможным, так как среди отдельных технологических приемов выращивания в подсосный период поросят из многоплодных гнезд нельзя выделить оптимальные. Кроме того, при отъеме от свиноматки поросята сталкиваются с резкими изменениями в своей физической и социальной среде, а также с изменениями в содержании и кормлении. Перевод молодняка на дорастивание всегда связан с замедлением роста и часто сопровождается диареей. Перечисленные обстоятельства обуславливают актуальность и необходимость поиска таких решений, которые были бы более эффективны и соответствовали биологическим и физиологическим особенностям как высокопродуктивных свиноматок, так и поросят-сосунков. **Объект.** Объектом исследований является молодняк свиней после отъема. **Материалы и методы.**

Экспериментальная часть работы выполнена в условиях УПК «Пятачок» учхоза «Кубань» ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ на свиноматках ландрас × йоркшир и подсосных ландрас × йоркшир × дюркок. **Результаты и выводы.** Частота появления диареи в первые четыре недели после отъема была выше у молодняка контрольной группы и к концу данного периода составляла 5,24 % против 4,05 % в группе социализированных поросят. В сравнении с контролем, поросята опытной группы демонстрировали более высокое потребление комбикормов: на 9,0 % в период дорастивания и на 3,4 % – откорма, что оказало влияние и на интенсивность их роста. Так, животные опытной группы в период дорастивания и откорма превосходили сверстников в контрольной группе по среднесуточному приросту на 10,4 % и 7,9 %, по затратам корма – на 5,3 % и 6,5 % соответственно.

Ключевые слова: молодняк свиней, поросята-сосуны, продуктивность молодняка свиней, интенсивность роста поросят.

Цитирование. Костенко С. В., Коцаев А. Г. Интеграция поросят-сосунов из многоплодных гнезд без их расформирования как фактор повышения продуктивности молодняка свиней. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 344-350. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-36.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Отъем от свиноматки – это критически важный этап, в течение которого поросята подвергаются многочисленным стрессам, которые могут оказывать кумулятивное воздействие на их здоровье и развитие: переход от молока свиноматки к твердому корму в сочетании с изменениями окружающей среды и социальной перестройкой создает сложную ситуацию для молодняка свиней [1-3]. Более того, переход поросят на твердую диету и воздействие другой микробиологической среды, в сочетании с их еще незрелой пищеварительной и иммунной системой, связаны с изменениями в функции кишечника: дисбактериоз, изменение барьерной функции кишечника и диарея являются обычным явлением после отъема [4-6].

Стрессовые факторы, возникающие при отъеме, неизбежны в развитии поросят, однако эффективные методы подготовки к этому процессу могут значительно минимизировать их влияние на здоровье и продуктивность [7, 8].

Рядом авторов [9-12] выдвинута гипотеза о том, что интеграция на раннем этапе постнатального онтогенеза поросят из многоплодных гнезд без их расформирования позволяет после отъема поросят от свиноматок увеличить в период дорастивания и откорма потребление молодняком корма, снизить проявление социального стресса и частоту появления диареи, а также повысить интенсивность роста.

Целью нашего исследования являлась оценка продуктивных качеств молодняка свиней при ранней социализации сосунов в системе группового содержания и при одногнездом способе выращивания.

Материалы и методы. Экспериментальная часть работы выполнена в условиях УПК «Пятачок» учхоза «Кубань» ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ. После опороса свиноматок и их приплод случайно распределили в одну из двух групп. Схема опыта представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Схема опыта
Table 1 – The scheme of experience

Группа / Group	Количество свиноматок в группе, голов / Number of sows in a group	Стратегия формирования гнезда / Nest formation strategy	Технология содержания / Housing technology
контрольная / control	40	по количеству функциональных сосков у свиноматки / by the number of functional nipples in a sow	индивидуальное содержание подсосной свиноматки с поросятами в станке для опороса / Individual housing of a lactating sow with piglets in a farrowing pen
опытная / experimental		по числу родившихся живых поросят / by the number of live piglets born	многогнездное содержание подсосных поросят за счет объединения четырех смежных станков / multicavity housing of suckling piglets by combining four adjacent pens

Свиноматки с поросятами контрольной группы содержались по принятой в хозяйстве технологии и на протяжении всего периода лактации оставались в станке для опороса со своей биологической матерью.

Для содержания опытных животных поперечная стенка станка, отделяющая его от технического прохода, убиралась, объединяя тем самым зону для поросят четырех смежных станков и технологический проход, что позволило поросятам этих свиноматок получить доступ к общему технологическому проходу и дополнительно к трем станкам. При этом опытные свиноматки оставались в фиксированном состоянии в боксах для опороса.

На пятый день постнатального онтогенеза всем поросятам были проведены необходимые зоотехнические и ветеринарные мероприятия (купирование хвостов, кастрация хрячков, инъекция препарата железа). На тридцатые сутки жизни поросят был проведен их отъем от свиноматок.

При достижении поросятами 30-дневного возраста был проведен их отъем от свиноматок и перевод в станки секции дорастивания. При формировании групп на дорастивании поросята контрольной группы из разных гнезд были интегрированы и в зависимости от живой массы распределены между двумя смежными станками по 25-26 голов в каждом, тогда как в опытной группе заполнение смежных станков осуществлялось социализированными в подсосный период отъемышами по 29-30 голов.

Результаты и обсуждение. После отъема поросят морфология кишечника претерпевает значительные изменения, вызванные переходом с молочного питания на твердые корма, что может оказать влияние на их здоровье и продуктивность. Изменение после отъема структуры слизистой оболочки двенадцатиперстной кишки подопытного молодняка свиней было использовано для оценки функции кишечника в зависимости от стратегии выращивания поросят в подсосный период.

Нами были проведены гистологические исследования срезов тканей двенадцатиперстной кишки подопытных поросят. Анализ гистологических препаратов выполняли с помощью микроскопа «Axio Imager» с системой визуализации. Полученные данные обработаны с помощью программного обеспечения ZEISS ZEN.

Пищеварительная функция тонкого кишечника тесно связана с архитектурой слизистой оболочки, в частности с формой и размером ворсинок. Ткань двенадцатиперстной кишки поросят опытной группы имела анатомически правильное строение, стенка состояла из слизистой оболочки, представленной кишечными ворсинками (рисунок 1), структура которых в большинстве срезов сохранена.

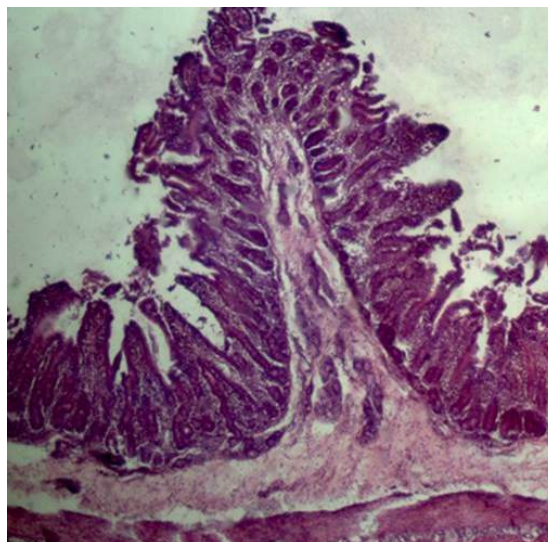
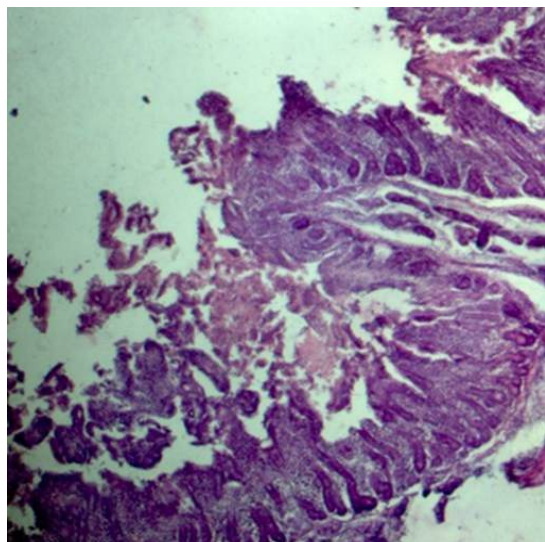


Рисунок 1 – Срез ткани двенадцатиперстной кишки поросят контрольной (слева) и опытной (справа) групп после отъема

Figure 1 – Tissue section of the duodenum of piglets of the control (left) and experimental (right) groups after weaning

Эпителиальный слой слизистой оболочки представлен однослойным каемчатым эпителием, в котором между ворсинками просматривались крипты. Собственный слой выстлан рыхлой и ретикулярной соединительной тканью. Мышечный слой слизистой оболочки состоял из кольцевого и наружного слоя, соединяющихся косыми волокнами.

При гистологическом исследовании срезов тканей двенадцатиперстной кишки молодняки контрольной группы установлено нарушение архитектоники органа. Ворсинки укорочены, неравномерно утолщены, имеются единичные кистозно расширенные крипты, которые не затрагивают всю толщину слизистой оболочки. Кроме того, отмечен отек и лимфоидная пролиферация в слизистой оболочке собственной пластинки.

В подсосный период поросята контрольной группы потребляли престартера меньше, что привело к недостатку в организме энергии и белка, в результате чего скорость регенерации эпителиальных клеток двенадцатиперстной кишки после отъема была ниже скорости апоптоза, а высота ворсинок стала меньше.

Таким образом, после отъема у молодняки контрольной группы наиболее выражены атрофические и воспалительные изменения в двенадцатиперстной кишке, что повышает риск диареи.

Отъем от свиноматки и смена рациона питания при недоразвитом пищеварительном тракте вызывает у отъемышей значительные изменения в морфологии и функции тонкого отдела кишечника, его воспаление, повреждение ворсинок и нарушение барьерной функции, что снижает потребление поросятами корма, увеличивает частоту появления диареи и снижает интенсивность их роста.

В нашем исследовании социализированный молодняк свиней показал лучшую морфологию двенадцатиперстной кишки по сравнению со сверстниками контрольной группы, которая, по нашему мнению, оказала влияние на частоту появления диареи у отъемышей (таблица 2).

Таблица 2 – Частота появления диареи у молодняки свиней после отъема

Table 2 – Frequency of diarrhea in young pigs after weaning

Показатель / Indicator			Группа / Group	
			контрольная / control	опытная / experimental
дней после отъема / days after weaning	0-7	голов / quantity	107	110
		%	20,78	18,58
	8-14	голов / quantity	116	109
		%	22,52	18,32
	15-21	голов / quantity	47	46
		%	9,13	7,77
	22-28	голов / quantity	27	24
		%	5,24	4,05

Частота появления диареи в первые четыре недели после отъема была выше у молодняки контрольной группы: 0-7 дней – на 2,2 %, 8-14 дней – на 4,2 %, 15-21 день – на 1,36 % и 22-28 дней – на 1,19 %. При этом, данный показатель у социализированных отъемышей постепенно снижался с 18,58 % в первую неделю до 4,05 % в четвертую неделю, в то время как у поросят, содержащихся в период лактации по традиционной технологии, во вторую неделю отмечено его увеличение на 1,74 % с 107 до 116 голов с снижением до 5,24 % в четвертую неделю.

Полученные результаты показали, что стратегия социализации поросят в подсосный период способствует уменьшению количества заболеваний отъемышей диареей за счет лучшей морфологии тонкого отдела кишечника.

Формирование после отъема групп из социализированных свиней способствовало повышению среднесуточного потребления корма (таблица 3), которое с возрастом увеличилось как в контрольной, так и в опытной группах, соответственно с 0,62 и 0,68 кг после отъема до 2,72 и 2,81 кг – перед реализацией.

Таблица 3 – Потребление комбикорма молодняком свиней в период дорастивания
Table 3 – Consumption of mixed feed by young pigs during the rearing period

Вид комбикорма / Type of compound feed	Возраст, дней / Age, days	Группа / Group			
		контрольная / control		опытная / experimental	
		потребление комбикорма, кг / Feed consumption, kg			
		за период / for the period	в сутки / per day	за период / for the period	в сутки / per day
период дорастивания / growing period					
СПК–3	31-35	3,1	0,62	3,4	0,68
СПК–4	36-50	10,5	0,70	11,6	0,77
СПК–5	51-80	43,9	1,46	47,7	1,59
Итого / в среднем / Total / average	31-80	57,5	1,15	62,7	1,25
период откорма / fattening period					
СПК–6	81-120	95,9	2,40	100,3	2,51
СПК–7	121-150	94,6	3,15	96,6	3,22
Итого / в среднем / Total / average	81-150	190,5	2,72	196,9	2,81

Более высокий уровень потребления корма социализированными поросятами в подсосный период стало стимулом увеличения его потребления и после отъема. Так, поросята опытной группы за период дорастивания съели на 9,0 % комбикорма больше, т. е. 62,7 кг против 57,5 кг в контроле: в возрасте 31-35 дней на 9,7 %; 36-50 дней – на 10,5 %; 51-80 дней – на 8,7 %.

Аналогичная закономерность установлена нами и в период откорма, когда поросята опытной группы съели больше СПК-6 на 4,6 %, а СПК-7 – 2,1 %. Таким образом, с 81 по 150 день интегрированные поросята потребили комбикорма на 3,4 % больше.

По нашему мнению, объединение поросят из разных гнезд на ранних этапах онтогенеза способствовало взаимодействию между ними, а также их социальному обучению пищевому поведению у более активных и опытных сверстников, что привело к повышению продуктивности (таблица 4).

Таблица 4 – Продуктивные качества молодняка
Table 4 – Productive qualities of young animals

Показатель / Indicator		Группа / Group	
		контрольная / control	опытная / experimental
период дорастивания / fattening period			
Живая масса, кг / Live weight, kg	в начале периода / at the beginning of the period	8,5 ± 0,3	8,6 ± 0,1
	в конце периода / at the end of the period	39,4 ± 1,2	42,7 ± 1,0
Абсолютный прирост за период дорастивания, кг / Absolute growth during the growing period, kg		30,9 ± 0,8	34,1 ± 0,6*
Среднесуточный прирост за период дорастивания, г / Average daily gain during the growing period, g		618	682
Затраты корма на 1 кг прироста, кг / Feed consumption per 1 kg of gain, kg		1,9	1,8
Сохранность, % / Preservation, %		98,8	99,2
период откорма / fattening period			
Живая масса в конце периода, кг / Live weight at the end of the period, kg		101,7 ± 2,9	109,9 ± 3,2
Абсолютный прирост за период откорма, кг / Absolute gain for the fattening period, kg		62,3	67,2
Среднесуточный прирост за период откорма, г / Average daily gain for the fattening period, g		890	960
Возраст достижения массы 100 кг, дней / Age of reaching a weight of 100 kg, days		148	140
Затраты корма на 1 кг прироста, кг / Feed consumption per 1 kg of gain, kg		3,1	2,9
Сохранность, % / Preservation, %		99,2	99,3
Примечание: * – P < 0,05 / Note: * – P < 0.05			

В период дорастивания и откорма поросята опытной группы имели преимущество по всем откормочным качествам: по живой массе в конце соответствующего периода на 3,3 кг (8,4 %) и 8,2 кг (8,1 %), абсолютному приросту – на 3,2 кг (10,4 %) и 4,9 кг (7,9 %), среднесуточному приросту – 64 г (на 10,4 %) и 70 г (7,9 %), затратам корма – 0,1 кг (5,3 %) и 0,2 кг (6,5 %) и сохранности – на 0,4 % и 0,1 %. При этом продолжительность откорма социализированных поросят до живой массы 100 кг составила 140 дней, что на 8 дней (5,4 %) короче в сравнении со сверстниками контрольной группы.

Заключение. В качестве альтернативы традиционной системе выращивания сосунов, которая предусматривает индивидуальное содержание подсосной свиноматки с поросятами в станке для опороса и стандартизацию многоплодного гнезда по количеству функциональных сосков у матки, нами предложена стратегия интеграции поросят на четвертый день подсосного периода за счет объединения четырех гнезд без их расформирования.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что после отъема у молодняка контрольной группы наиболее выражены атрофические и воспалительные изменения в двенадцатиперстной кишке, что повышает риск диареи. Частота появления диареи у социализированных отъемышей постепенно снижалась с 18,58 % в первую неделю до 4,05 % в четвертую неделю, в то время как у поросят, содержащихся в период лактации по традиционной технологии, во вторую неделю отмечено ее увеличение на 1,74 % с 107 до 116 голов со снижением до 5,24 % в четвертую неделю.

Более высокий уровень потребления корма социализированными поросятами в подсосный период стал стимулом увеличения его потребления и после отъема. Поросята опытной группы за период дорастивания съели больше комбикорма на 9,0 %, а на откорме – на 3,4 %.

В период дорастивания и откорма поросята опытной группы имели преимущество по всем откормочным качествам: по живой массе в конце соответствующего периода на 8,4 % и 8,1 %, абсолютному приросту – на 10,4 % и 7,9 %, среднесуточному приросту – на 10,4 % и 7,9 %, затратам корма – на 5,3 % и 6,5 % и сохранности – на 0,4 % и 0,1 %. При этом продолжительность откорма социализированных поросят до живой массы 100 кг составила 140 дней, что на 8 дней короче в сравнении со сверстниками контрольной группы.

Conclusions. As an alternative to the traditional suckling breeding system, which provides for the individual maintenance of suckling sows with piglets in a farrowing machine and the standardization of a multiple nest in terms of the number of functional nipples in the uterus, we proposed a strategy for integrating piglets on the fourth day of suckling period by combining four nests without disbanding them.

The results of the conducted studies indicate that after weaning, atrophic and inflammatory changes in the duodenum are most pronounced in the young of the control group, which increases the risk of diarrhea. The incidence of diarrhea in socialized weaning animals gradually decreased from 18.58 % in the first week to 4.05 % in the fourth week, while in piglets kept during lactation using traditional technology, it increased by 1.74 % from 107 to 116 heads in the second week, with a decrease to 5.24 % in the fourth week.

The higher level of feed consumption by socialized piglets during the suckling period became an incentive to increase its consumption even after weaning: piglets of the experimental group ate compound feed by 9.0% during the rearing period, fattening by 3.4 %.

During the rearing and fattening period, the piglets of the experimental group had an advantage in all feeding qualities: by body weight at the end of the corresponding period by 8.4 % and 8.1 %, absolute increase by 10.4 % and 7.9 %, average daily increase by 10.4 % and 7.9 %, feed costs by 5.3 % and 6.5 % and safety by 0.4 % and 0.1 %. At the same time, the duration of fattening of socialized piglets to a live weight of 100 kg was 140 days, which is 8 days shorter compared to the peers of the control group.

Библиографический список

1. Van Kerschaver C., Turpin D., Michiels J., Pluske J. Reducing weaning stress in piglets by pre-weaning socialization and gradual separation from the sow: a review. *Animals*. 2023. No 13. 1644.
2. Кошаев А. Г., Костенко С. В., Чусь Р. В., Попов А. А. Продуктивность свиноматок в условиях интенсивной промышленной технологии. Зоотехническая и ветеринарная наука – основа инновационного развития животноводства России: сборник статей. Москва, 2024. С. 175-179.
3. Чусь Р. В., Гапоненко В. Н., Крючин Д. В., Кошаев А. Г. Реализация генетического потенциала свиней при использовании инновационных технологических приемов. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 102. С. 320-324.
4. Кошаев А. Г., Костенко С. В., Чусь Р. В., Попов А. А., Розовенко М. В. и др. Оптимизация роста и пищеварительного обмена у молодняка свиней. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2024. № 113. С. 241-249.

5. Saladrigas-García M., D'Angelo M., Ko H. L., Traserra S., Nolis P. et al. Early socialization and environmental enrichment of lactating piglets affects the caecal microbiota and metabolomic response after weaning. *Sci Rep.* 2021. No 11 (1). 6113.
6. Mesarec N., Pačnik U., Mesarič A., Skok J., Škorjanc D. et al. The effect of socializing piglets during lactation on performance, suckling behavior and weaning aggression: a preliminary field study. *Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendelianae Brunensis.* 2020. № 1. V. 68. Pp. 73-79.
7. Rydhmer L., Andersson K. Effects of socializing piglets on sow and piglet performance and behaviour of entire male piglets. *Animal.* 2024. V. 18. I. 3. 101086.
8. Fels M., Schrey L., Rauterberg S., Kemper N. Early socialization ingroup lactation system reduces post-weaning aggression in piglets. *Vet Rec.* 2021. e830.
9. Mabunda R. N., Modiba M. C., Idowu P. A., Nephawe K., Mpofo T. Piglet survival from birth to weaning: A narrative review of associated sow and piglet characteristics and environmental factors. *Animal Biology.* 2025. № 5 (1). Pp.100-113.
10. Кощаев А. Г., Костенко С. В. Эффективность социализации в подсосный период поросят из многоплодных гнезд без их расформирования. *Аграрный вестник Урала.* 2025. Т. 25. № 7. С. 1074-1084.
11. Чусь Р. В., Гапоненко В. Н., Крючин Д. В. Использование инновационных приемов при выращивании поросят в подсосный период. Теоретические и практические аспекты инновационных достижений в зоотехнии и ветеринарной медицине: сборник научных статей Всероссийской научно-практической конференции. Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И. И. Иванова, 2022. С. 246-249.
12. Чусь Р. В., Шкредов В. В., Попов А. А. Ресурсосберегающие технологии повышения сохранности и продуктивности в свиноводстве. Научное обеспечение устойчивого развития агропромышленного комплекса горных и предгорных территорий: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 105-летию Горского ГАУ. Владикавказ, 2023. С. 86-89.

References

1. Van Kerschaver C., Turpin D., Michiels J., Pluske J. Reducing weaning stress in piglets by pre-weaning socialization and gradual separation from the sow: a review. *Animals.* 2023. No 13. 1644.
2. Koshchaev A. G., Kostenko S. V., Chus R. V., Popov A. A. Productivity of sows in conditions of intensive industrial technology. In the collection: Zootechnical and veterinary science is the basis for the innovative development of animal husbandry in Russia: a collection of articles based on the materials of the All-Russian scientific and practical conference. Moscow, 2024. Pp. 175-179.
3. Chus R. V., Gaponenko V. N., Kryuchin D. V., Koshchaev A. G. Realization of the genetic potential of pigs using innovative technological techniques. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University.* 2022. No. 102. Pp. 320-324.
4. Koshchaev A. G., Kostenko S. V., Chus R. V., Popov A. A., Rozovenko M. V. et al. Optimization of growth and digestive metabolism in young pigs. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University.* 2024. No. 113. Pp. 241-249.
5. Saladrigas-García M., D'Angelo M., Ko H. L., Traserra S., Nolis P. et al. Early socialization and environmental enrichment of lactating piglets affects the caecal microbiota and metabolomic response after weaning. *Sci Rep.* 2021. No 11 (1). 6113.
6. Mesarec N., Pačnik U., Mesarič A., Skok J., Škorjanc D. et al. The effect of socializing piglets during lactation on performance, suckling behavior and weaning aggression: a preliminary field study. *Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendelianae Brunensis.* 2020. № 1. V. 68. Pp. 73-79.
7. Rydhmer L., Andersson K. Effects of socializing piglets on sow and piglet performance and behavior of entire male piglets. *Animal.* 2024. V. 18. I. 3. 101086.
8. Fels M., Schrey L., Rauterberg S., Kemper N. Early socialization ingroup lactation system reduces post-weaning aggression in piglets. *Vet Rec.* 2021. e830.
9. Mabunda R. N., Modiba M. C., Idowu P. A., Nephawe K., Mpofo T. Piglet survival from birth to weaning: A narrative review of associated sow and piglet characteristics and environmental factors. *Animal Biology.* 2025. № 5 (1). Pp.100-113.
10. Koshchaev A. G., Kostenko S. V. The effectiveness of socialization in suckling piglets from multiple nests without their disbandment. *Agrarian Bulletin of the Urals.* 2025. Vol. 25. No. 7. Pp. 1074-1084.
11. Chus R. V., Gaponenko V. N., Kryuchin D. V. The use of innovative techniques in raising piglets during the suckling period. Theoretical and practical aspects of innovative achievements in animal science and veterinary medicine: collection of scientific articles of the All-Russian scientific and practical conference. Kursk: Kursk State Agricultural Academy named after I. I. Ivanov, 2022. Pp. 246-249.
12. Chus R. V., Shkredov V. V., Popov A. A. Resource-saving technologies for improving safety and productivity in pig breeding. Scientific support for the sustainable development of the agro-industrial complex of mountainous and foothill territories: materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation dedicated to the 105th anniversary of the Gorsky State Agrarian University. Vladikavkaz, 2023. Pp. 86-89.

Информация об авторах

Костенко Светлана Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. им. Калинина, 13), e-mail: svkostenko1964@mail.ru

Кощаев Андрей Георгиевич, доктор биологических наук, академик Российской академии наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. им. Калинина, 13), e-mail: koshhaev.a@kubsau.ru

Authors' Information

Kostenko Svetlana Vladimirovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, Kalinin Street, 13), e-mail: svkostenko1964@mail.ru

Koshchaev Andrey Georgievich, Doctor of Biological Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, Kalinin Street, 13), e-mail: koshhaev.a@kubsau.ru

THE RESULTS OF THE PROTEIN ADDITIVE AND THE MINERAL COMPLEX MIXED APPLICATION IN THE BROILER CHICKENS FEEDING**Lipova E. A., Nikolaev S. I., Ryabova M. A., Brykhno O. Yu., Agapov S. Yu., Agapova V. N., Vorontsova E. S., Vodyannikova V. V.***Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: Lipova.elenka@mail.ru

Received 11.01.2026

Submitted 03.02.2026

The study was conducted within the framework of the research contract No. 8 dated 04/14/2023 on the topic "The effect of biologically active feed additives on intestinal microflora, metabolic processes and productivity of broiler chickens".

Abstract

Introduction. The development and study of a protein-vitamin-mineral concentrate based on camelina cake, combined with bischofite, for feeding broiler chickens is relevant and in demand. This concentrate contributes to the optimization of diets, an increase in live weight, and a reduction in feed costs per chicken and per kg of weight gain in experimental broiler chickens. **Object.** Broiler chickens of the Ross-308 cross, raised to 37 days of age. **Materials and methods.** All studies presented in the article were conducted using generally accepted zootechnical methods. **Results and conclusions.** The use of a protein-vitamin-mineral concentrate based on camelina cake, along with bischofite, in broiler diets improves feed quality, increases digestibility, and reduces feed consumption. The control group of broiler chickens consumed 472.8 kg of feed, the highest figure compared to the experimental groups. Feed consumption in the experimental groups was slightly lower: 471.6 kg in the first experimental group, 468 kg in the second experimental group, and 470.4 kg in the third experimental group. At the end of the experiment, the live weight of broiler chickens in the control group was 2,430.85 g, exceeding this figure by 2.6 % in the first experimental group, which weighed 2,494.09 g. The same applies to the third experimental group, whose average live weight was 2,498.93 g. The second experimental group, where bischofite was added to the BVMK(R), continued to be the leader in live weight gain on the 37th day of the experiment; the average weight of chickens was 2502,75 g, which is 2.9 % more than the birds in the control group. The research makes a significant contribution to strengthening the industrial production of poultry products and is also a priority in ensuring food security for the country.

Keywords: broiler chickens, live weight of chickens, feeding of broiler chickens, bischofite, protein, vitamin and mineral concentrates, ginger cake.

Citation. Lipova E. A., Nikolaev S. I., Ryabova M. A., Brykhno O. Yu., Agapov S. Yu., Agapova V. N., Vorontsova E. S., Vodyannikova V. V. The results of the protein additive and the mineral complex mixed application in the broiler chickens feeding. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 351-359 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-37.

Authors' contribution. In this experiment, all authors took part in the planning, execution, and analysis of the research results. The presented version of the article has been approved by all authors.

Conflict of interest. The authors did not declare any conflicting interests.

УДК 636.5.033.087.7

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕЛКОВОЙ ДОБАВКИ СОВМЕСТНО С МИНЕРАЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ В КОРМЛЕНИИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ

Липова Е. А., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Николаев С. И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Рябова М. А., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Брюхно О. Ю., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Агапов С. Ю., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Агапова В. Н., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Воронцова Е. С., кандидат биологических наук
Водяникова В. В., доктор биологических наук, доцент

*ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация*

Исследование проведено в рамках договора на выполнение научно-исследовательских работ № 8 от 14.04.2023 г. по теме «Влияние биологически активных кормовых добавок на кишечную микрофлору, обменные процессы и продуктивность цыплят-бройлеров».

Актуальность. Разработка и исследование белково-витаминно-минерального концентрата на основе рыжикового жмыха совместно с бишофитом в кормлении цыплят-бройлеров, способствующих оптимизации рационов, увеличению живой массы, а также снижению затрат комбикорма на

одну голову и на один кг прироста подопытных цыплят-бройлеров, являются актуальными и востребованными. **Объект.** Цыплята-бройлеры кросса Росс-308, выращиваемые до 37-дневного возраста. **Материалы и методы.** Все представленные в статье исследования проводились с использованием общепринятых зоотехнических методов. **Результаты и выводы.** Применение белково-витаминно-минерального концентрата на основе рыжикового жмыха совместно с бишофитом в рационах цыплят-бройлеров способствует улучшению качества кормов, повышению их усвояемости и снижению расхода кормов. При выращивании контрольной группы цыплят-бройлеров было израсходовано 472,8 кг комбикорма; данный показатель в сравнении с опытными группами является наибольшим. Затраты комбикорма в опытных группах были несколько ниже; так, в 1-й опытной анализируемой группе показатель составил 471,6 кг, во 2-й опытной – 468 кг, в 3-й опытной группе – 470,4 кг. По окончании эксперимента живая масса цыплят-бройлеров контрольной группы составила 2430,85 г. Этот показатель превысили на 2,6 % 1-я опытная группа, масса цыплят в которой находилась на уровне 2494,09 г, а также 3-я опытная группа, средняя живая масса цыплят которой составила 2498,93 г. Лидером по привесу живой массы на 37-й день опыта оказалась 2-я опытная группа цыплят-бройлеров, где в БВМК(Р) был добавлен бишофит, средний вес цыплят при этом составил 2502,75 г, что на 2,9 % больше в сравнении с цыплятами контрольной группы. Исследования вносят весомый вклад в укрепление промышленного производства птицеводческой продукции, а также являются приоритетным направлением в обеспечении продовольственной безопасности страны.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, живая масса цыплят, кормление цыплят-бройлеров, бишофит, белково-витаминно-минеральные концентраты, рыжиковый жмых.

Цитирование. Липова Е. А., Николаев С. И., Рябова М. А., Брюхно О. Ю., Агапов С. Ю., Агапова В. Н., Воронцова Е. С., Водяникова В. В. Результаты применения белковой добавки совместно с минеральным комплексом в кормлении цыплят-бройлеров. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 351-359. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-37.

Авторский вклад. Все авторы принимали участие в подготовке, проведении исследования и анализе его результатов. Представленный вариант статьи согласован со всеми авторами.

Конфликт интересов. Все авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Проблеме поиска новых источников белка и минеральных веществ уделяется большое внимание. Потребность населения Земли в белковой пище приобретает все большее значение [9, 11, 12]. Рост численности населения резко обострил проблему белкового питания. В этой связи основные положения «Доктрины продовольственной безопасности РФ до 2030 года» ориентированы на целенаправленную разработку и обеспечение населения качественной и безопасной пищевой продукцией для активного и здорового образа жизни.

В последние годы активно проводятся мероприятия, направленные на импортозамещение, как ответный вызов на действующие антироссийские санкции. Решающая роль в увеличении объемов производства продукции птицеводства принадлежит сбалансированному кормлению, в котором крайне важна белковая и минеральная части. Страна нуждается в увеличении объемов производства белковой и минерально-сырьевой базы, способной удовлетворить спрос наукоемких отраслей экономики по выращиванию цыплят-бройлеров и потребности россиян в белковой пище [3, 4, 5].

Для прогрессивного выращивания цыплят-бройлеров важно использовать комбикорма, содержащие белки животного и растительного происхождения, а также минеральные и витаминные добавки.

Белковые добавки такие как рыжиковый жмых, способствуют быстрому набору массы тела, а минеральные добавки, в виде бишофита необходимы для развития костной системы, иммунитета и поддержания общего здоровья птиц [1, 7, 8].

Волгоградская область богата различными ресурсами, в числе которых одно из первых мест по добыче занимает бишофит. Бишофит образовался в результате испарения древнего моря, которое существовало в Пермский период 250 миллионов лет назад, и его залежи находятся на большой глубине. Основным компонентом бишофита является хлорид магния, который занимает 95-96 % его состава. Также в бишофите содержатся другие минералы и микроэлементы, такие как сульфат кальция, хлорид кальция, хлорид натрия, натрий, йод, железо, бром, диоксид кремния, молибден, титан, литий, а также следы других элементов.

Альтернативой традиционному белковому компоненту в рационах животных и птицы может быть рыжиковый жмых получаемый при производстве масла из семян рыжика. Он является ценной пищевой добавкой и богат витаминами, минералами и другими полезными веществами.

Разработка и исследование биологически активных добавок на основе рыжикового жмыха совместно с бишофитом для птицы, выращиваемой на мясо, является актуальным направлением в развитии птицеводческой отрасли Волгоградского региона [2, 8].

Цель исследования – изучить влияние биологически активных добавок, в основе которых продукты местных ресурсов маслоперерабатывающей промышленности совместно с бишофитом, на рост и развитие цыплят-бройлеров.

Материалы и методы. На территории Волгоградского государственного аграрного университета в условиях центра нутригеномики сельскохозяйственных животных и птицы был проведен научно-хозяйственный опыт. Для его осуществления были закуплены цыплята-бройлеры суточного возраста кросса «Росс-308» в количестве 480 голов. Из них были сформированы три опытные и контрольная группы по 120 голов в каждой (n=120). Группы формировали, применяя принцип аналогичных групп. Кормление птицы проводили с учетом периода выращивания.

Цыплята-бройлеры контрольной группы получали основной рацион с содержанием 7,5 %, 10 % и 12 % стандартного белково-витаминно-минерального концентрата согласно периоду выращивания.

Птице 1-й, 2-й и 3-й опытных групп скормливали по 7,5 %, 10 % и 12 % белково-витаминно-минерального концентрата, изготовленного на основе рыжикового жмыха. В рацион цыплят-бройлеров 2-й и 3-й опытных групп был введен бишофит в количестве 2 мл и 2,5 мл на 1 кг комбикорма соответственно (таблица 1).

Таблица 1 – Схема опыта
Table 1 – Experimental design

Группа / Group	Кол-во голов в каждой группе / Number of chickens in each group	Продолжительность опыта, дней / Duration of the experiment, days	Особенности кормления с учетом периода выращивания / Feeding features taking into account the growing period		
			Старт / Start	Рост / Height	Финиш / Finish
Контрольная / Control	по / by 120	37	Основной рацион (ОР) с 7,5 % стандартным БВМК / Basic diet (BD) with 7.5 % standard protein-vitamin complex	Основной рацион (ОР) с 10 % стандартным БВМК / Basic diet (BD) with 10 % standard protein-vitamin complex	Основной рацион (ОР) с 12 % стандартным БВМК / Basic diet (BD) with 12 % standard protein-vitamin complex
1-я опытная / Experimental 1			ОР с 7,5 % БВМК (P) / BD with 7.5 % standard protein-vitamin complex (R)	ОР с 10 % БВМК (P) / BD with 10 % standard protein-vitamin complex (R)	ОР с 12 % БВМК (P) / BD with 12 % standard protein-vitamin complex (R)
2-я опытная / Experimental 2			ОР с 7,5 % БВМК (P) + 2 мл/кг комбикорма бишофита / BD with 7.5 % standard protein-vitamin complex (R) BD with 7.5 % standard protein-vitamin complex (R) + 2 ml/kg bischofite feed	ОР с 10 % БВМК (P) + 2 мл/кг комбикорма бишофита / BD with 10 % standard protein-vitamin complex (R) BD with 10 % standard protein-vitamin complex (R) + 2 ml/kg bischofite compound feed	ОР с 12 % БВМК (P) + 2 мл/кг комбикорма бишофита / BD with 12 % standard protein-vitamin complex (R) BD with 12 % standard protein-vitamin complex (R) + 2 ml/kg bischofite compound feed
3-я опытная / Experimental 3			ОР с 7,5 % БВМК (P) + 2,5 мл/кг комбикорма бишофита / BD with 7.5 % standard protein-vitamin complex (R) + 2.5 ml/kg of bischofite compound feed	ОР с 10 % БВМК (P) + 2,5 мл/кг комбикорма бишофита / BD with 10 % standard protein-vitamin complex (R) + 2.5 ml/kg of bischofite compound feed	ОР с 12 % БВМК (P) + 2,5 мл/кг комбикорма бишофита / BD with 12 % standard protein-vitamin complex (R) + 2.5 ml/kg of bischofite compound feed

По результатам эксперимента проанализированы следующие показатели: сохранность, прирост живой массы, количество потребляемого корма, а также конверсии корма.

С целью изучения динамики изменения живой массы цыплят-бройлеров, участвующих в опыте в различные возрастные периоды, производилось их взвешивание каждую неделю и последнее взвешивание на 37-й день опыта.

Результаты и обсуждение. С целью изучения набора живой массы подопытными цыплятами был осуществлен процесс перевески. Динамика привесов цыплят-бройлеров, участвующих в опыте, представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Динамика изменения живой массы цыплят-бройлеров, участвующих в опыте в различные возрастные периоды, г
Table 2 – Dynamics of changes in live weight of broiler chickens participating in the experiment at different age periods, g

Группа / Group	Возраст, дней / Age, days					
	0	7	14	21	28	37
Контрольная / Control	41,8 ± 0,12	204,58 ± 1,17	519,06 ± 3,85	968,82 ± 7,13	1554,65 ± 12,14	2430,85 ± 17,81
1-я опытная / Experimental 1	41,7 ± 0,13	208,42** ± 1,38	527,00 ± 4,19	1013,73 ± 7,28	1608,11*** ± 11,23	2494,09*** ± 17,98
2-я опытная / Experimental 2	41,6 ± 0,09	210,02** ± 1,87	532,37** ± 3,92	1027,93 ± 7,49	1627,07 ± 11,14	2502,75*** ± 18,12
3-я опытная / Experimental 3	41,5 ± 0,09	209,07** ± 1,64	529,24* ± 3,48	1023,49 ± 7,67	1620,23 ± 12,57	2498,93*** ± 17,98

Примечание: *P > 0,95, ** P > 0,99, *** P > 0,999.

Note: *P>0.95, ** P>0.99, *** P>0.999.

Анализируя показатели живой массы цыплят-бройлеров, можно констатировать тот факт, что в течение первой и последующих недель лидером по привесам была 2-я опытная группа где использовался БВМК на основе рыжикового жмыха совместно с 2 мл бишофита на 1 кг комбикорма.

Вторая неделя выращивания показала, что живая масса цыплят-бройлеров, выращенных на опытных кормах, превышала показатели привесов птицы из контрольной группы. Увеличение живой массы в сравнении с контролем составило для цыплят-бройлеров 1-й опытной группы на 1,9 %; для цыплят-бройлеров 2-й опытной группы - на 2,7 %, для цыплят-бройлеров 3-й опытной группы – на 2,2 %.

На 28-й день контрольную группу цыплят-бройлеров опередили 1-я, 2-я и 3-я опытные группы цыплят-бройлеров на 3,4 % 4,7 % и 4,2 % соответственно.

По окончании эксперимента живая масса цыплят-бройлеров контрольной группы составила 2430,85 г. Этот показатель превысила на 2,6 % 1-я опытная группа, масса цыплят в которой находилась на уровне 2494,09 г, а также 3-я опытная группа, средняя живая масса цыплят которой составила 2498,93 г.

Лидером по привесу живой массы на 37 день опыта по-прежнему осталась 2-я опытная группа цыплят-бройлеров, где в БВМК(Р) был добавлен бишофит; средний вес цыплят при этом составил 2502,75 г, что на 2,9 % больше в сравнении с птицей контрольной группы.

Применение рыжикового жмыха в составе БВМК(Р) (белково-витаминно-минерального концентрата) совместно с бишофитом способствовало улучшению функций клеточных и субклеточных мембран у цыплят-бройлеров, что привело к интенсивному росту и набору живой массы. Это связано с комплексным влиянием биологически активных веществ, содержащихся в этих компонентах.

С целью изучения эффективности роста сельскохозяйственной птицы, при использовании нами в ее кормлении БВМК(Р) совместно с бишофитом и без, был рассчитан среднесуточный прирост живой массы (рисунок 1).

Представленные показатели на рисунке 1 демонстрируют превосходство цыплят-бройлеров опытных групп на протяжении всего периода опыта. Так наименьшим среднесуточным приростом обладали цыплята-бройлеры контрольной группы, их показатель составил 64,57 г. Наибольший прирост за сутки был у птицы 2-й опытной группы – 66,52 г что на 3,0 % больше контрольной группы. Средний показатель прироста за сутки у 1-й и 3-й опытных групп находился в пределах 66,28-66,42 г, что выше полученных цифр в контрольной

группе на 2,6 и 2,9 % соответственно. Таким образом, все опытные группы превзошли контроль по интенсивности роста, что подтверждает эффективность примененных в эксперименте кормовых добавок. Разница между вариантами опыта была минимальной (в пределах 0,1-0,3 г), однако стабильно значимой.

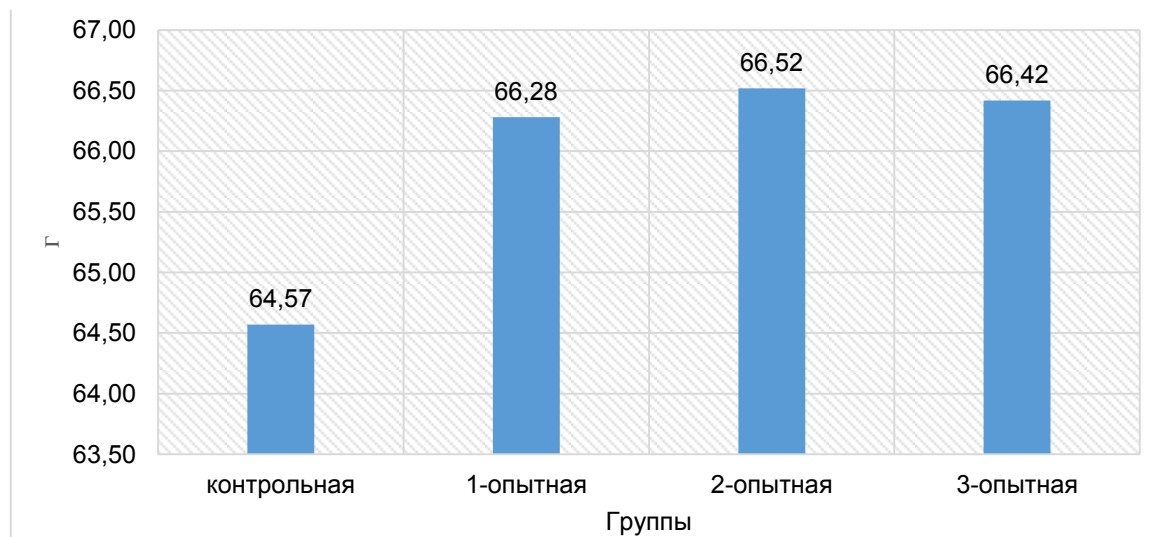


Рисунок 1 – Среднесуточный прирост живой массы бройлеров, г
Figure 1 – Average daily live weight gain of broilers, g

Показатель сохранности поголовья в птицеводстве является важным критерием, который отражает здоровье и жизнеспособность птицы. Этот показатель демонстрирует процентное соотношение между количеством особей, находящихся в хозяйстве на определенный момент времени, и числом птиц, которые выжили до момента окончания производственного цикла. Высокий уровень сохранности свидетельствует о правильной организации кормления, ветеринарного обслуживания и общего ухода за поголовьем [6]. В нашем опыте сохранность поголовья во всех группах находилась на уровне 100 %. За период опыта ни один цыпленок не пал.

Сбалансированный корм по всем питательным и биологически активным веществам, в том числе по микроэлементам, оптимальные условия содержания в птичниках способствуют разведению здоровой, высокопродуктивной птицы. Дефицит питательных и минеральных веществ в рационах влияет на снижение ее продуктивности и приводит к излишним затратам кормов на образование продукции [10, 11].

Одним из важных условий, влияющих на доходность птицеводческих предприятий, являются затраты на корма. Затраты комбикорма на 1 голову и на 1 кг прироста подопытных цыплят-бройлеров представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Затраты комбикорма на 1 голову и на 1 кг прироста подопытных цыплят-бройлеров, кг
Table 3 – Feed costs per head and per 1 kg of gain of experimental broiler chickens, kg

Показатель / Indicator	Группа / Group			
	Контрольная / Control	1-я опытная / Experimental 1	2-я опытная / Experimental 2	3-я опытная / Experimental 3
Затраты комбикорма / Feed costs				
всего по группе / total for the group	472,8	471,6	468,0	470,4
на 1 голову / on 1 head	3,94	3,93	3,91	3,92
конверсия корма / feed conversion	1,6	1,58	1,56	1,57

В период опыта при выращивании контрольной группы цыплят-бройлеров было израсходовано 472,8 кг комбикорма, данный показатель в сравнении с опытными группами является наибольшим. Затраты комбикорма в опытных группах были несколько ниже; так в 1-й опытной показатель составил 471,6 кг, во 2-й опытной – 468 кг, в 3-й опытной группе – 470,4 кг.

Учёт фактически скормленных кормов, сохранность поголовья в группе и полученный абсолютный прирост живой массы позволили рассчитать затраты комбикорма на единицу произведённой продукции.

Наименьшим расходом кормов на 1 голову отличались цыплята-бройлеры 2-й опытной группы, в которой данный показатель составил 3,91 кг, что на 0,03 кг меньше чем в контрольной группе, в 1-й опытной – 3,93 кг, что на 0,01 кг меньше, чем в контроле, а в 3-й опытной группе – 3,92 кг, что меньше, чем в контрольной и 1-й опытной группе на 0,02 кг и 0,01 кг, соответственно.

Такой показатель как конверсия корма позволяет изучить эффективность кормления, поскольку он отражает количество затраченного корма на полученный килограмм продукции, чем он ниже, тем эффективнее. Во 2-й опытной группе показатель конверсии корма составил 1,56 – это наилучший результат, 1,57 и 1,58 – результат 3-й опытной группы и 1-й опытной группы соответственно, 1,6 – показатель контрольной группы.

Минеральные вещества участвуют в различных метаболических путях, и их наличие или отсутствие может влиять на экспрессию генов, кодирующих ферменты, участвующие в этих процессах. Недостаток или избыток минералов может привести к изменению активности этих белков, что, в свою очередь, повлияет на то, какие гены будут активно транскрибироваться и транслироваться. Дефицит минеральных веществ может влиять на активность ферментов, участвующих в репликации и репарации ДНК, а также на транскрипцию генов, что может привести к изменению развития и роста птицы. Бишофит содержит комплекс минеральных веществ, являющихся важными факторами метаболических процессов в организме.

С целью оценки метаболических процессов происходящих в организме испытуемых цыплят нами были взяты и исследованы пробы крови. Забор крови произведен на 37 день выращивания во время убоя. Перед убоем птица была выдержана без корма в течение 8 ч, доступ к воде свободный. Данные гематологических исследований представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Показатели изучаемой крови опытных цыплят-бройлеров

Table 4 – Blood parameters of experimental broiler chickens

Показатель / Indicator	норма / norm	Группа / Group			
		Контрольная / Control	1-я опытная / Experimental 1	2-я опытная / Experimental 2	3-я опытная / Experimental 3
эритроциты $10^{12}/л$ / erythrocytes $10^{12}/л$	3,0-4,0	$2,1 \pm 0,05$	$2,2 \pm 0,05$	$2,4 \pm 0,01$	$2,3 \pm 0,03$
лейкоциты $10^9/л$ / leukocytes $10^9/л$	20,0-40,0	$26,6 \pm 0,08$	$26,4 \pm 0,06$	$26,3 \pm 0,05$	$26,4 \pm 0,08$
гемоглобин г/л / hemoglobin g/l	80-120	$110 \pm 0,53$	$112 \pm 0,81$	$115 \pm 0,92$	$113 \pm 0,85$

Интенсивный рост живой массы цыплят-бройлеров и течение обменных процессов в организме предъявляют особые требования к окислительной способности крови, которая главным образом определена наличием эритроцитов и гемоглобина. В опытных группах подопытных цыплят-бройлеров зафиксировано умеренное повышение содержания эритроцитов в крови по сравнению с контролем, не выходящее за границы нормальных показателей. Наибольшим количеством красных кровяных телец обладали цыплята-бройлеры 2-й опытной группы – $2,4 \cdot 10^{12}/л$; в их рационе использовался БВМК с наполнителем рыжиковый жмых совместно с 2 мл бишофита на 1 кг комбикорма. Эритроциты содержащиеся в крови птицы 1-й и 3-й опытных групп находились на уровне $2,2 \cdot 10^{12}/л$ и $2,3 \cdot 10^{12}/л$; в обеих группах в кормлении применялся БВМК с наполнителем рыжиковый жмых, в 3-й опытной группе в рацион введены 2,5 мл бишофита на 1 кг комбикорма. Количество эритроцитов у цыплят-бройлеров контрольной группы – $2,1 \cdot 10^{12}/л$. Повышение в пределах физиологической нормы количества эритроцитов и содержания гемоглобина в крови молодняка кур опытных групп является положительным физиологическим критерием, свидетельствующим об усилении у них работы кроветворных органов и повышении интенсивности окислительно-восстановительных процессов в организме.

Проведенные исследования гематологического статуса цыплят-бройлеров в ключевой момент их производственного цикла – к убойному возрасту в 37 суток – выявили важный и позитивный результат. Установлено, что количественное содержание лейкоцитов

(белых клеток крови) в периферической крови цыплят, независимо от их принадлежности к опытным или контрольной группам, находилось в пределах установленной физиологической нормы для данного вида и возраста птицы.

Заключение. В 37-дневной птица опытных групп, выращенная на рационе с использованием БВМК на основе рыжикового жмыха с добавлением бишофита имеет тенденцию к увеличению массы и превосходству на протяжении всего опыта. По окончании эксперимента живая масса цыплят-бройлеров контрольной группы составила 2430,85 г. Этот показатель превысила на 2,6 % 1-я опытная группа, масса цыплят в которой находилась на уровне 2494,09 г, а также 3-я опытная группа, средняя живая масса цыплят которой составила 2498,93 г.

Лидером по привесу живой массы на 37 день опыта оказалась 2-я опытная группа цыплят-бройлеров, где в БВМК(Р) был добавлен бишофит; средний вес цыплят при этом составил 2502,75 г, что на 2,9 % больше в сравнении с птицей контрольной группы.

Средний показатель прироста за сутки был у 1-й и 3-й опытных групп 66,28 и 66,42 г, соответственно; данный показатель выше полученных цифр в контрольной группе на 2,6 и 2,9 % соответственно.

В опыте сохранность поголовья во всех группах находилась на уровне 100 %. За период опыта ни один цыпленок не пал.

Изменение морфологических показателей крови цыплят-бройлеров в течение постинкубационного онтогенеза привело, к тому что на 37-сутки профиль крови характеризуется: умеренным содержанием количества лейкоцитов, эритроцитов и гемоглобина, что соответствует клинически здоровой птицы.

Conclusions. At 37 days, the poultry of the experimental groups, raised on a diet using BVMC based on ginger cake with the addition of bischofite, tends to increase and excel throughout the entire experiment. At the end of the experiment, the live weight of broiler chickens in the control group remained 2430.85 g. This indicator was exceeded by 2.6 % by the 1st experimental group, in which the weight of chickens was at the level of 2494.09 g, as well as the 3rd experimental group, in which the average live weight of chickens was 2498.93 g.

The leader in body weight gain on day 37 of the experiment was the 2nd experimental group of broiler chickens, where bischofite was added to BVMC(R); the average weight of chickens was 2502.75 g, which is 2.9 % more than in the control group.

The average daily growth rate in the 1st and 3rd experimental groups was 66.28 and 66.42 g, respectively; this indicator is higher than the figures obtained in the control group by 2.6 and 2.9 %, respectively.

In the experiment, the safety of livestock in all groups was at the level of 100 %. During the experiment period, not a single chicken fell.

A change in the morphological parameters of the blood of broiler chickens during post-incubation ontogenesis led to the fact that on the 37th day the blood profile is characterized by a moderate content of leukocytes, erythrocytes and hemoglobin, which corresponds to a clinically healthy bird.

Библиографический список

1. Lipova E. A., Bryukhno O. Y., Agapov S. Y. Environmentally friendly protein supplements in poultry feeding. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. V. 965. 012022.
2. Амиранашвили Е. И., Дымков А. Б. Морфологические и биохимические показатели крови цыплят-бройлеров при включении в комбикорма рыжикового жмыха и ферментного препарата. Известия Горского государственного аграрного университета. 2021. Т. 58-3. С. 64-68.
3. Злепкин В. А. и др. Влияние сурепного масла и жмыха на гематологические показатели цыплят-бройлеров. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 1 (65). С. 249-256.
4. Злепкина Н. А., Горлов И. Ф. Гематологический статус цыплят-бройлеров и свиней при введении в рацион биологически активных добавок и препаратов. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 2 (80). С. 253-267.
5. Липова Е. А. и др. Использование в рационах кормления цыплят-бройлеров белково-витаминно-минерального концентрата. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 2(66). С. 262-268.
6. Сизенцов Я. А. Использование нетрадиционных жмыхов при выращивании цыплят-бройлеров. Птицеводство. 2024. № 1. С. 30-35.
7. Карапетян А. К. Использование нетрадиционных кормов, различных рецептур премиксов и БВМК при производстве мяса бройлеров. Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2022. № 10 (207). С. 37-54.
8. Корнеева О. В., Карапетян А. К. Использование люпина с бишофитом в кормлении цыплят-бройлеров. Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2024. № 5 (226). С. 37-52.

9. Алиева С. М. и др. Местные растительные нетрадиционные кормовые добавки в рационе цыплят-бройлеров. Птицеводство. 2025. № 7-8. С. 32-37.
10. Волколупов Г. В. и др. Продукт технического производства в качестве наполнителя для БВМК. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 3 (43). С. 141-148.
11. Агапова В. Н. и др. Эффективность применения белкового сырья микробного синтеза на показатели роста и развития стерляди. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 2 (70). С. 402-407.
12. Резниченко А. А. и др. Эффективность ферментных препаратов и фитобиотиков в рационах цыплят-бройлеров. Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. 2021. № 4 (22). С. 138-143.

References

1. Lipova E. A., Bryukhno O. Y., Agapov S. Y. Environmentally friendly protein supplements in poultry feeding. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. V. 965. 012022.
2. Amiranashvili E. I., Dymkov A. B. Morphological and biochemical parameters of blood of broiler chickens when including ginger cake and enzyme preparation in compound feed. Proceedings of the Gorsky State Agrarian University. 2021. Vol. 58-3. Pp. 64-68.
3. Zlepkin V. A. et al. The effect of rapeseed oil and oilcake on hematological parameters of broiler chickens. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2022. No 1 (65). Pp. 249-256.
4. Zlepina N. A., Gorlov I. F. Hematological status of broiler chickens and pigs when biologically active additives and preparations are introduced into the diets. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2025. N. 2 (80). Pp. 253-267.
5. Lipova E. A. et al. The use of protein-vitamin-mineral concentrate in the feeding rations of broiler chickens. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2022. No 2(66). Pp. 262-268.
6. Sizentsov Ya. A. The use of non-traditional cakes in the cultivation of broiler chickens. Poultry farming. 2024. No 1. Pp. 30-35.
7. Karapetyan A. K. The use of non-traditional feeds, various formulations of premixes and BVMC in the production of broiler meat. Feeding of farm animals and feed production. 2022. No 10 (207). Pp. 37-54.
8. Korneeva O. V., Karapetyan A. K. The use of lupin with bischofite in feeding broiler chickens. Feeding of farm animals and feed production. 2024. No 5 (226). Pp. 37-52.
9. Alieva S. M. et al. Local herbal non-traditional feed additives in the diet of broiler chickens. Poultry farming. 2025. No 7-8. Pp. 32-37.
10. Volkolupov G. V. et al. A product of technical production as a filler for BVMC. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2016. No 3 (43). Pp. 141-148.
11. Agapova V. N. et al. The effectiveness of the use of protein raw materials of microbial synthesis on the growth and development of sterlet. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2023. No 2 (70). Pp. 402-407.
12. Reznichenko A. A. et al. The effectiveness of enzyme preparations and phytobiotics in the diets of broiler chickens. Current issues of agricultural biology. 2021. No 4 (22). Pp. 138-143.

Информация об авторах

Липова Елена Андреевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: lipova.elenka@mail.ru

Николаев Сергей Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

Рябова Мария Алексеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: prosto-marija88@mail.ru

Брюхно Ольга Юрьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: o.bruhno@yandex.ru

Агапов Сергей Юрьевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: agapov_s_y@mail.ru

Агапова Василина Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: 55avn5@mail.ru

Воронцова Елена Сергеевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: esvoronts@mail.ru

Водяникова Вера Владимировна, доктор биологических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: vera.shkalenko@mail.ru

Authors' Information

Lipova Elena Andreevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: lipova.elenka@mail.ru

Nikolaev Sergey Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

Ryabova Maria Alekseevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: prosto-marija88@mail.ru

Bryukhno Olga Yuryevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: o.bruhno@yandex.ru

Agapov Sergey Yuryevich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: agapov_s_y@mail.ru

Agapova Vasilina Nikolaevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: 55avn5@mail.ru

Vorontsova Elena Sergeevna, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: esvoronts@mail.ru

Vodyannikova Vera Vladimirovna, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: vera.shkalenko@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-38

THE LACTATIONAL AND SEASONAL CHANGES IN THE COWS' HEMATOLOGICAL PARAMETERS

¹Sermyagin A. A., ²Conte A. F., ²Nedashkovsky I. S., ²Bogolyubova N. V.

¹All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals
Pushkin, Russian Federation

²L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry
Podolsk, Russian Federation

Corresponding author E-mail: nedashkovsky_is@mail.ru

Received 15.12.2025

Submitted 02.02.2026

The study was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation, Project No. 21-76-20046.

Summary

Research was conducted to study the influence of the lactation stage and seasonal factors on the hematological parameters of cows, as well as to assess their relationship with the metabolic status of animals. The significant role of seasonal factors in shaping the blood biochemical profile has been demonstrated. Seasonal changes have a more pronounced impact on metabolic status than lactation stage.

Abstract

Introduction. Hematological studies have always been the basis for assessing both the physiological and metabolic status of animals. Identifying seasonal fluctuations in cattle blood parameters allows us to conclude that the quantitative composition of leukocytes, hemoglobin, and erythrocytes in animals decreases. The highest reserve alkalinity is observed in cows of the third and higher lactation, and in the blood of cows of the first to third lactation, the reserve alkalinity is lower. The highest number of erythrocytes was noted in animals of the first lactation. Compared with the blood parameters of cows of the first lactation, the number of erythrocytes in the blood of animals of the second lactation was lower than in animals of the third and later lactation. **Object.** The object of the study is blood samples from the experimental herd of the Ladozhsky Breeding Farm. **Materials and methods.** The studies were conducted on the livestock of the experimental herd of the Ladozhsky Breeding Farm in 2024; 268 blood samples of cows were analyzed. The data were analyzed by lactation stages (1-3 months of lactation – milking period, 4-7 months – mid-lactation, and after 8 months – end of lactation). Analysis of variance was used to determine the influence of the factors "lactation stage," "season," and "lactation stage × season." **Results and conclusions.** Stable protein metabolism in animals was established during all periods of lactation with moderate variability of parameters. High sensitivity of carbohydrate metabolism to seasonal changes was revealed, which is manifested in significant fluctuations in glucose levels. A close relationship between the lactation stage and seasonal changes in the metabolic status of animals was determined. A significant role of the seasonal factor in the formation of the biochemical blood profile was proven. During the milking period, an optimal balance of all types of metabolism is observed. Mid-lactation is characterized by the greatest variability of parameters, especially in carbohydrate metabolism. By the end of lactation, metabolic processes stabilize while the body's adaptive capacity remains high. Seasonal changes have a more pronounced impact on metabolic status than the lactation stage. This indicates that a differentiated approach to monitoring metabolic status is required depending on the lactation stage. Regular monitoring of key biochemical parameters is also important.

Keywords: hematological status of cows, metabolic status of cows, blood parameters of cows, lactating cows.

Citation. Sermyagin A. A., Conte A. F., Nedashkovsky I. S., Bogolyubova N. V. The lactational and seasonal changes in the cows' hematological parameters. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 359-374 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-38.

Authors contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 636.2.034:612.11/12

ЛАКТАЦИОННЫЕ И СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОРОВ¹Сермягин А. А., кандидат сельскохозяйственных наук²Контэ А. Ф., кандидат сельскохозяйственных наук²Недашковский И. С., кандидат биологических наук²Боголюбова Н. В., доктор биологических наук¹ФГБНУ ВНИИГРЖ

г. Пушкин, Российская Федерация

²ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста

г.о. Подольск, Российская Федерация

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, Проект № 21-76-20046.

Актуальность. Гематологические исследования всегда являлись базисом для оценки как физиологического, так и метаболического статуса животных. Выявление сезонных колебаний параметров крови крупного рогатого скота позволяет сделать вывод о снижении количественного состава лейкоцитов, гемоглобина, эритроцитов у животных. Наиболее высокая резервная щёлочность отмечается у коров III и большей лактации, а в крови коров I-III лактации резервная щёлочность ниже. Наивысшее количество эритроцитов было отмечено у животных I лактации. По сравнению с показателями крови коров I лактации у животных II лактации количество эритроцитов в крови было ниже, чем у животных III и большей лактации. **Объект.** Объектом исследований являются образцы крови опытного стада ПЗ «Ладожский». **Материалы и методы.** Исследования проводились на поголовье опытного стада ПЗ «Ладожский» в 2024 году, исследованы 268 образцов крови коров. Данные были проанализированы по стадиям лактации (1-3 месяц лактации – раздой, 4-7 месяц – середина лактации, старше 8 месяца – конец лактации). Для определения силы влияния факторов «стадия лактации», «сезон года» и «стадия лактации × сезон года» использовали дисперсионный анализ. **Результаты и выводы.** Установлена стабильная работа белкового обмена у животных во все периоды лактации при умеренной вариабельности показателей. Выявлена высокая чувствительность углеводного обмена к сезонным изменениям, что проявляется в значительных колебаниях уровня глюкозы, а также определена тесная взаимосвязь между стадией лактации и сезонными изменениями в метаболическом статусе животных. Доказана существенная роль сезонного фактора в формировании биохимического профиля крови. В период раздоя наблюдается оптимальная сбалансированность всех видов обмена веществ. Середина лактации характеризуется наибольшей вариабельностью показателей, особенно в углеводном обмене. К концу лактации происходит стабилизация метаболических процессов при сохранении высокой адаптационной способности организма. Сезонные изменения оказывают более выраженное влияние на метаболический статус, чем стадия лактации. Это указывает на то, что требуется дифференцированный подход к контролю метаболического статуса в зависимости от стадии лактации. Также важно проводить регулярный мониторинг ключевых биохимических показателей.

Ключевые слова: гематологический статус коров, метаболический статус коров, показатели крови коров, лактирующие коровы.

Цитирование. Сермягин А. А., Контэ А. Ф., Недашковский И. С., Боголюбова Н. В. Лактационные и сезонные изменения гематологических показателей коров. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 359-374 DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-38.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Гематологические исследования всегда являлись базисом для оценки как физиологического, так и метаболического статуса животных. Изучением влияния сезона года на показатели крови занимались многочисленные исследователи, так проанализировав изменения некоторых гематологических и биохимических параметров крови у разновозрастных групп крупного рогатого скота герефордской породы в разные сезоны года установили, что весной они достоверно отличаются от осенних и летних, тогда как в одноименные сезоны эти параметры весьма близки между собой. Уменьшение числа эритроцитов в крови животных разных половозрастных групп может быть обусловлено неполноценным кормлением в зимний период за счёт недостатка белков. В зимний период содержание количества эритроцитов в крови у быков-производителей составило 3,7 г/л, у коров 4,1 г/л, у нетелей 4,4 г/л, что ниже физиологической нормы на 41,27 %, 34,92 %, 30,16 %, соответственно, а в весенний, летний и осенний сезоны года – стабилизировалось. Зимой у всех

половозрастных групп происходит снижение кальция: у быков-производителей до 6,6 мг/%, бычков (отъем) до 6,1 мг/%, коров до 7,8 мг/%, нетелей до 6,6 мг/%, что ниже физиологической нормы соответственно на – 30,32 %, 36,00 %, 16,95 и на 30,74 %, а в весенний, летний и осенний периоды соответствовало установленной норме [1].

В исследовании на черно-пестром скоте отмечено, что наибольшее содержание общего белка, каротина, кальция и фосфора наблюдалось в крови животных по второй лактации – 79,9 г/л, 0,50 мг/%, 2,75 ммоль/л и 1,93 ммоль/л соответственно. Наиболее высокая резервная щёлочность отмечена у коров III и большей лактации – 56,26 об.% CO₂. В крови коров I лактации резервная щёлочность составляла 54,47 об.% CO₂ (P < 0,001), что было ниже на 3,3 %, а во II группе – 56,44 об. % CO₂, или ниже на 0,3 %. Наивысшее количество эритроцитов было отмечено у животных I лактации – 6,65•10¹²/л. По сравнению с показателями крови коров I группы у животных II лактации количество эритроцитов в крови было ниже на 0,15•10¹²/л, или на 2,3 %, а у животных III и большей лактации. – на 0,16•10¹²/л, или 2,5 %. Количество лейкоцитов в крови коров всех групп находилось примерно на одном уровне (6,5-6,8•10⁹/л). Наиболее высокое значение такого показателя, как гемоглобин, отмечалось в крови животных I группы – 111 г/л. В крови коров остальных групп этот показатель был одинаковый и составлял 110 г/л, то есть несколько ниже, чем в I группе – на 0,9 %. Что касается стадии лактации, то в начале лактации отмечалось значительное снижение уровня глюкозы, холестерина и общей антиоксидантной способности (ОАС), а также значительное увеличение неэтерифицированных жирных кислот (НЭЖК) и малонового диальдегида по сравнению со средней стадией лактации (Вильвер Д. С. 2015) [2].

Гематологические показатели телок черно-пестрой породы (I группы), ее помесей с голштинами первого поколения (½ голштин х ½ черно-пестрая – II группа) и второго поколения (¾ х ¼ черно-пестрая – III группа) по сезонам года, демонстрируют, что помесные телки второго и третьего поколений по голштинам II и III групп отмечались большей концентрацией эритроцитов гемоглобина в крови. При этом чистопородные телки черно-пестрой породы I группы уступали им по количеству эритроцитов в крови в зимний период соответственно на 1,92 % и 4,40 %, в летний период – на 4,44 % и 7,41 %. Аналогичные межгрупповые различия отмечались и по концентрации гемоглобина в крови. При этом голштинские помеси II и III групп превосходили чистопородных сверстниц черно-пестрой породы I группы по его уровню в зимний период соответственно на 3,92 % и 8,49 %, а в летний сезон – на 4,59 % и 10,63 %. При этом отмечалось повышение концентрации эритроцитов и гемоглобина в крови телок всех генотипов при лидирующем положении голштинских помесей второго поколения III группы [3].

В результате исследования на поголовье голштинского крупного рогатого скота, направленного на изучение особенностей основных морфологических и биохимических показателей крови коров и установления взаимосвязи их значений с уровнем продуктивности, возрастом и стадией лактации установлен ряд прямых и обратных взаимосвязей, а именно: устойчивая тенденция снижения уровня гематокрита у новотельных коров относительно групп животных находящихся на пике молочной продуктивности; прямая зависимость уровня продуктивности и количественного показателя содержания лейкоцитов; тенденция к снижению витамина D в крови животных третьей лактации в сравнении с коровами второй лактации при равных значениях молочной продуктивности (уровень ниже на 36,8 %) и достоверная зависимость уровня витаминов А, D и B12 от стадии лактации (средние значения в группе новотельных коров превосходили аналогичные во всех группах животных находящихся на пике лактационной активности [4].

Исследования, проведенные же на быках-производителях черно-пестрой породы выявили, что наименьшее количество эритроцитов в крови быков-производителей характерно для зимнего (6,0 ± 0,10 млн/мкл) и осеннего (6,20 ± 0,10 млн/мкл) периодов года (рисунк 1). В весенний и летний периоды количество эритроцитов в крови быков-производителей возрастает на 0,6 млн/мкл и 0,5 млн/мкл, или на 10,0 % и 8,3 % (td = 4,3 и td = 5,0). Наименьшее содержание гемоглобина в крови исследуемых животных характерно для осеннего и зимнего периодов года и составляет 107,6 ± 1,1 г/л и 104,2 ± 1,2 г/л соответственно. В весенний период года содержание гемоглобина в крови животных увеличивается на 10,6 г/л, или 10,2 % (td = 6,7), незначительно снижаясь в летний период до уровня 112,8 ± 1,2 г/л. Гематокрит, то есть соотношение форменных элементов и плазмы крови, по сезонам года изменяется незначительно и недостоверно – в пределах от 31,8 ± 0,4 % до 34 ± 0,5 %. Динамика содержания различных форм лейкоцитов в крови быков-производителей также изменяется в зависимости от сезонов года. В меньшей степени это

характерно для таких форм лейкоцитов, как базофилы, эозинофилы и моноциты. Количество нейтрофилов в крови быков-производителей по сезонам года изменяется незначительно и недостоверно, в сторону увеличения в весенний период, до уровня $27,4 \pm 0,5$ % и незначительного волнообразного колебания в остальные периоды года в пределах $25,6 \pm 0,5$ % – $26,0 \pm 0,5$ %. Наименьшее количество лимфоцитов в крови быков-производителей отмечается в весенний период года ($63,0 \pm 0,7$ %), в остальные периоды отмечаются незначительные волнообразные колебания в пределах от $64,0 \pm 0,7$ % до $65,0 \pm 0,7$ %. Результаты исследований на быках других пород таких как казахская белоголовая и помесный скот, также показали, что сезонные факторы существенно влияли ($p < 0,05$) на большинство параметров: летом наблюдалась интенсификация метаболической активности, отражающаяся в повышении активности трансаминаз, более высоких концентрациях альбумина и повышении общего уровня белка (Ошкина Л. Л., Трифонов Г. А. 2013) [5].

При оценке влияния сезона года на показатели сыворотки крови у бычков красной степной, симментальской и казахской белоголовой породы было установлено, что в летний период отмечено повышение уровня изучаемых показателей при снижении β -лизинов. Причём во всех случаях преимущество было на стороне бычков казахской белоголовой породы. Так, в летний период, они превосходили молодняк красной степной и симментальской пород по содержанию общего белка в сыворотке крови соответственно на 7,31 % и 4,32 %, альбумина – на 7,85 % и 5,34 %, глобулинов – на 6,82 % и 1,45 %, активности АСТ – на 19,08 % и 9,86 %, АЛТ – на 33,33 % и 11,29 %, величине БАСК – на 4,93 % и 2,81 %, лизоцима – на 30,79 и 13,18 %, β -лизинов – на 4,00 % и 2,07 % [6].

Смена температурного режима по сезонам года значительно ($P < 0,05$) определяет изменчивость эритроцитов, гемоглобина и лейкоцитов при рассмотрении на бычках калмыцкой породы. Максимальное содержание эритроцитов и лейкоцитов наблюдалось в холодный период года (зима). Влияние сезона выращивания не оказывало достоверного влияния ($P > 0,05$) на изменчивость общего белка в сыворотке крови. Содержание альбуминовой фракции в большей степени подвергалось влиянию смены сезонов года ($P < 0,05$). В зимний период отмечается минимальное количество альбуминов в сыворотке крови. Вариабельность глобулиновой фракции имела обратную направленность по сравнению с содержанием альбуминов. В исследовании активности аспаратаминотрансферазы в сыворотке крови бычков установлено достоверное влияние ($P < 0,01$) сезона года. Наивысший уровень наблюдался в весенний период, минимум отмечался зимой. Активность аланинаминотрансферазы слабо детерминирована как генотипом, так и условиями окружающей среды [7].

Выявление сезонных колебаний параметров крови здоровых особей крупного рогатого скота позволяет сделать вывод о снижении количественного состава лейкоцитов, гемоглобина, эритроцитов у животных разных половозрастных групп (быки-производители, нетели и коровы). Наиболее существенные различия основных показателей морфологического состава крови у животных отмечены в период пастбищного содержания. Изменения основных параметров физико-химических свойств эритроцитов и видового состава лейкоцитов имеют прямую зависимость от сезона года. Так, рассматривая вопрос влияния сезона года на показатели крови, даже в одном сезоне в разных годах отмечено, что у исследуемых коров был зарегистрирован значительно более высокий уровень гемоглобина по сравнению с предыдущим более жарким сезоном лета ($P < 0,001$), что также отражает достоверность различия в среднем эритроцитарном гемоглобине (MCH) и средней концентрации эритроцитарного гемоглобина (MCHC) – также при $P < 0,001$ (Раицкая, В. И., Глушков В. В., Виль Л. Г. 2014) [8].

Так исследования, проведенные на крупнорогатом скоте калмыцкой породы установили, что сезонные изменения физиологической реактивности у коров и телят заметно изменились. Весной по сравнению с зимним периодом снижалась концентрация гемоглобина в крови у коров на 17,02 %, эритроцитов – на 19,3 %, лейкоцитов – на 17,6 %, общего белка в сыворотке крови – на 4,7 %, альбуминов – на 13,4 %, глобулинов – на 1,6 %, в том числе гамма-глобулинов – на 12,8 %. При изучении физиологического состояния коров в летний и осенний периоды установлено, что содержание гемоглобина, гамма-глобулинов в крови животных осенью выше, чем летом. Содержание общего белка, альбуминов, альфа- и бета-глобулинов в сыворотке крови у коров осенью меньше, чем летом [9].

Исследования, проведенные на голштинизированной черно-пестрой породе установили, что наиболее оптимальная биохимическая картина крови по таким компонентам как фосфор, железо и медь наблюдалась в зимний период, в весенний период сыворотка крови была более оптимальной по резервной щёлочности и по уровню марганца; летом больше всего содержалось общего белка, цинка и каротина; осенью кальция и витамина Е. Анализ сезонных колебаний гематологических показателей крови опытных животных показал, что содержание гемоглобина зимой и летом несколько больше, чем осенью и весной и составило в зимний и летний период – 114,5 и 114,2 г/л соответственно, а весной и осенью – 112,8 и 111,8 г/л. Снижение количества эритроцитов происходит постепенно от осени до лета. Разница достоверна и составляет 18,8 % ($p < 0,05$). Содержание лейкоцитов в крови исследуемого поголовья имеет тенденцию их снижения в летний период в сравнении с зимой на 9,3 % ($p < 0,05$). Подобные результаты отмечены и исследователями в Египте, так летом было зафиксировано значительное повышение уровня триглицеридов и малонового диальдегида. Зимой общий белок был значительно выше. В летний сезон было зафиксировано значительное увеличение количества лейкоцитов и лимфоцитов по сравнению с зимним сезоном, независимо от стадии лактации (Добровольский Ю. Н., Добровольская Н. Е. 2014) [2].

Установлено, что в летний сезон года по сравнению с зимним периодом у телок симментальской, красной степной и казахской белоголовой пород отмечалось повышение концентрации гемоглобина и количества эритроцитов в крови и снижение числа лейкоцитов. При этом телки казахской белоголовой породы превосходили сверстниц красной степной и симментальской пород по количеству эритроцитов в крови в зимний сезон года, соответственно, на 8,26 % и 3,12 %, в летний период – на 10,00 и 3,75 %. Вследствие этого телки красной степной и симментальской пород уступали молодняку казахской белоголовой породы по концентрации в крови гемоглобина зимой на 10,07 % и 5,98 %, летом – на 12,72 % и 6,56 %. По количеству лейкоцитов в крови, содержанию минеральных веществ и витамина А в сыворотке крови существенных межгрупповых различий не установлено [10].

Содержание эритроцитов у молочных коров изменялось волнообразно: со снижением – зимой, повышением – весной и летом. Следует отметить, что морфологический состав изменялся практически параллельно с интенсивностью роста. Наиболее высокая лизоцимная активность сыворотки крови телок отмечена в летний период. Это обусловлено тем, что животные в это время получали зелёный корм, богатый витаминами, и в большей степени подвергались инсоляции, что способствовало активному протеканию обменных процессов. Высокая тромбодиффузионная активность сыворотки крови у телок подопытных групп наблюдалась летом (Литовченко В. Г. 2012).

Исследования, проведенные на крупном рогатом скоте герефордской породы в разные сезоны года (весна, лето, осень и зима) в хозяйстве ООО «Андреановский» Богградского района Республики Хакасия. Весной параметры крови достоверно отличаются от осенних и летних сезонов. Уменьшение числа эритроцитов в крови животных разных половозрастных групп может быть обусловлено неполноценным кормлением в зимний период за счёт недостатка белков [11].

В сравнительной характеристике морфологических и биохимических показателей крови коров мясных пород скота, разводимых в условиях юга Тюменской области, наблюдалась тенденция снижения величины морфологических показателей в зимний период, что очевидно, обусловлено снижением интенсивности обменных процессов у животных всех пород. Также отмечена более высокая интенсивность обменных процессов у животных породы лимузин, затем у салерсов и герефордов (Григорьев К. Н., Фоминцев К. А., Александрова С. С. 2016).

Содержание же глобулина в сыворотке крови у высокопродуктивных молочных коров 1 группы в начале раздоя – 56,0 г/л, в конце – 53,9 г/л, что достоверно выше уровня в других группах ($P \leq 0,05$). 1-я опытная группа характеризуется животными, чей удой ниже 7500 кг молока, животные 2-й обладают удоем в промежутке 7500-9000 кг, а для 3-ей группы животных характерны показатели, превышающие 9000 кг. У коров 3 группы в конце периода креатинин достоверно поднялся до 74,8 мкмоль/л ($P \leq 0,05$). Содержание в крови щелочной фосфатазы в начале раздоя у всех обследованных животных в норме. Уровень глюкозы в крови у коров в пределах 3,6-4,0 в начале и 2,7-4,3 в конце периода раздоя (при норме 2,0-4,8 ммоль/л) [12].

Исходя из вышеизложенного можно сделать заключение, что вопрос комплексных исследований, проведенных на анализ влияния стадии лактации и сезонных факторов на гематологические показатели коров недостаточно изучен, что придает исследованиям актуальность и новизну.

Цель исследования заключалась в комплексном изучении влияния стадии лактации и сезонных факторов на гематологические показатели коров, а также в оценке их взаимосвязи с метаболическим статусом животных.

Материалы и методы. Был изучен физиолого-биохимический статус организма животных для оценки общего мониторинга состояния здоровья коров экспериментального стада. В 2024 году исследованы 268 образцов крови коров. Данные были проанализированы по стадиям лактации (1-3 месяц лактации – раздой, 4-7 месяц – середина лактации, старше 8 месяца – конец лактации).

Для определения силы влияния факторов «стадия лактации», «сезон года» и «стадия лактации × сезон года» использовали дисперсионный анализ.

Уравнение модели однофакторного дисперсионного анализа можно представить в виде:

$$x_{ik} = a + m_i + \varepsilon_{ik}, \quad (1)$$

где x_{ik} – значение k -го показателя в i -й группе; a – генеральное среднее всех наблюдений (математическое ожидание); m_i – эффект влияния i -го уровня фактора; ε_{ik} – случайная ошибка, отражающая влияние неконтролируемых факторов.

Для проверки статистической значимости полученных результатов применяется критерий Фишера. Расчётное значение определяется через соотношение межгрупповой и внутригрупповой дисперсий:

$$F_{\text{наблюд}} = \frac{S_{\text{факт}}^2}{S_{\text{ост}}^2} \quad (2)$$

Критическое значение F_k представляет собой пороговое значение статистического критерия Фишера, которое определяется на основе двух ключевых параметров: числа степеней свободы и выбранного уровня значимости.

Интерпретация полученного значения F_k происходит следующим образом: если наблюдаемое значение $F_{\text{набл}} < F_k$, то различия между группами признаются статистически незначимыми; если $F_{\text{набл}} > F_k$, то различия считаются статистически значимыми.

Результаты и обсуждение. Анализ гематологических показателей коров в период раздоя показывает комплексную картину обмена веществ в организме животных (таблица 1).

Таблица 1 – Оценка гематологических показателей, характеризующих обмен веществ в организме коров в период раздоя (n=56)

Table 1 – Assessment of hematological parameters characterizing metabolism in the body of cows during the milking period (n=56)

Показатель / Indicator	X	±m	min	max	σ	Cv, %
Белок общий, г/л / Total protein, g/l	85,44	0,855	70,70	104,8	6,40	7,5
Альбумины, г/л / Albumins, g/l	28,84	0,365	21,70	35,7	2,73	9,5
Глобулины, г/л / Globulins, g/l	56,67	0,935	42,90	75,1	7,00	12,4
А/Г / A/G	0,52	0,013	0,31	0,8	0,09	18,2
Креатинин, мкМ/л / Creatinine, microns/l	97,68	1,864	56,33	117,0	13,95	14,3
Глюкоза, мМ/л / Glucose, mM/l	0,487	0,0263	0,0900	0,880	0,1965	40,37
Билирубин общий, мкМ/л / Total bilirubin, microns/l	1,18	0,162	0,09	8,7	1,21	102,6
Холестерин, мМ/л / Cholesterol, mM/l	3,40	0,099	1,65	4,7	0,74	21,8
АЛТ, МЕ/л / ALT, IU/L	26,21	0,831	14,30	44,0	6,22	23,7
АСТ, МЕ/л / AST, IU/l	92,81	2,064	66,20	155,4	15,45	16,6
АСТ/АЛТ / AST/ALT	3,68	0,112	2,10	7,1	0,84	22,8
Щелочная фосфатаза, МЕ/л / Alkaline phosphatase, IU/l	61,34	5,299	22,00	218,0	39,65	64,6
Ca, мМ/л / Microns/l	2,39	0,025	1,93	2,8	0,19	7,8
P, мМ/л / Microns/l	2,39	0,049	1,66	3,5	0,37	15,5
Ca/P	1,02	0,023	0,69	1,5	0,18	17,1
Мочевина, мМ/л / Urea, mM/l	2,78	0,124	1,48	4,9	0,93	33,4
Mg, мМ/л / Microns/l	1,38	0,044	0,70	2,2	0,33	24,0
Fe, мкМ/л / Microns/l	14,8	1,28	2,20	44,1	9,58	64,7
Хлориды, мМ/л / Chlorides, mM/l	91,58	0,545	84,80	102,2	4,08	4,5
Лейкоциты, 10^9 /л / White blood cells, 10^9 /l	9,01	0,484	2,60	19,6	3,55	39,4
Эритроциты, 10^{12} /л / Red blood cells, 10^{12} /l	5,80	0,067	4,91	7,0	0,49	8,5
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	97,89	1,024	83,00	121,0	7,53	7,7
Гематокрит, % / Hematocrit, %	25,58	0,261	21,40	30,4	1,92	7,5

Белковый обмен характеризуется нормальными показателями общего белка (85,44 г/л) при умеренном коэффициенте вариации (7,5 %). Соотношение альбуминов к глобулинам (А/Г = 0,52) находится в пределах физиологической нормы, что указывает на сбалансированность белкового метаболизма. Липидный обмен представлен показателями холестерина (3,40 мМ/л) и билирубина (1,18 мкМ/л). Высокий коэффициент вариации билирубина (102,6 %) может свидетельствовать о неоднородности группы по состоянию печени. Ферментативная активность отражает нормальную работу печени: уровни АЛТ (26,21 МЕ/л) и АСТ (92,81 МЕ/л) находятся в пределах нормы. Соотношение АСТ/АЛТ (3,68) соответствует физиологическим показателям. Минеральный обмен демонстрирует сбалансированное содержание макроэлементов. Соотношение кальция к фосфору (Са/Р = 1,02) находится в оптимальных пределах для продуктивных животных. Гемограмма (эритроциты, гемоглобин и гематокрит) показывает нормальные показатели красной крови. Однако высокий коэффициент вариации по лейкоцитам (39,4 %) может указывать на наличие воспалительных процессов у отдельных животных.

Что касается середины лактации, то анализ метаболического статуса лактирующих коров демонстрирует следующее (таблица 2).

Таблица 2 – Оценка гематологических показателей, характеризующих обмен веществ в организме коров в середине лактации (n=90)

Table 2 – Assessment of hematological parameters characterizing metabolism in the body of cows in mid-lactation (n=90)

Показатель / Indicator	X	±m	min	max	σ	Cv, %
Белок общий, г/л / Total protein, g/l	85,20	0,74	59,60	98,3	7,04	8,3
Альбумины, г/л / Albumins, g/l	28,97	0,34	15,00	34,0	3,19	11,0
Глобулины, г/л / Globulins, g/l	56,33	0,76	42,60	77,1	7,23	12,8
А/Г / A/G	0,52	0,01	0,27	0,7	0,09	17,6
Креатинин, мкМ/л / Creatinine, microns/l	96,68	1,63	50,30	119,3	15,42	15,9
Глюкоза, мМ/л / Glucose, mM/l	0,38	0,03	0,07	2,30	0,29	76,02
Билирубин общий, мкМ/л / Total bilirubin, microns/l	0,98	0,05	0,19	2,31	0,44	44,41
Холестерин, мМ/л / Cholesterol, mM/l	3,78	0,09	1,21	5,7	0,86	22,8
АЛТ, МЕ/л / ALT, IU/L	31,58	0,74	16,80	48,3	7,03	22,3
АСТ, МЕ/л / AST, IU/l	98,52	1,63	72,00	149,7	15,50	15,7
АСТ/АЛТ / AST/ALT	3,26	0,09	1,97	6,2	0,84	25,6
Щелочная фосфатаза, МЕ/л / Alkaline phosphatase, IU/l	68,04	5,98	18,00	274,0	56,73	83,4
Ca, мМ/л / Microns/l	2,33	0,02	1,93	2,8	0,15	6,5
P, мМ/л / Microns/l	2,35	0,04	1,78	3,5	0,38	16,2
Ca/P	1,02	0,02	0,56	1,4	0,18	18,0
Мочевина, мМ/л / Urea, mM/l	3,42	0,16	1,26	13,0	1,50	43,7
Mg, мМ/л / Microns/l	1,24	0,03	0,64	2,4	0,32	25,8
Fe, мкМ/л / Microns/l	16,38	1,01	3,27	47,69	9,64	58,83
Хлориды, мМ/л / Chlorides, mM/l	92,65	0,49	69,60	102,5	4,67	5,0
Лейкоциты, 10 ⁹ /л / White blood cells, 10 ⁹ /l	10,75	1,07	4,00	98,0	10,07	93,7
Эритроциты, 10 ¹² /л / Red blood cells, 10 ¹² /l	5,55	0,07	3,50	7,8	0,63	11,4
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	93,94	1,09	57,00	126,0	10,19	10,8
Гематокрит, % / Hematocrit, %	24,50	0,27	14,80	31,7	2,58	10,5

Липидный обмен представлен нормальными показателем холестерина, однако высокая вариабельность (22,8 %) указывает на индивидуальные различия в липидном метаболизме среди животных. Активность трансаминаз (АЛТ и АСТ) находится в пределах нормы, с оптимальным соотношением АСТ/АЛТ (3,26), что говорит о нормальной функции печени. Относительно же белкового обмена, то он характеризуется оптимальным уровнем общего белка при умеренной вариабельности показателя. Соотношение альбуминов к глобулинам (0,52) находится в физиологических пределах, что свидетельствует о сбалансированности протеинового метаболизма. Креатинин находится в норме, подтверждая нормальную работу мышечной деятельности. Углеводный обмен демонстрирует значительную

вариабельность уровня глюкозы, что, однако может свидетельствовать о стрессовых реакциях или нарушениях метаболизма. Повышенные же показатели мочевины с высокой вариабельностью (43,7 %) могут указывать на неполное усвоение протеина. Как и в период раздоя, минеральный обмен также характеризуется нормальными показателями. Такие показатели как эритроциты, гемоглобин и гематокрит указывают на удовлетворительное состояние животных.

В конце лактации наблюдается достаточно сложная картина метаболических процессов организма исследуемых коров (таблица 3).

Таблица 3 – Оценка гематологических показателей, характеризующих обмен веществ в организме коров в конце лактации (n=98)

Table 3 – Assessment of hematological parameters characterizing metabolism in the body of cows at the end of lactation (n=98)

Показатель / Indicator	X	±m	min	max	σ	Cv, %
Белок общий, г/л / Total protein, g/l	85,73	0,65	70,30	103,20	6,45	7,52
Альбумины, г/л / Albumins, g/l	29,60	0,27	21,00	34,20	2,64	8,92
Глобулины, г/л / Globulins, g/l	55,97	0,67	43,30	75,40	6,67	11,91
А/Г / A/G	0,54	0,01	0,30	0,71	0,08	15,80
Креатинин, мкМ/л / Creatinine, microns/l	99,35	1,32	56,33	119,29	13,02	13,10
Глюкоза, мМ/л / Glucose, mM/l	0,38	0,021	0,080	0,85	0,203	54,16
Билирубин общий, мкМ/л / Total bilirubin, microns/l	0,98	0,04	0,09	1,99	0,37	38,17
Холестерин, мМ/л / Cholesterol, mM/l	3,75	0,07	1,64	5,28	0,74	19,71
АЛТ, МЕ/л / ALT, IU/L	32,54	0,69	16,20	46,70	6,80	20,91
АСТ, МЕ/л / AST, IU/l	102,39	1,78	66,20	161,60	17,60	17,19
АСТ/АЛТ / AST/ALT	3,28	0,09	1,93	6,41	0,85	25,80
Щелочная фосфатаза, МЕ/л / Alkaline phosphatase, IU/l	62,12	4,81	20,00	281,00	47,62	76,65
Ca, мМ/л / Microns/l	2,36	0,02	2,01	3,00	0,18	7,44
P, мМ/л / Microns/l	2,44	0,04	1,82	3,41	0,36	14,81
Ca/P	0,99	0,02	0,66	1,40	0,17	17,09
Мочевина, мМ/л / Urea, mM/l	3,27	0,09	1,29	5,80	0,88	27,05
Mg, мМ/л / Microns/l	1,51	0,09	0,74	9,03	0,85	56,67
Fe, мкМ/л / Microns/l	17,50	0,92	3,64	47,20	9,14	52,20
Хлориды, мМ/л / Chlorides, mM/l	91,61	0,37	84,60	102,10	3,64	3,97
Лейкоциты, 10 ⁹ /л / White blood cells, 10 ⁹ /l	9,91	0,43	4,00	20,10	4,22	42,52
Эритроциты, 10 ¹² /л / Red blood cells, 10 ¹² /l	5,68	0,06	4,55	6,81	0,56	9,85
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	95,97	0,97	73,00	119,00	9,52	9,92
Гематокрит, % / Hematocrit, %	24,97	0,26	19,80	31,50	2,54	10,16

Особое внимание следует обратить на углеводный обмен: крайне высокая вариабельность уровня глюкозы (54,16 %) может свидетельствовать о напряжении в системе энергообеспечения тканей. Уровень мочевины с вариабельностью 27,05 % указывает на необходимость контроля уровня белка в кормлении животных. Не менее интересная картина и по уровню липидного обмена: уровень холестерина находится в физиологических пределах, однако значительная вариабельность (19,71 %) указывает на индивидуальные особенности метаболизма липидов. Активность трансаминаз (АСТ, АЛТ) демонстрирует стабильную работу печени. Если же обратить внимание непосредственно на показатели белкового обмена, то общий белок находится на оптимальном уровне при умеренной вариабельности показателя. Примечательно сбалансированное соотношение альбуминов к глобулинам (0,54), что свидетельствует о достаточно гармоничной работе иммунной системы и адекватном синтезе белков. Креатинин находится в пределах нормы, подтверждая нормальную функцию мышечной ткани.

Анализ же показателей биохимии крови всего стада в различные сезоны года указывает на то, что все определенные показатели находились в пределах референтных интервалов для молочных коров (таблицы 4, 5, 6 и 7).

Таблица 4 – Оценка гематологических показателей, характеризующих обмен веществ в организме коров в зимний период (n=50)

Table 4 – Assessment of hematological parameters characterizing metabolism in the body of cows in winter (n=50)

Показатель / Indicator	X	±m	min	max	σ	Cv, %
Белок общий, г/л / Total protein, g/l	79,7	0,854	59,60	98,3	6,04	7,6
Альбумины, г/л / Albumins, g/l	25,1	0,368	15,00	29,6	2,60	10,4
Глобулины, г/л / Globulins, g/l	54,6	0,913	42,90	77,1	6,46	11,8
А/Г / A/G	0,5	0,011	0,26	0,6	0,08	16,9
Креатинин, мкм/л / Creatinine, microns/l	68,6	1,675	50,30	118,7	11,84	17,3
Глюкоза, мМ/л / Glucose, mM/l	0,25	0,046	0,070	2,30	0,328	129,5
Билирубин общий, мкм/л / Total bilirubin, microns/l	0,590	0,590	8,69	1,141	74,9	0,161
Холестерин, мМ/л / Cholesterol, mM/l	4,2	0,146	1,21	8,0	1,03	24,5
АЛТ, МЕ/л / ALT, IU/L	35,9	1,005	17,50	48,5	7,11	19,8
АСТ, МЕ/л / AST, IU/l	97,7	2,656	68,20	159,0	18,78	19,2
АСТ/АЛТ / AST/ALT	2,8	0,108	1,75	6,0	0,76	27,1
Щелочная фосфатаза, МЕ/л / Alkaline phosphatase, IU/l	191,0	8,892	90,00	368,0	62,88	32,9
Ca, мМ/л / Microns/l	2,2	0,018	1,93	2,4	0,12	5,6
P, мМ/л / Microns/l	2,3	0,044	1,66	3,5	0,31	13,6
Ca/P	1,0	0,021	0,56	1,3	0,15	15,4
Мочевина, мМ/л / Urea, mM/l	1,97	0,235	1,200	12,98	1,660	84,4
Mg, мМ/л / Microns/l	0,9	0,017	0,64	1,2	0,12	13,1
Fe, мкм/л / Microns/l	17,88	0,820	7,460	29,51	5,799	32,42
Хлориды, мМ/л / Chlorides, mM/l	98,9	0,648	69,60	102,6	4,58	4,6
Лейкоциты, 10 ⁹ /л / White blood cells, 10 ⁹ /l	10,96	0,520	6,300	25,80	3,642	33,2
Эритроциты, 10 ¹² /л / Red blood cells, 10 ¹² /l	6,0	0,077	4,79	7,8	0,54	8,9
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	101,8	1,485	82,00	126,0	10,40	10,2
Гематокрит, % / Hematocrit, %	26,1	0,394	20,60	31,7	2,76	10,6

Белковый обмен характеризуется несколько сниженным уровнем общего белка, что может быть связано с интенсивностью лактации. Примечательно, что соотношение альбуминов к глобулинам (0,5) находится в пределах нормы, однако высокая вариабельность этого показателя (16,9 %) указывает на существенные различия группы по данному показателю. Липидный обмен характеризуется повышенным уровнем холестерина при значительной вариабельности (24,5 %), что может свидетельствовать о различных адаптационных возможностях животных. Активность таких ферментов, как АЛТ и АСТ находится в физиологических пределах, хотя коэффициент АСТ/АЛТ (2,8) несколько повышен, что скорее связано с напряженностью метаболизма в данный период времени. Особого внимания заслуживает энергетический обмен: высокая вариабельность уровня глюкозы (129,5 %) указывает на серьезные нарушения в системе энергообеспечения тканей. Высокая вариабельность уровня мочевины (84,4 %) свидетельствует о возможных проблемах с утилизацией белкового азота у отдельных животных. Минеральный обмен характеризуется стабильным уровнем показателей и оптимальным их соотношением. Нормальными показателями выделяется и гемопоэз: эритроциты, гематокрит и гемоглобин находятся на оптимальном уровне.

Таблица 5 – Оценка гематологических показателей, характеризующих обмен веществ в организме коров в весенний период (n=72)

Table 5 – Assessment of hematological parameters characterizing metabolism in the body of cows in the spring (n=72)

Показатель / Indicator	X	±m	min	max	σ	Cv, %
Белок общий, г/л / Total protein, g/l	87,63	0,7229	72,100	104,80	6,134	7,00
Альбумины, г/л / Albumins, g/l	29,92	0,2664	21,700	35,70	2,260	7,55
Глобулины, г/л / Globulins, g/l	57,71	0,7752	43,100	75,10	6,578	11,40
А/Г / A/G	0,53	0,01	0,31	0,83	0,08	15,64
Креатинин, мкМ/л / Creatinine, microns/l	101,26	1,09	77,19	119,29	9,27	9,15
Глюкоза, мМ/л / Glucose, mM/l	0,62	0,01	0,20	1,24	0,12	20,06
Билирубин общий, мкМ/л / Total bilirubin, microns/l	0,89	0,063	0,090	3,79	0,54	60,47
Холестерин, мМ/л / Cholesterol, mM/l	3,70	0,08	2,09	5,37	0,69	18,61
АЛТ, МЕ/л / ALT, IU/L	27,12	0,65	14,30	41,60	5,52	20,35
АСТ, МЕ/л / AST, IU/l	96,78	2,29	66,20	161,60	19,40	20,05
АСТ/АЛТ / AST/ALT	3,66	0,09	2,29	7,08	0,80	21,74
Щелочная фосфатаза, МЕ/л / Alkaline phosphatase, IU/l	51,81	1,55	23,00	86,00	13,16	25,40
Ca, мМ/л / Microns/l	2,48	0,02	2,07	3,00	0,18	7,09
P, мМ/л / Microns/l	2,58	0,03	1,75	3,47	0,29	11,43
Ca/P	0,97	0,02	0,74	1,46	0,15	14,93
Мочевина, мМ/л / Urea, mM/l	2,64	0,06	1,80	4,52	0,55	20,90
Mg, мМ/л / Microns/l	1,65	0,11	1,06	9,03	0,93	56,55
Fe, мкМ/л / Microns/l	18,14	1,20	2,20	47,69	10,19	56,17
Хлориды, мМ/л / Chlorides, mM/l	89,72	0,22	86,10	96,10	1,88	2,10
Лейкоциты, 10 ⁹ /л / White blood cells, 10 ⁹ /l	8,20	0,35	2,60	19,60	2,97	36,20
Эритроциты, 10 ¹² /л / Red blood cells, 10 ¹² /l	5,83	0,06	4,73	6,81	0,47	8,02
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	99,99	0,91	74,00	117,00	7,60	7,60
Гематокрит, % / Hematocrit, %	26,50	0,24	20,50	31,50	2,05	7,72

Таблица 6 – Оценка гематологических показателей, характеризующих обмен веществ в организме коров в летний период (n=73)

Table 6 – Assessment of hematological parameters characterizing metabolism in the body of cows in the summer period (n=73)

Показатель / Indicator	X	±m	min	max	σ	Cv, %
Белок общий, г/л / Total protein, g/l	87,49	0,69	75,000	100,00	5,890	6,732
Альбумины, г/л / Albumins, g/l	29,24	0,29	22,900	31,70	2,460	8,42
Глобулины, г/л / Globulins, g/l	58,25	0,90	44,400	75,40	7,647	13,13
А/Г / A/G	0,51	0,01	0,304	0,70	0,098	19,12
Креатинин, мкМ/л / Creatinine, microns/l	100,66	0,87	81,860	119,29	7,438	7,39
Глюкоза, мМ/л / Glucose, mM/l	0,37	0,02	0,110	1,11	0,193	51,73
Билирубин общий, мкМ/л / Total bilirubin, microns/l	0,95	0,03	0,090	1,53	0,283	29,78
Холестерин, мМ/л / Cholesterol, mM/l	3,62	0,11	1,640	5,25	0,909	25,14
АЛТ, МЕ/л / ALT, IU/L	28,39	0,50	18,600	37,00	4,269	15,04
АСТ, МЕ/л / AST, IU/l	92,48	0,97	79,800	115,40	8,272	8,94
АСТ/АЛТ / AST/ALT	3,33	0,07	2,470	4,65	0,576	17,29
Щелочная фосфатаза, МЕ/л / Alkaline phosphatase, IU/l	41,10	1,50	18,000	82,00	12,798	31,14
Ca, мМ/л / Microns/l	2,34	0,02	2,000	2,61	0,140	6,0
P, мМ/л / Microns/l	2,04	0,02	1,780	2,44	0,178	8,72
Ca/P	1,16	0,02	0,848	1,43	0,135	11,65
Мочевина, мМ/л / Urea, mM/l	4,28	0,06	2,950	5,80	0,518	12,10
Mg, мМ/л / Microns/l	1,10	0,01	0,820	1,55	0,123	11,18
Fe, мкМ/л / Microns/l	13,74	1,148	2,990	46,26	9,81	71,40
Хлориды, мМ/л / Chlorides, mM/l	94,04	0,26	84,800	99,70	2,196	2,34
Лейкоциты, 10 ⁹ /л / White blood cells, 10 ⁹ /l	11,39	1,29	4,100	98,00	10,905	95,75
Эритроциты, 10 ¹² /л / Red blood cells, 10 ¹² /l	5,33	0,06	3,500	6,36	0,536	10,10
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	89,15	0,80	57,000	97,00	6,735	7,55
Гематокрит, % / Hematocrit, %	23,29	0,21	14,800	25,40	1,774	7,62

Белковый обмен имеет удовлетворительный показатель общего белка при его умеренной вариабельности, что свидетельствует о достаточной обеспеченности организма протеином. Альбумино-глобулиновый индекс находится в пределах физиологической нормы, указывая на адекватность иммунных реакций и также стабильность белкового обмена. Углеводный же обмен отличается некоторыми особенностями: уровень глюкозы находится на нижней границе нормы, а его высокая вариабельность (20,06 %) может указывать на нестабильность углеводного обмена. Азотистый обмен характеризуется нормальным уровнем мочевины, что подтверждает адекватность белкового питания. Показатели минерального обмена и гемопоэза находятся в пределах физиологических норм. Однако особого внимания в общей картине заслуживают следующие показатели: высокая вариабельность лейкоцитов (36,20 %) и щелочной фосфатазы (25,40 %), а также значительные колебания билирубина (60,47 %) могут говорить о напряженности иммунной системы.

Физиологический статус лактирующих коров в летний период характеризуется сложной картиной метаболических процессов, отражающей адаптацию организма к сезонным изменениям. Белковый обмен демонстрирует удовлетворительные показатели общего белка при умеренной вариабельности (6,73 %). Альбумино-глобулиновый коэффициент (0,51) находится в пределах нормы, что свидетельствует о стабильной работе иммунной системы и адекватности белкового метаболизма. Креатинин подтверждает нормальную функцию мышечной ткани. Следующими особенностями характеризуется липидный обмен: уровень холестерина в пределах нормы, но с высокой вариабельностью (25,14 %). Показатели АСТ и АЛТ находятся в пределах нормы при оптимальном их соотношении АСТ/АЛТ. Важное внимание следует обратить на углеводный обмен. Низкая концентрация глюкозы при ее высокой вариабельности (51,73 %). Показатели минерального обмена находятся на оптимальном уровне.

Таблица 7 – Оценка гематологических показателей, характеризующих обмен веществ в организме коров в осенний период (n=73)

Table 7 – Assessment of hematological parameters characterizing metabolism in the body of cows in the autumn period (n=73)

Показатель / Indicator	X	±m	min	max	σ	Cv, %
Белок общий, г/л / Total protein, g/l	83,79	0,66	69,200	97,50	5,606	6,69
Альбумины, г/л / Albumins, g/l	30,44	0,25	26,600	34,20	2,095	6,88
Глобулины, г/л / Globulins, g/l	53,35	0,62	42,600	68,30	5,330	9,99
А/Г / A/G	0,58	0,01	0,428	0,71	0,069	11,98
Креатинин, мкМ/л / Creatinine, microns/l	104,73	0,55	95,900	115,78	4,733	4,52
Глюкоза, мМ/л / Glucose, mM/l	0,29	0,018	0,100	0,85	0,154	52,48
Билирубин общий, мкМ/л / Total bilirubin, microns/l	0,99	0,05	0,090	1,99	0,438	44,43
Холестерин, мМ/л / Cholesterol, mM/l	3,57	0,07	1,530	4,94	0,626	17,54
АЛТ, МЕ/л / ALT, IU/L	34,94	0,91	16,200	47,80	7,748	22,18
АСТ, МЕ/л / AST, IU/l	105,68	1,83	79,300	134,40	15,609	14,77
АСТ/АЛТ / AST/ALT	3,23	0,12	2,017	6,41	1,034	32,04
Щелочная фосфатаза, МЕ/л / Alkaline phosphatase, IU/l	47,95	1,04	37,000	92,00	8,863	18,49
Ca, мМ/л / Microns/l	2,31	0,02	2,090	2,65	0,129	5,59
P, мМ/л / Microns/l	2,63	0,03	1,890	3,37	0,289	10,98
Ca/P	0,89	0,02	0,659	1,40	0,133	14,87
Мочевина, мМ/л / Urea, mM/l	3,20	0,06	2,460	4,38	0,546	17,06
Mg, мМ/л / Microns/l	1,60	0,03	1,090	2,98	0,258	16,14
Fe, мкМ/л / Microns/l	17,41	1,061	5,110	47,20	9,066	52,08
Хлориды, мМ/л / Chlorides, mM/l	89,51	0,26	84,600	93,90	2,204	2,46
Лейкоциты, 10 ⁹ /л / White blood cells, 10 ⁹ /l	9,75	0,57	4,000	18,50	4,806	49,27
Эритроциты, 10 ¹² /л / Red blood cells, 10 ¹² /l	5,62	0,07	4,630	6,50	0,572	10,17
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	95,25	1,06	80,000	108,00	8,969	9,42
Гематокрит, % / Hematocrit, %	24,58	0,25	20,900	27,80	2,101	8,54

Особое внимание следует обратить на углеводный обмен. Наблюдается крайне низкая концентрация глюкозы, а также повышенный уровень мочевины.

Что касается минерального обмена, то здесь видно следующее: Кальций, фосфор, магний и хлориды находятся в пределах нормы. При этом соотношение Ca/P несколько снижено.

Относительно же белкового обмена, то он характеризуется умеренным уровнем общего белка при низкой вариабельности. Альбумино-глобулиновый коэффициент находится в пределах нормы, что свидетельствует об оптимальном состоянии белкового обмена, на что указывает также нормальный уровень креатинина. Липидный обмен также характеризуется оптимальным уровнем показателей.

Результаты дисперсионного анализа гематологических показателей коров черно-пестрой голштинизированной и голштинской пород демонстрируют особую картину влияния таких факторов как стадия лактации и сезон года на метаболический статус животных (таблица 8).

Таблица 8 – Влияние факторов на изменчивость фенотипических показателей гематологических параметров крови в организме коров черно-пестрой голштинизированной и голштинской пород (n = 268, ПЗ «Ладожский», 2024 г.)

Table 8 – The influence of factors on the variability of phenotypic indicators of hematological parameters of blood in the body of cows of the Black-and-White Holsteinized and Holstein breeds (n = 268, Ladozhsky Breeding Farm, 2024)

Показатель / Indicator	Стадия лактации / Lactation stage		Сезон года / Lactation stage		Стадия лактации +сезон года / Lactation stage +season of the year	
	F	p	F	p	F	p
Белок общий, г/л / Total protein, g/l	0,13	0,875	22,78	< 4,0*10⁻¹²	5,76	< 3,4*10⁻⁸
Альбумины, г/л / Albumins, g/l	1,34	0,264	55,40	< 1,0*10⁻¹²	11,96	< 1,0*10⁻¹³
Глобулины, г/л / Globulins, g/l	0,10	0,907	8,93	< 1,0*10⁻⁵	3,03	< 8,6*10⁻⁴
А/Г / A/G	0,67	0,512	16,58	< 6,9*10⁻¹⁰	4,52	< 3,5*10⁻⁵
Креатинин, мкм/л / Creatinine, microns/l	0,98	0,378	214,41	< 1,0*10⁻¹²	36,58	< 1,0*10⁻¹³
Глюкоза, мМ/л / Glucose, mM/l	4,580	0,011	17,22	< 3,2*10⁻¹⁰	10,56	< 1,0*10⁻¹³
Билирубин общий, мкм/л / Total bilirubin, microns/l	1,07	0,345	175,08	< 1,0*10⁻¹²	7,28	< 1,3*10⁻¹⁰
Холестерин, мМ/л / Cholesterol, mM/l	4,56	0,01	7,36	< 9,4*10⁻⁵	3,04	< 8,2*10⁻⁵
АЛТ, МЕ/л / ALT, IU/L	15,25	< 1,0*10⁻⁶	33,40	< 1,0*10⁻¹²	10,85	< 1,0*10⁻¹³
АСТ, МЕ/л / AST, IU/l	5,41	0,005	8,26	< 2,9*10⁻⁵	3,99	< 2,5*10⁻⁵
АСТ/АЛТ / AST/ALT	5,08	0,007	11,01	< 8,0*10⁻¹²	2,97	0,001
Щелочная фосфатаза, МЕ/л / Alkaline phosphatase, IU/l	0,54	0,582	335,01	< 1,0*10⁻¹²	90,16	< 1,0*10⁻¹³
Ca, мМ/л / Microns/l	2,32	0,101	32,33	< 1,0*10⁻¹²	8,38	< 2,5*10⁻¹²
P, мМ/л / Microns/l	0,93	0,395	71,68	< 1,0*10⁻¹²	19,37	< 1,0*10⁻¹³
Ca/P	0,58	0,558	45,66	< 1,0*10⁻¹²	12,30	< 1,0*10⁻¹³
Мочевина, мМ/л / Urea, mM/l	4,30	0,015	77,39	< 1,0*10⁻¹²	16,91	< 1,0*10⁻¹³
Mg, мМ/л / Microns/l	4,20	0,016	30,10	< 1,0*10⁻¹²	7,56	< 4,7*10⁻¹¹
Fe, мкм/л / Microns/l	1,07	0,34	3,39	0,02	1,44	0,03
Хлориды, мМ/л / Chlorides, mM/l	2,00	0,137	145,92	< 1,0*10⁻¹²	26,73	< 1,0*10⁻¹³
Лейкоциты, 10 ⁹ /л / White blood cells, 10 ⁹ /l	1,08	0,34	3,16	0,03	1,09	0,11
Эритроциты, 10 ¹² /л / Red blood cells, 10 ¹² /l	3,22	0,042	19,31	< 2,5*10⁻¹¹	4,82	< 1,1*10⁻⁶
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	3,06	0,049	29,06	< 1,0*10⁻¹²	8,96	< 3,3*10⁻¹³
Гематокрит, % / Hematocrit, %	3,37	0,036	31,23	< 1,0*10⁻¹²	10,20	< 1,0*10⁻¹³

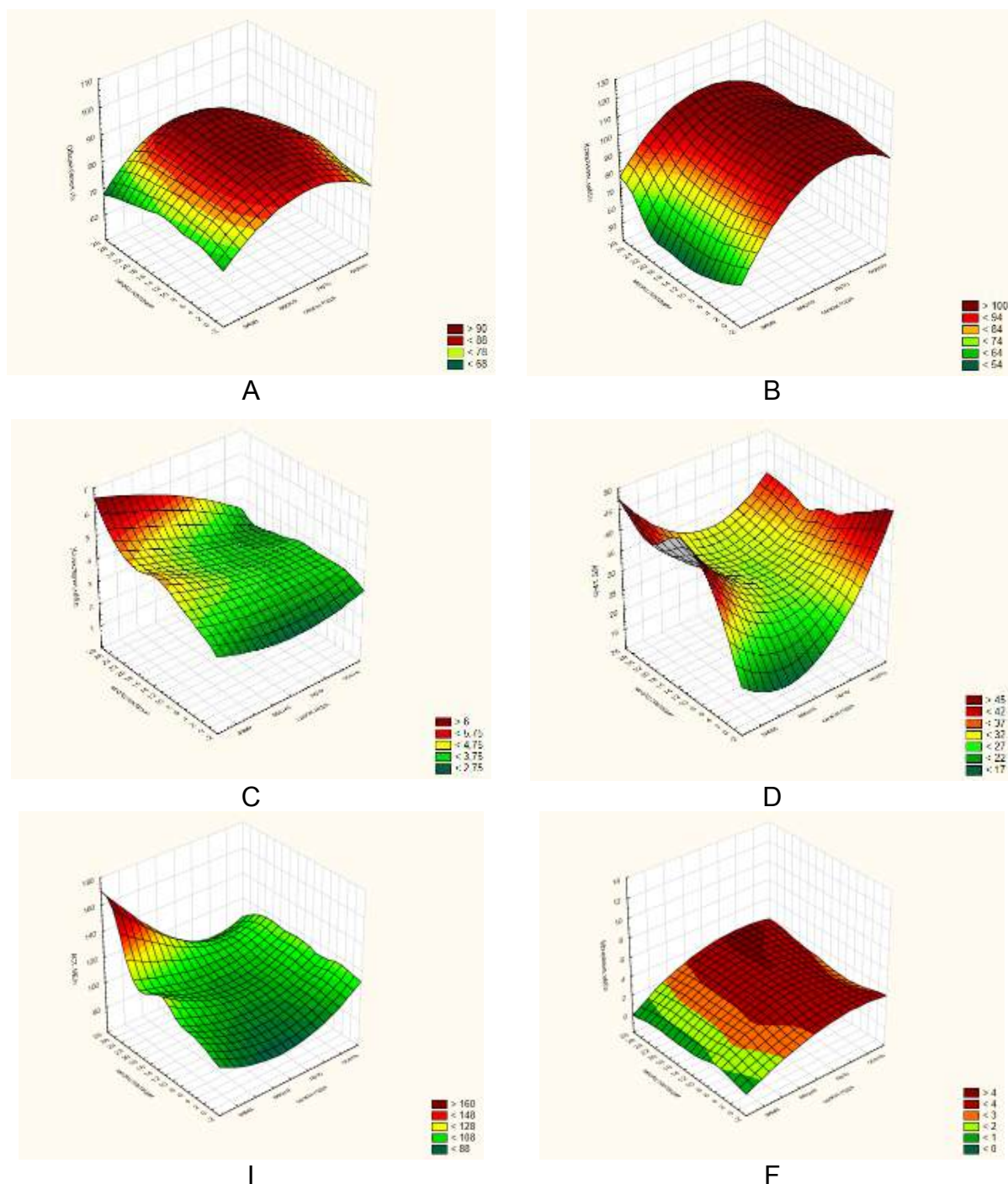
Примечание: жирным шрифтом текста выделено значимое влияния факторов на изучаемые показатели.
Note: the bold text highlights the significant influence of factors on the studied indicators.

Сезон года оказывает наиболее существенное влияние на большинство показателей (значимые значения F-критерия для альбуминов, креатинина, билирубина, АЛТ, щелочной фосфатазы, фосфора, мочевины, хлоридов, гемоглобина). Стадия лактации значительно влияет на показатели глюкозы, холестерина, АСТ, магния, эритроцитов, гемоглобина и гематокрита.

Двухфакторный анализ (стадия лактации + сезон года) демонстрирует комплексное воздействие на общий белок, глобулины, А/Г коэффициент, АСТ/АЛТ соотношение, кальций, Са/Р соотношение, лейкоциты.

Проведенный анализ позволяет выделить следующие закономерности. Выявлена тесная взаимосвязь между сезонными изменениями и метаболическим статусом животных. Стадия лактации оказывает существенное, но менее выраженное влияние по сравнению с сезонным фактором. Сопряженное влияние факторов показывает дополнительные эффекты, не сводимые к простой сумме влияний.

Несмотря на высокую степень совместного влияния факторов «сезон года» и «стадия лактации», трехмерная визуализация результатов (рисунок 1) показывает различные закономерности изменения признаков в разные сезоны года и стадии лактации.



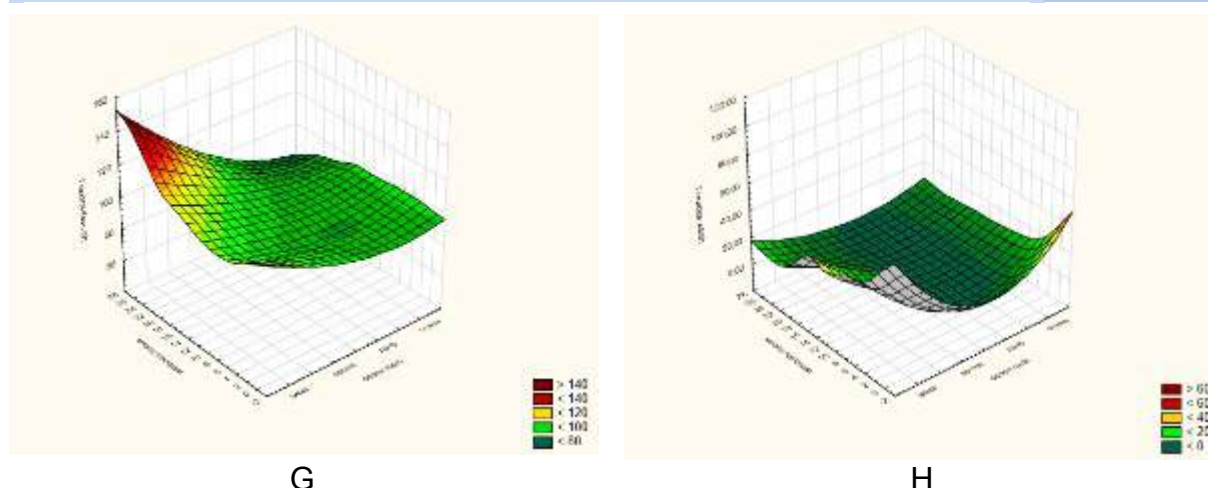


Рисунок 1 – Изменение гематологических показателей в зависимости от сезона года и стадии лактации (G – гемоглобин, H – глюкоза)
Figure 1 – Changes in hematological parameters depending on the season of the year and stage of lactation (G – hemoglobin, H – glucose)

Основная масса показателей азотистого, углеводно-липидного и минерального обмена в организме исследованных животных находится в пределах референтных значений для молочных коров. Анализ биохимических показателей крови коров в течение лактации указывает на изменения, соответствующие физиологическому состоянию животных. Установлено влияние месяца лактации и сезона года на изучаемые биохимические и клинические показатели в организме коров.

Заключение. Проведенные комплексные исследования гематологических показателей коров позволили сформировать целостное представление о метаболических процессах в организме животных в различные периоды лактации и сезоны года.

Установлена стабильная работа белкового обмена у животных во все периоды лактации при умеренной вариабельности показателей. Выявлена высокая чувствительность углеводного обмена к сезонным изменениям, что проявляется в значительных колебаниях уровня глюкозы, а также определена тесная взаимосвязь между стадией лактации и сезонными изменениями в метаболическом статусе животных. Доказана существенная роль сезонного фактора в формировании биохимического профиля крови.

Важные закономерности, которые выявлены в ходе исследования. В период раздоя наблюдается оптимальная сбалансированность всех видов обмена веществ. Середина лактации характеризуется наибольшей вариабельностью показателей, особенно в углеводном обмене. К концу лактации происходит стабилизация метаболических процессов при сохранении высокой адаптационной способности организма. Сезонные изменения оказывают более выраженное влияние на метаболический статус, чем стадия лактации.

Это указывает на то, что требуется дифференцированный подход к контролю метаболического статуса в зависимости от стадии лактации. Также важно проводить регулярный мониторинг ключевых биохимических показателей.

Conclusions. Comprehensive studies of hematological parameters in cows allowed us to develop a comprehensive understanding of metabolic processes in the animals' bodies at different stages of lactation and throughout the seasons.

Stable protein metabolism was established in animals throughout all lactation periods, with moderate variability. High sensitivity of carbohydrate metabolism to seasonal changes was revealed, manifested by significant fluctuations in glucose levels. A close relationship between the stage of lactation and seasonal changes in the animals' metabolic status was also established. The significant role of seasonal factors in shaping the blood biochemical profile was demonstrated.

Important patterns identified during the study: During the period of increased milk production, an optimal balance of all metabolic processes is observed. Mid-lactation is characterized by the greatest variability in parameters, particularly in carbohydrate metabolism. By the end of lactation, metabolic processes stabilize while the body's high adaptive capacity is maintained. Seasonal changes have a more pronounced impact on metabolic status than the stage of lactation.

This indicates that a differentiated approach to monitoring metabolic status is required depending on the stage of lactation. Regular monitoring of key biochemical parameters is also important.

Библиографический список

1. Раицкая В. И. Возрастные изменения форменных элементов крови крупного рогатого скота герефордской породы в разные сезоны года. Ветеринарный врач. 2018. № 4. С. 19-23
2. Yehia S. G., University C., Ramadan E.S., Megahed E.A., Sale N. Influence of Season and Lactation Stage on Oxidative, Hematological, and Metabolic Profile Parameters in Holstein Dairy Cows. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*. 2021. No 9 (12).
3. Косилов В. И., Седых Т. А., Миронова И. В., Рахимжанова И. А., Мустафин Р. З., Абдурасулов А. Х. Влияние генотипа телок и сезона года на гематологические показатели. Вестник ОшГУ. 2024. №4(9). С. 45-51.
4. Федосова О. А., Кулаков В. В., Карелина О. А., Уливанова Г. В. Уровень основных морфологических и биохимических показателей крови коров в зависимости от продуктивности, количества и стадии лактации. Вестник РГАТУ. 2022. Т. 14. № 4. С. 73-82.
5. Gubashev N., Amangaliyev T., Shukurov M., Makhimov Z. Seasonal variability of hematological and biochemical blood parameters in bulls of different genotypes. *Intellectual idea and innovation*. 2025. No 4 (1). Pp. 74-83.
6. Косилов В. И., Харламов А. В., Амиршоев Ф. С., Рахимжанова И. А., Третьякова Р. Ф., Каюмов Ф. Г. Влияние генотипа бычков и сезона года на белковый состав, активность трансаминаз и естественную резистентность в сыворотке крови. Животноводство и кормопроизводство. 2022. № 105 (2). С. 17-27.
7. Третьякова Р. Ф., Америкханов Х. А., Куш Е. Д., Каюмов Ф. Г., Отаров А. И. Сезонные изменения в морфологическом и биохимическом составе крови у бычков калмыцкой породы разных генотипов. Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 3. С. 15-22.
8. Янчев И., Марков Н., Харизанова-Методиева Ц., Игнатова М. Влияние климатических изменений на гематологический и биохимический статус стада коров Лимузинской породы в середине двух последовательных пастбищных сезонов. *Bulgarian Journal of Animal Husbandry*. 2024. № 61 (5). С. 30-38
9. Отаров А. И., Каюмов Ф. Г., Третьякова Р. Ф. Влияние климатических факторов на гематологические показатели калмыцкого скота в горных условиях Кабардино-Балкарской Республики. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020. № 2 (82). С. 252-256
10. Косилов В. И., Седых Т. А., Миронова И. В., Рахимжанова И. А., Мустафин Р. З., Ежова О. Ю., Абдурасулов А. Х. Гематологические показатели телок разных пород по сезонам года. Вестник ОшГУ. 2024. №3. С. 31-37.
11. Раицкая В. И., Севастьянова В. М. Гематологические и биохимические показатели крови крупного рогатого скота, мясного направления по сезонам года. *Norwegian Journal of development of the International Science*. 2020. № 40. С. 49-52.
12. Карликова Г. Г. Состояние гомеостаза организма высокопродуктивных молочных коров разного уровня генетической ценности в период раздоя. *Пермский аграрный вестник*. 2021. № 4 (36). С. 109-116.

References

1. Raickaya V. I. Age-related changes of blood corpuscles of cattle Hereford breed in different seasons of the year. *Veterinarian*. 2018. V. 4. Pp. 19-23
2. Yehia S. G., University C., Ramadan E.S., Megahed E.A., Sale N. Influence of Season and Lactation Stage on Oxidative, Hematological, and Metabolic Profile Parameters in Holstein Dairy Cows. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*. 2021. No 9 (12).
3. Kosilov V. I., Sedykh T. A., Mironova I. V., Rakhimzhanova I. A., Abdurasulov A. K. Influence of Heifers genotype and season of the year on hematological indicators. *Journal of Osh state university*. 2024. V. 4 (9). Pp. 45-51.
4. Fedosova O. A., Kulakov V. V., Karelina O. A., Ulianova G. V. The level of basic morphological and biochemical values of cows' blood depending on productivity, quantity and stage of lactation. *Vestnik RGATU*. 2022. V. 14 (4). Pp. 73-82.
5. Gubashev N., Amangaliyev T., Shukurov M., Makhimov Z. Seasonal variability of hematological and biochemical blood parameters in bulls of different genotypes. *Intellectual idea and innovation*. 2025. No 4 (1). Pp. 74-83.
6. Kosilov V. I., Kharlamov A. V., Amirshoev F. S., Rakhimzhanova I. A., Tretyakova R. F., Kayumov. F. G. The effect of the bull-calves' genotype and the season of the year on protein composition, transaminase activity and natural resistance in blood serum. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022. V. 105 (2). Pp. 17-27.
7. Tretyakova R. F., Amerkhanov Kh. A., Kushch Ye. D., Kayumov F. G., Otarov A. I. Seasonal changes in morphological and biochemical blood composition of kalmyk bulls of different genotypes. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2018. V. 101 (3). Pp. 15-22
8. Yanchev I., Markov N., Kharizanova-Metodieva Ts., Ignatova M. The influence of climatic changes on the hematological and biochemical status of a herd of Limousine cows in the middle of two consecutive grazing seasons. *Bulgarian Journal of Animal Husbandry*. 2024. No 61 (5). Pp. 30-38.
9. Otarov A. I., Kayumov F. G., Tretyakova R. F. The influence of climatic factors on the hematological parameters of Kalmyk cattle in the mountainous conditions of Kabardino-Balkarian Republic. *Proceedings of the Orenburg State Agrarian University*. 2018. V. 101 (3). Pp. 15-22
10. Kosilov V. I., Sedykh T. A., Mironova I. V., Rakhimzhanova I. A., Mustafin R. Z., Yezhova O. Yu., Abdurasulov A. K. Hematological indicators of heifers of different breeds by season. *Journal of Osh state university*. 2024. V. 3. Pp. 31-37.
11. Raitskaya V., Sevastyanova V. Hematological and biochemical blood indicators of cattle, measures by seasons of the year. *Norwegian Journal of development of the International Science*. 2020. V. 40. Pp. 49-52.
12. Karlikova G. G. The state of homeostasis of highly productive dairy cows of different levels of genetic value during the milking period. *Perm Agrarian Journal*. 2021. V. 4 (36). Pp. 109-116.

Информация об авторах

Сермягин Александр Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, директор, ВНИИГРЖ – филиал ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста (Российская Федерация, 196601, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Московское шоссе, 55а), ORCID: 0000-0002-1799-6014, AuthorID 592166, e-mail: alex_sermyagin85@mail.ru

Конте Александр Федорович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста (Российская Федерация, 142132, Московская область, Подольский городской округ, деревня Дубровицы, 60), ORCID 0000-0003-4877-0883, AuthorID 849809, e-mail: alexandrconte@yandex.ru

Недашковский Игорь Сергеевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, зав. отделом национального каталога Национального центра генетических ресурсов с.-х. животных ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста (Российская Федерация, 142132, Московская область, Подольский городской округ, деревня Дубровицы, 60), ORCID: 0000-0003-0487-4576, AuthorID 969123, e-mail: nedashkovsky_is@mail.ru

Боголюбова Надежда Владимировна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом, ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста (Российская Федерация, 142132, Московская область, Подольский городской округ, деревня Дубровицы, 60), ORCID: 0000-0002-0520-7022, AuthorID: 276710, e-mail: 652202@mail.ru

Authors' Information

Sermyagin Aleksandr Aleksandrovich, Candidate of Agricultural Sciences, Director, All-Russian research institute of genetics and breeding of farm animals - branch of the Federal Research Center for Animal Husbandry – VIZh named after Academician L. K. Ernst (Russian Federation, 196601, St. Petersburg, Pushkin, Moskovskoe shosse, 55a), ORCID 0000-0002-1799-6014, e-mail: alex_sermyagin85@mail.ru

Konte Aleksandr Fedorovich, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (Russian Federation, 142132, Moscow Region, Podolsk City District, Dubrovitsy Village, 60), ORCID 0000-0003-4877-0883, AuthorID 849809; e-mail: alexandrconte@yandex.ru

Nedashkovsky Igor Sergeevich, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Head of National Catalogue of the National Center for Genetic Resources of Agricultural Animals department, L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (Russian Federation, 142132, Moscow Region, Podolsk City District, Dubrovitsy Village, 60), ORCID: 0000-0003-0487-4576, AuthorID 969123, e-mail: nedashkovsky_is@mail.ru

Bogolyubova Nadezhda Vladimirovna, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Head of the Department, L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (Russian Federation, 142132, Moscow Region, Podolsk City District, Dubrovitsy Village, 60), ORCID: 0000-0002-0520-7022, AuthorID: 276710, e-mail: 652202@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-39

THE GENETIC DIVERSITY AND THE STRUCTURE OF THE SHEEP DIFFERENT GENOTYPES POPULATIONS BASED ON MICROSATELLITE LOCI

Ubushieva A. V., Chimidova N. V., Ubushieva V. S., Dordzhiev D. A.

*Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov
Regional Scientific and Production Center for the Reproduction of Farm Animals
Elista, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: niimmp@mail.ru

Received 08.11.2025

Submitted 20.12.2025

The work was performed within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (No. 075-03-2025-420/6) "Search for genotype-phenotype associations".

Abstract

Introduction. To conduct a comprehensive population-genetic analysis of eight small ruminant populations to assess their genetic diversity, structure, and level of inbreeding using microsatellite markers. **Materials and methods.** A total of 424 blood samples from 8 populations were analyzed. These included purebred Edilbaevsky, Kalmyk, Merino, and Suffolk sheep, as well as their crossbreeds, from farms in the Republic of Kalmykia and Volgograd Oblast. Genotyping was performed using the "Gene Profile Sheep" kit for 12 highly polymorphic autosomal microsatellite loci (STRs). Calculations of genetic diversity parameters (N_a , N_e , H_o , H_e , PIC , FIS), analysis of genetic differentiation (FST , $AMOVA$), cluster analysis (UPGMA), principal component analysis (PCA), and Bayesian population structure analysis were performed using specialized software (GeneAIE, STRUCTURE, R programs). **Results.** Significant variability in genetic diversity was revealed between populations. The Edilbaevsky population from the "Ulan-Kheech" farm exhibited the highest expected heterozygosity ($H_e=0.746$) and allelic richness. The lowest diversity ($H_e=0.649$) was observed in the Merino population. PCA and UPGMA clustering clearly differentiated the populations into two main clusters: fat-tailed meat (Edilbaevsky, Kalmyk breeds and their crossbreeds) and fine-wool/meat (Merino, Suffolk) types. A critically high level of inbreeding ($F > 0.25$) was established in five out of seven populations, especially in small groups (Merino, Suffolk) and in the Volgograd population of Edilbaev sheep. **Conclusion.** The study confirmed the high genetic potential and significant within-breed diversity of Edilbaevsky sheep, making them a valuable genetic resource. Clear genetic differentiation between breeds of different productivity directions indicates their distinct evolutionary paths and effective selection. The identified high level of inbreeding in most populations poses a serious threat to their long-term sustainability and requires urgent measures for herd management, including increasing the effective population size and planned exchange of genetic material. The obtained data provide a scientific basis for developing strategies for the conservation and sustainable use of sheep genetic resources in the region.

Keywords: *genotypes of sheep, development of sheep breeding, sheep inbreeding, sheep selection, STR markers.*

Citation. Ubushieva A. V., Chimidova N. V., Ubushieva V. S., Dordzhiev D. A. The genetic diversity and the structure of the sheep different genotypes populations based on microsatellite loci. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 374-384 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-39.

Authors' contributions. Altana Ubushieva – research concept and design, conducting the experiment, data analysis, writing and editing the article. Nadezhda Chimidova – conducting the experiment, data collection and processing, statistical analysis. Victoria Ubushieva – conducting the analysis, interpretation of results, discussion of data. Dmitry Dordzhiev – conducting experiments, preparation of data visualizations.

Conflict of interest. All authors declared no conflicts of interest.

УДК 636.32/38.082

ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИЙ ОВЕЦ РАЗНЫХ ГЕНОТИПОВ НА ОСНОВЕ МИКРОСАТЕЛЛИТНЫХ ЛОКУСОВ

Убушиева А. В., кандидат биологических наук

Чимидова Н. В., кандидат биологических наук

Убушиева В. С., аспирант

Дорджиев Д. А., магистрант

*Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова, Региональный
научно-производственный центр по воспроизводству сельскохозяйственных животных
г. Элиста, Республика Калмыкия, Российская Федерация*

**Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего
образования Российской Федерации (№ 075-03-2025-420/6) «Поиск ассоциаций генотип-фенотип».**

Аннотация. Цель. Провести комплексный популяционно-генетический анализ восьми популяций мелкого рогатого скота для оценки их генетического разнообразия, структуры и уровня инбридинга с использованием микросателлитных маркеров. **Материалы и методы.** Исследованы 424 пробы крови из 8 популяций, включая чистопородных эдильбаевских, калмыцких, мериносовых, суффолкских овец и их помеси из хозяйств Республики Калмыкия и Волгоградской области. Генотипирование проведено по 12 высоко полиморфным аутосомным микросателлитным локусам (STR) с использованием набора «Gene Profile Sheep». Расчёт параметров генетического разнообразия (N_e , H_e , H_o , PIC , FIS), анализ генетической дифференциации (FST , $AMOVA$), кластеризация ($UPGMA$), анализ главных компонент (PCA) и байесовский анализ структуры популяций выполнены с использованием специализированного программного обеспечения (GeneAIEx, STRUCTURE, программы R). **Результаты.** Выявлена значительная вариабельность генетического разнообразия между популяциями. Наибольшей ожидаемой гетерозиготностью ($H_e=0.746$) и аллельным богатством характеризовалась эдильбаевская популяция из хозяйства «Улан-Хееч». Наименьшее разнообразие ($H_e=0.649$) отмечено у популяции мериносов. Анализ PCA и кластеризация $UPGMA$ чётко дифференцировали популяции на два основных кластера: мясо-сального (эдильбаевская, калмыцкая породы и их помеси) и тонкорунного/мясного (меринос, суффолк) направлений. Установлен критически высокий уровень инбридинга ($F > 0.25$) в пяти из семи популяций, особенно в малочисленных группах (мериносы, суффолки) и в волгоградской популяции эдильбаевских овец. **Заключение.** Исследование подтвердило высокий генетический потенциал и значительное внутривидовое разнообразие эдильбаевских овец, что делает их ценным генетическим ресурсом. Чёткая генетическая дифференциация между породами разных направлений продуктивности свидетельствует об их обособленном эволюционном пути и эффективности селекции. Выявленный высокий уровень инбридинга в большинстве популяций является серьёзной угрозой их долгосрочной устойчивости и требует неотложных мер по управлению племенным ядром, включая увеличение эффективной численности популяций и плановый обмен генетическим материалом. Полученные данные служат научной основой для разработки стратегий сохранения и рационального использования генетических ресурсов овец в регионе.

Ключевые слова: генотипы овец, развитие овцеводства, инбридинг овец, селекция овец, STR-маркеры.

Цитирование. Убушиева А. В., Чимидова Н. В., Убушиева В. С., Дорджиев Д. А. Генетическое разнообразие и структура популяций овец разных генотипов на основе микросателлитных локусов. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 374-384. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-39.

Авторский вклад. Алтана Убушиева – концепция и дизайн исследования, проведение эксперимента, анализ данных, написание и редактирование статьи; Надежда Чимидова – проведение эксперимента, сбор и обработка данных, статистический анализ; Виктория Убушиева – проведение анализа, интерпретация результатов, обсуждение данных; Дмитрий Дорджиев – проведение экспериментов, подготовка визуализаций данных.

Конфликт интересов. Все авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Генетическое разнообразие в значительной степени определяет адаптивные способности, эволюционный потенциал и долгосрочную устойчивость популяций домашних животных в условиях меняющейся среды и антропогенного давления [1, 2]. Основными количественными характеристиками этого разнообразия являются аллельное бо-

гатство, ожидаемая и наблюдаемая гетерозиготность, а также степень генетической дифференциации между популяциями (FST). Универсальными инструментами для их оценки служат молекулярно-генетические маркеры [3, 4], среди которых микросателлиты (Short Tandem Repeats, STR), благодаря своему высокому полиморфизму и кодоминантному наследованию, уже несколько десятилетий остаются стандартом для популяционно-генетических исследований в животноводстве [5]. С помощью микросателлитных маркеров и F-статистики накоплена обширная информация о внутри- и межпопуляционной дифференциации сельскохозяйственных животных, включая овец [6-9].

Широкомасштабные исследования демонстрируют, что глобальное распределение генетического разнообразия овец неравномерно и формирует отчетливые «горячие точки». Наибольшее аллельное богатство и ожидаемая гетерозиготность ($H_T > 0.8$) характерны для пород, разводимых в регионах, географически близких к предполагаемым центрам доместикизации, таким как Кавказ, Прикаспийская низменность, степи Казахстана и Юго-Восточная Европа [10]. Эти популяции представляют собой бесценный резервуар генетической изменчивости, сохранившейся от диких предков и сформированной под давлением разнообразных, подчас экстремальных, условий среды [2, 10]. Напротив, породы, подвергшиеся интенсивной заводской селекции или обитающие на периферии ареала (например, в Северной Европе), демонстрируют существенно более низкий уровень генетического разнообразия [6, 10]. Кластерный анализ на основе микросателлитных данных надежно выделяет основные эволюционные линии овец, такие как «курдючные» (Fat-tailed), «композиционные» (Composite) и «северные» (Nordic) кластеры, отражающие историю расселения и селекции [10]. Подобные паттерны генетической структуры, тесно связанные с географией и историей пород, были выявлены и в более локальных исследованиях, например, среди овец островов Лемнос и Лесбос в Эгейском море [4] или среди кипрских пород [3].

В современных условиях растущей интенсификации животноводства и глобализации племенных ресурсов локальные породы, особенно мясо-сального и грубошерстного направления, сталкиваются с серьезными угрозами. Сокращение поголовья, фрагментация ареалов, неконтролируемая метизация и использование ограниченного числа производителей ведут к сужению генетической базы, усилению генетического дрейфа и росту уровня инбридинга [3, 8]. Инбридинг, в свою очередь, напрямую коррелирует с риском инбредной депрессии – снижением жизнеспособности, плодовитости и продуктивных качеств [8]. Поэтому мониторинг коэффициента инбридинга (FIS, FROH) является критически важным элементом любой программы сохранения генетических ресурсов [8, 9]. При этом традиционные методы оценки на основе родословных зачастую недостаточно точны, тогда как расчет инбридинга по геномным данным, например, по протяженным гомозиготным сегментам (Runs of Homozygosity, ROH), позволяет выявить как недавние, так и исторические события инбридинга [8].

Эдильбаевская порода овец, являющаяся одной из ключевых курдючных пород мясо-сального направления, исторически разводимой в экстремальных условиях засушливых степей Казахстана и сопредельных регионов России, представляет собой ценный объект для подобных исследований. Несмотря на ее хозяйственную важность и известную адаптивность, комплексных работ, посвященных оценке современного состояния генетического разнообразия различных популяций эдильбаевских овец с использованием высокополиморфных микросателлитных маркеров, явно недостаточно. Существующие геномные исследования, включающие эдильбаевскую породу, как правило, носят сравнительный характер и фокусируются на более широких филогенетических взаимоотношениях [6], но не дают детальной картины внутривидовой структуры и уровня генетического разнообразия в конкретных хозяйствах. В то же время, для других российских грубошерстных пород, таких как романовская или осетинская, подобные исследования успешно проводятся и выявляют значительную внутривидовую дифференциацию и вариабельность параметров генетического разнообразия между региональными популяциями [1, 6].

Таким образом, целью нашего исследования является комплексный популяционно-генетический анализ восьми популяций мелкого рогатого скота с использованием стандартизированной панели из 12 микросателлитных маркеров.

Материалы и методы исследования. В исследовании использованы образцы биологического материала (кровь) от 424 голов мелкого рогатого скота, принадлежащих к 8 популяциям. Популяции сформированы по принципу принадлежности к конкретному хо-

зяйству и породе: Волгоград_ЭДИЛЬБАЙ (n=69), РНПЦ_КАЛМ Х ЭДИЛЬБАЙ (n=57), РНПЦ_КАЛМЫЦКАЯ (n=69), РНПЦ_МЕРИНОС (n=11), РНПЦ_СУФФОЛК (n=10), РНПЦ_ЭДИЛЬБАЕВСКАЯ (n=98), Улан-Хееч_ЭДИЛЬБАЕВСКАЯ (n=108), РНПЦ_КАЛМ Х СУФФОЛК (n=2). Состав исследуемых популяций и их объем представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика исследуемых популяций мелкого рогатого скота
Table 1 – Characteristics of studied small ruminant populations

Наименование популяции / Population Name	Количество особей, n / Number of Animals, n	Порода / Breed	Источник (хозяйство) / Source (Farm)
Волгоград_ЭДИЛЬБАЙ / Volgograd_Edilbai	69	Эдильбаевская / Edilbai	ООО «Волгоград-Эдильбай» Быковского района / ООО "Volgograd-Edilbai", Bykovsky District
РНПЦ_ЭДИЛЬБАЙ / RNPC_Edilbai	98	Эдильбаевская / Edilbai	Экспериментальная ферма Улан-Эрге РНПЦ / Experimental Farm Ulan-Erge RNPC
Улан-Хееч_ЭДИЛЬБАЙ / Ulan-Kheech_Edilbai	108	Эдильбаевская / Edilbai	КФХ Яшкульского района / Peasant Farm, Yashkul District
РНПЦ_КАЛМЫК / RNPC_Kalmyk	69	Калмыцкая курдючная / Kalmyk Fat-tailed	Экспериментальная ферма Улан-Эрге РНПЦ / Experimental Farm Ulan-Erge RNPC
РНПЦ_МЕРИНОС / RNPC_Merinos	11	Меринос / Merinos	Экспериментальная ферма Улан-Эрге РНПЦ / Experimental Farm Ulan-Erge RNPC
РНПЦ_СУФФОЛК / RNPC_Suffolk	10	Суффолк / Suffolk	Экспериментальная ферма Улан-Эрге РНПЦ / Experimental Farm Ulan-Erge RNPC
РНПЦ_КАЛМ Х ЭДИЛЬБАЙ / RNPC_Kalmyk × Edilbai	57	Помесь (Калмыцкой × Эдильбаевской) / Crossbreed (Kal- myk × Edilbai)	Экспериментальная ферма Улан-Эрге РНПЦ / Experimental Farm Ulan-Erge RNPC
РНПЦ_КАЛМ Х СУФФОЛК / RNPC_Kalmyk × Suffolk	2	Помесь (Калмыцкой × Суффолк) / Crossbreed (Kalmyk × Suffolk)	Экспериментальная ферма Улан-Эрге РНПЦ / Experimental Farm Ulan-Erge RNPC

Выделение геномной ДНК проводили с использованием набора реагентов «М-Сорб» Синтол (на магнитных частицах). Выделение ДНК из цельной крови проводили согласно стандартному протоколу набора. Концентрацию и чистоту полученных препаратов ДНК определяли на спектрофотометре NanoDrop путем измерения оптической плотности при длинах волн 260 нм и 280 нм. Критерием приемлемого качества ДНК служило соотношение A260/A280 в диапазоне 1.8-2.0, что указывает на минимальное содержание белковых и других контаминирующих примесей. Дополнительно целостность молекул ДНК оценивали методом горизонтального электрофореза в 1 % агарозном геле. Образцы, соответствующие критериям чистоты и имеющие концентрацию не менее 50 нг/мкл, без признаков деградации (наличие яркой высокомолекулярной полосы), хранили при температуре -20°C до проведения дальнейших молекулярно-генетических исследований.

Для генотипирования использовали стандартизированную панель из 12 высокополиморфных аутосомных микросателлитных локусов (STR) и локуса амелогенина (AMEL) в соответствии с коммерческим набором реагентов «Gene Profile Sheep» (ООО «Синтол», Россия, кат. № VTM-313). Панель включает маркеры, рекомендованные Международным обществом генетики животных (ISAG) и Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций (FAO) для генетической характеристики овец: OarFCB20,

AMEL, McM527, CSRD247, INRA006, INRA063, ETH152, INRA172, MAF065, MAF214, McM042, INRA005, INRA023. Характеристики локусов, включая хромосомную локализацию, структуру повтора и диапазон аллелей, представлены в инструкции к набору [11].

Амплификацию целевых фрагментов ДНК проводили методом мультиплексной полимеразной цепной реакции (ПЦР) в строгом соответствии с протоколом производителя набора. Реакционную смесь общим объемом 25 мкл готовили, содержащую: 15 мкл готовой реакционной смеси (PC), 5 мкл смеси специфических праймеров (СП), 1-5 мкл матричной геномной ДНК (оптимально 10-15 нг) и деионизированную воду до конечного объема. В каждую серию анализов включали положительный (ПКО, предоставленный в наборе) и отрицательный (деионизированная вода) контрольные образцы.

Реакции ПЦР проводили на термоциклере «T100 Thermal Cycler» (Bio-Rad Laboratories, США) по следующему профилю:

Начальная денатурация: 95 °С в течение 3 мин.

30 циклов амплификации, каждый из которых включал:

Денатурация: 95°С – 10 с.

Отжиг праймеров: 60°С – 1 мин.

Элонгация: 70°С – 20 с.

Финальная достройка цепей: 60°С – 20 мин.

Результаты и обсуждение. Разделение и детекцию флуоресцентно-меченных ПЦР-продуктов проводили методом капиллярного электрофореза на автоматическом генетическом анализаторе «Нанофор-05» (ООО «Синтол», Россия).

Первичную обработку полученных электрофореграмм, калибровку по стандарту СД-340, определение длины фрагментов (в парах нуклеотидов, п.н.) и присвоение аллельных вариантов осуществляли с помощью программного обеспечения GeneMarker HID (версия 3.2.1, SoftGenetics LLC, США). Использовали предустановленный и верифицированный шаблон анализа «Gr Sheep» и файл бинов, предоставляемые производителем набора. Контроль качества на каждом этапе включал проверку профиля ПКО на соответствие эталонному аллельному состоянию, визуальный анализ кривых и исключение артефактных пиков.

Все статистические расчеты выполняли в среде R (версия 4.5.1) с использованием специализированных пакетов. Для каждой популяции по всем 12 аутосомным локусам были рассчитаны базовые параметры генетического разнообразия: общее (Na) и эффективное (Ne) число аллелей на локус, наблюдаемая (Ho) и ожидаемая (He) гетерозиготность, значения были рассчитаны с помощью GeneAEx [12], информационный индекс полиморфизма (PIC)[13], коэффициент инбридинга (FIS) [14].

Для оценки и визуализации генетических взаимоотношений между популяциями использовали следующие подходы:

На основе частот аллелей была рассчитана матрица стандартных генетических расстояний Нея (Da) [15]. Иерархическую кластеризацию популяций провели методом UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean). Статистическую поддержку узлов полученной дендрограммы оценивали с помощью процедуры бутстрэп-анализа (1000 повторов). Для снижения размерности данных и визуализации основных направлений генетической изменчивости провели анализ главных компонент (PCA) на основе стандартизированной. Уровень генетической дифференциации между популяциями количественно оценили с помощью F-статистики Райта (FST). Структуру генетической изменчивости проанализировали с помощью иерархического анализа молекулярной дисперсии (AMOVA), разделив общую вариацию на компоненты: внутри особей, между особями внутри популяций и между популяциями (пакет poppr). Для выявления скрытой популяционной структуры и оценки уровня примеси на уровне отдельных особей использовали байесовский подход, реализованный в программе STRUCTURE v.2.3.4 [16].

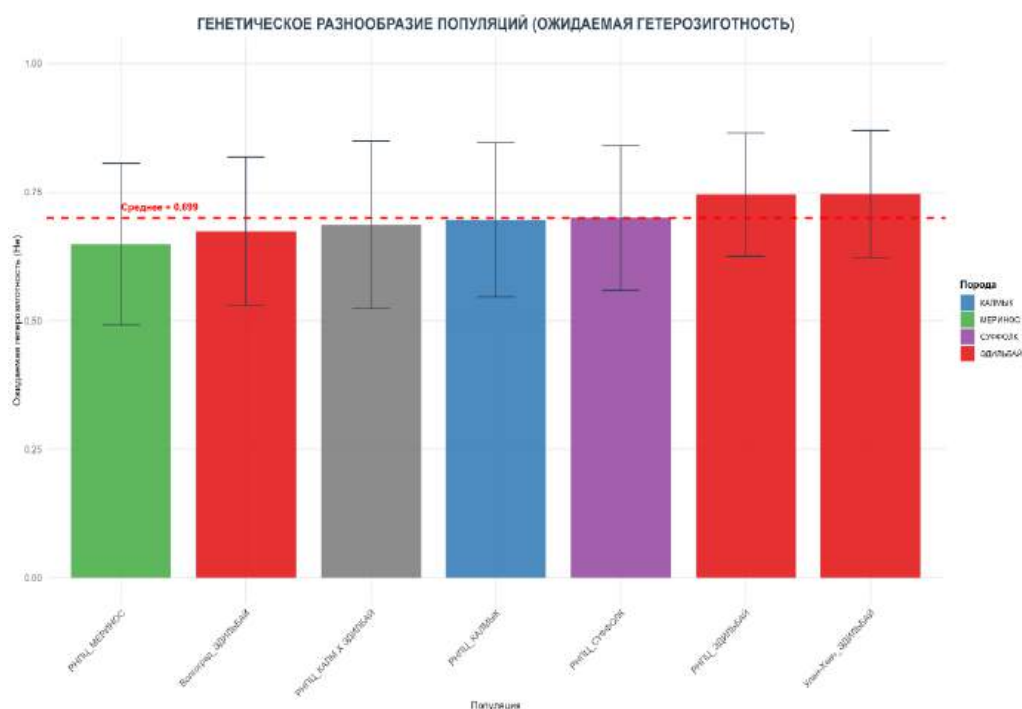
Отбор проб проводили с минимальным стрессом для животных квалифицированными ветеринарными специалистами. Все персональные данные (идентификаторы животных, родословные) анонимизированы. Результаты исследования предназначены для научных публикаций и использования в целях совершенствования программ сохранения генетических ресурсов и селекции.

Результаты и обсуждение. Расчет базовых индексов генетического разнообразия выявил существенную вариабельность между изученными популяциями (таблица 2, рисунок 1). Средняя ожидаемая гетерозиготность (He) по всем популяциям составила 0.699, что согласуется с данными по другим локальным породам овец Европы и Азии (He = 0.65–0.75) [17, 18, 19].

Таблица 2 – Основные индексы генетического разнообразия изученных популяций МРС
Table 2 – Main Genetic Diversity Indices of Studied Small Ruminant Populations

Популяция / Population	n	He	PIC	F	Общее число аллелей / Total Number of Alleles
Улан-Хееч_ЭДИЛЬБАЙ / Ulan-Kheech_Edilbai	108	0.746	0.548	0.265	132
РНПЦ_ЭДИЛЬБАЙ / RNPC_Edilbai	98	0.745	0.548	0.296	122
РНПЦ_СУФФОЛК / RNPC_Suffolk	10	0.700	0.477	0.319	62
РНПЦ_КАЛМЫК / RNPC_Kalmyk	69	0.696	0.496	0.287	105
РНПЦ_КАЛМ X ЭДИЛЬБАЙ / RNPC_Kalmyk x Edilbai	57	0.687	0.492	0.283	99
Волгоград_ЭДИЛЬБАЙ / Volgograd_Edilbai	69	0.674	0.474	0.297	95
РНПЦ_МЕРИНОС / RNPC_Merinos	11	0.649	0.434	0.331	56

Наибольшим генетическим разнообразием характеризовались популяции породы эдильбаевская, особенно из хозяйства Яшкульского района ($H_e = 0.746$). Это может быть связано с большой исходной численностью популяции и, возможно, с меньшей интенсивностью отбора или наличием притока генов из других групп. Популяция РНПЦ_МЕРИНОС продемонстрировала наименьшие значения H_e (0.649) и наименьшее общее число аллелей (56), что свидетельствует о сужении генетической базы, характерном для некоторых заводских тонкорунных пород [18]. Высокий уровень разнообразия у помесной группы РНПЦ_КАЛМ X СУФФОЛ ($H_e=0.700$) объясняется эффектом гетерозиса и объединением аллелофондов двух пород, что согласуется с выводами Sunming et al. (2025) и Xue et al. (2025).

Рисунок 1 – Генетическое разнообразие популяций (ожидаемая гетерозиготность, H_e)
Figure 1 – Genetic Diversity of Populations (Expected Heterozygosity, H_e)

Сравнение средних показателей по породам (рисунок 2) подтвердило, что порода Эдильбай обладает наиболее высоким средним генетическим разнообразием ($H_e = 0.722 \pm 0.041$), тогда как Меринос имеет статистически значимо более низкий показатель (0.649). Полученные значения PIC (>0.5 для большинства популяций) указывают на высокую информативность использованной панели маркеров для проведения подобных исследований [21, 22].



Рисунок 2 – Сравнение средней ожидаемой гетерозиготности по породам
Figure 2 – Comparison of average expected heterozygosity by breed

Анализ главных компонент (PCA) наглядно продемонстрировал генетическую дифференциацию между породами (рисунок 3). Первая главная компонента (PC1), объяснившая 39,6 % общей вариации, четко разделила популяции мясо-сального (Эдильбай, Калмык и их помеси) и тонкорунного/мясного (Меринос, Суффолк) направлений продуктивности. Вторая компонента (PC2, 21,6 % вариации) дополнительно дифференцировала популяции внутри этих кластеров, например, отделив РНПЦ КАЛМЫК от популяций Эдильбай. Совокупно первые две компоненты объяснили 61,3 % варируемости, что является высоким показателем и свидетельствует о выраженной генетической структурированности изучаемого материала [23, 24].



Рисунок 3 – Диаграмма рассеяния анализа главных компонент (PCA) для восьми популяций МРС.

Разными цветами и формами обозначены породы и источники происхождения
Figure 3 – Principal component analysis (PCA) scatter plot for eight small ruminant populations.
Different colors and shapes indicate breeds and origins

Кластеризация особей на основе генетических расстояний (Рисунок 4) подтвердила результаты PCA. Дендрограмма, построенная по методу UPGMA, выявила четыре основных кластера:

Кластер 1: Все популяции породы Эдильбай и Калмык, включая помеси КАЛМ Х ЭДИЛЬБАЙ. Это подтверждает их генетическую близость, вероятно, обусловленную общим происхождением и схожим направлением селекции.

Кластер 2: Помесь РНПЦ КАЛМ Х СУФФОЛ, занявшая промежуточное положение.

Кластер 3: РНПЦ МЕРИНОС.

Кластер 4: РНПЦ СУФФОЛК.

Кластеры 3 и 4 четко обособлены, что отражает их генетическую дистанцию от курдючных пород, что согласуется с данными Kusza et al. (2010) и Mihailova et al. (2023).

ДЕНДРОГРАММА ГЕНЕТИЧЕСКИХ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ ПОПУЛЯЦИЙ



Рисунок 4 – Дендрограмма генетических взаимоотношений между популяциями, построенная методом UPGMA на основе матрицы генетических расстояний Nei (1972)
Figure 4 – Dendrogram of genetic relationships between populations constructed by UPGMA method based on Nei's (1972) genetic distance matrix

Таблица 3 – Характеристика полиморфизма 12 микросателлитных локусов в общей выборке (n=424).
Table 3 – Polymorphism Characteristics of 12 Microsatellite Loci in the Total Sample (n=424)

Маркер / Marker	Всего аллелей (Na) / Total Alleles (Na)	Уникальные аллели / Unique Alleles	Min размер (п.н.) / Min Size (bp)	Max размер (п.н.) / Max Size (bp)	Информативность (PIC) / Information Content (PIC)
INRA063	18	18	165	203	Очень высокая / Very High
CSRD247	17	17	166	231	Очень высокая / Very High
INRA172	17	17	126	190	Очень высокая / Very High
MAF214	17	17	129	255	Очень высокая / Very High
OarFCB20	16	16	75	115	Очень высокая / Very High
INRA023	15	15	192	220	Очень высокая / Very High
McM527	14	14	91	180	Очень высокая / Very High
INRA005	13	13	123	202	Очень высокая / Very High
INRA006	13	13	106	166	Очень высокая / Very High
MAF065	13	13	115	166	Очень высокая / Very High
McM042	10	10	81	103	Высокая / High
ETH152	7	7	166	194	Высокая / High

Все 12 проанализированных микросателлитных локусов показали высокий уровень полиморфизма (таблица 3). Наиболее информативными оказались маркеры INRA063, CSRD247, INRA172 и MAF214, каждый из которых выявил 17-18 уникальных аллелей в общей выборке. Эти маркеры продемонстрировали наибольший вклад в дифференциацию популяций и могут быть рекомендованы в качестве ключевых для будущих исследований генетического разнообразия овец в регионе [5, 21].

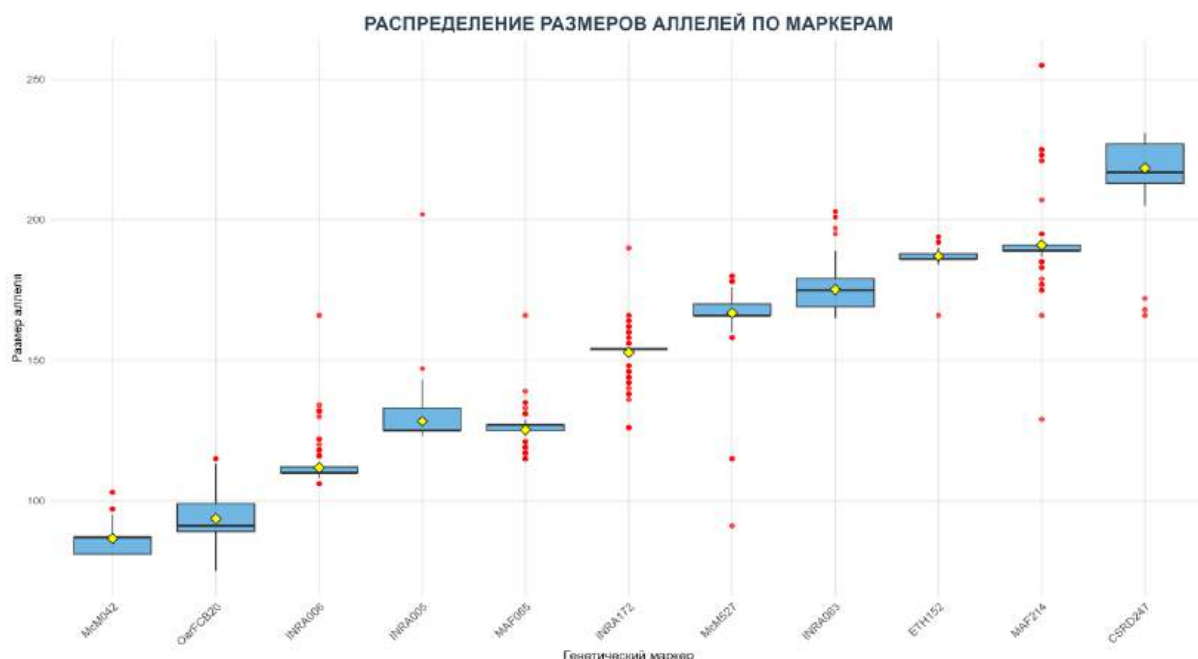


Рисунок 5 – Боксплоты распределения размеров аллелей по 12 микросателлитным маркерам
Figure 5 – Box Plots of Allele Size Distributions for 12 Microsatellite Markers

Анализ инбридинга выявил критические значения в пяти из семи популяций (Таблица 2). Коэффициент инбридинга (F) превысил порог 0.25 у РНПЦ_МЕРИНОС (0.331), РНПЦ_СУФФОЛК (0.319), Волгоград_ЭДИЛЬБАЙ (0.297), РНПЦ_КАЛМЫК (0.287) и РНПЦ_КАЛМ Х ЭДИЛЬБАЙ (0.283). Такие высокие значения F указывают на существенное накопление гомозиготных генотипов, что является тревожным сигналом и требует немедленных управленческих решений для предотвращения инбредной депрессии [18, 24]. Основными причинами могут быть ограниченная эффективная численность популяции (особенно в мелких группах типа РНПЦ_СУФФОЛК, $n=10$), использование ограниченного числа производителей и отсутствие планового обмена племенным материалом.

Закключение. Проведенный комплексный популяционно-генетический анализ на основе 12 микросателлитных маркеров позволил дать детальную характеристику генетического статуса восьми популяций МРС. Установлено, что порода Эдильбай, особенно популяция из Улан-Хееч, обладает наиболее высоким уровнем генетического разнообразия. Методами PCA и кластерного анализа выявлена четкая генетическая дифференциация между породами мясосоляного и тонкорунного направлений. Выявлен критически высокий уровень инбридинга в пяти популяциях, что представляет серьезную угрозу их долгосрочной устойчивости и продуктивности. Полученные результаты являются научной основой для разработки конкретных программ по управлению генетическими ресурсами, оптимизации селекционного процесса и сохранению уникального генофонда изучаемых пород овец.

Conclusion. A comprehensive population-genetic analysis based on 12 microsatellite markers made it possible to give a detailed description of the genetic status of eight MRS populations. It has been established that the Edilbai breed, especially the population from Ulan-Kheech, has the highest level of genetic diversity. The methods of PCA and cluster analysis revealed a clear genetic differentiation between the meat-and-fat and fine-fleeced breeds. Critically high levels of inbreeding have been identified in five populations, which poses a serious threat to their long-term sustainability and productivity. The results obtained are the scientific basis for the development of specific programs for the management of genetic resources, optimization of the breeding process and preservation of the unique gene pool of the studied sheep breeds.

Библиографический список

1. Денискова Т. Е., Костюнина О. В., Соловьева А. Д., Зиновьева Н. А. Изучение генетического разнообразия и дифференциации региональных популяций романовских овец по микросателлитным маркерам. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2018. № 64 (3). С. 75-80.
2. Pang Z., Yang P., Cai K., Wang W., Afe A. E., Pan Y., Qiao L., Liu W. Integrating whole-genome resequencing data reveals adaptive selection signatures in sheep populations under extreme environments. *BMC Genomics*. 2025. No 26 (1). 1069.
3. Kalpar R. I., Yaşlı M., Güneş A., et al. Microsatellite-based genetic diversity and population structure of local sheep breeds in Cyprus. *Small Ruminant Research*. 2026. No 254. 107676.
4. Kominakis A., Tarsani E., Hager-Theodorides A. L., Mastranestasis I., Hadjigeorgiou I. Clustering patterns mirror the geographical distribution and genetic history of Lemnos and Lesvos sheep populations. *PloS one*. 2021. No 16 (3). e0247787.
5. Михайлова М. Е. и др. Сравнительный анализ генетической структуры красного белорусского и голштинского скота отечественной селекции по микросателлитным локусам. *Молекулярная и прикладная генетика*. 2025. Т. 39. С. 54-64.
6. Денискова Т. Е., Доцев А. В., Селионова М. И., Зиновьева Н. А. Изучение генетического разнообразия и популяционной структуры осетинской породы в сравнении с другими породами грубошерстных жирнохвостых овец на основе данных SNP-генотипирования. *Генетика*. 2023. № 59 (11). С. 1270-1281.
7. Бекетов С. В. и др. Популяционно-генетическая характеристика тувинских короткожирнохвостых овец. *Генетика*. 2022. Т. 58. № 3. С. 332-342.
8. Cunming Y., Li B., Mengting Z., Sulaiman Y., He S., Liu M. Identification of microsatellites and their effect on economic traits of Texel × Kazakh sheep. *Frontiers in veterinary science*. 2025. No 12. 1583625.
9. Odjakova T., Todorov P., Radoslavov G., Hristov P. Microsatellite Genotyping of Two Bulgarian Sheep Breeds. *Diversity*. 2022. No 14. P. 210.
10. Tapio M., Ozerov M., Tapio I., Toro M. A., Marzanov N., Cinkulov M., Goncharenko G., Kiselyova T., Murawski M., Kantanen J. Microsatellite-based genetic diversity and population structure of domestic sheep in northern Eurasia. *BMC Genet*. 2010. No 11. 76.
11. Инструкция по применению набора реагентов «Gene Profile Sheep» (VTM-313). Москва: ООО «Синтол».
12. Peakall R., Smouse P. E. GenAlEx 6.5: Genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research – An update. *Bioinformatics*. 2012. No 28. Pp. 2537–2539.
13. Botstein D., White R. L., Skolnick M., Davis R. W. Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms. *American Journal of Human Genetics*. 1980. No 32 (3). Pp. 314-331.
14. Wright S. The interpretation of population structure by F-statistics with special regard to systems of mating. *Evolution*. 1965. No 19 (3). Pp. 395-420.
15. Ney M. The genetic distance between populations. *Am. Nat.* 1972. No 106. Pp. 283-292.
16. Pritchard J. K., Stephens M., Donnelly P. Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*. 2000. No 155 (2). Pp. 945-959.
17. Marković M., Radonjić D., Zorc M., Đokić M., Marković B. Genetic Diversity of Montenegrin Local Sheep Breeds Based on Microsatellite Markers. *Animals*. 2022. No 12. 3029.
18. Mihailova Y., Rusanov K., Rusanova M., Vassileva P., Atanassov I., Nikolov V., Todorovska E. G. Genetic Diversity and Population Structure of Bulgarian Autochthonous Sheep Breeds Revealed by Microsatellite Analysis. *Animals*. 2023. No 13. 1878.
19. Sztanková Z., Milerski M., Vostrý L., Rychtářová J. Genetic Diversity and Population Structure of Nine Local Sheep Populations Bred in the Carpathia Area of Central Europe Revealed by Microsatellite Analysis. *Animals (Basel)*. 2025. No 15 (16). 2400.
20. Xue L., Chen J., Li B., Zhou S., Guo H., Zhang L., Li J., Wang Z. Genetic diversity assessment of Guangling Large-Tail sheep and introduced breeds in Shanxi Province using microsatellite markers and inference of heterosis potential. *Animal biotechnology*. 2025. No 36 (1). 2599631.
21. Cortes O., Cañon J., Gama L. T. Applications of Microsatellites and Single Nucleotide Polymorphisms for the Genetic Characterization of Cattle and Small Ruminants: Overview. *Ruminants*. 2022. No 2. Pp. 456-470.
22. Иванникова А. В., Соловьева А. Д., Денискова Т. Е. Характеристика аллелофонда овец южной мясной породы с использованием микросателлитных маркеров. *Генетика и разведение животных*. 2023. № 4. С. 80-85.
23. Laoun A., Harkat S., Lafri M., Gaouar S. B. S., Belabdi I., Ciani E., Groot M. D., Blanquet V., Leroy G., Rognon X., et al. Inference of breed structure in farm animals: Empirical comparison between SNP and microsatellite performance. *Genes*. 2020. No 11. 57.
24. Odjakova T., Todorov P., Kalaydzhev G., Salkova D., Dundarova H., Radoslavov G., Hristov P. A Study on the Genetic Diversity and Subpopulation Structure of Three Bulgarian Mountainous Sheep Breeds, Based on Genotyping of Microsatellite Markers. *Small Rumin. Res.* 2023. No 226. 107034.

References

1. Deniskova T. E., Kostyunina O. V., Solovyeva A. D., Zinovieva N. A. Study of genetic diversity and differentiation of regional populations of Romanov sheep using microsatellite markers]. *Agrarian Science of the Euro-North-East*. 2018. No 64 (3). Pp. 75-80.
2. Pang Z., Yang P., Cai K., Wang W., Afe A. E., Pan Y., Qiao L., Liu W. Integrating whole-genome resequencing data reveals adaptive selection signatures in sheep populations under extreme environments. *BMC Genomics*. 2025. No 26 (1). 1069.
3. Kalpar R. I., Yaşlı M., Güneş A., et al. Microsatellite-based genetic diversity and population structure of local sheep breeds in Cyprus. *Small Ruminant Research*. 2026. No 254. 107676.
4. Kominakis A., Tarsani E., Hager-Theodorides A. L., Mastranestasis I., Hadjigeorgiou I. Clustering patterns mirror the geographical distribution and genetic history of Lemnos and Lesvos sheep populations. *PloS one*. 2021. No 16 (3). e0247787.

5. Mikhailova M. E., Snytkov E. V., Tikhonovich N. I., et al. Comparative analysis of genetic structure of Red Belarusian and Holstein cattle of domestic breeding using microsatellite loci. *Molecular and Applied Genetics*. 2025. No 39. Pp. 54-64.
6. Deniskova T. E., Dotsev A. V., Selionova M. I., Zinovieva N. A. Study of genetic diversity and population structure of Ossetian breed in comparison with other breeds of coarse-wooled fat-tailed sheep based on SNP genotyping data. *Genetics*. 2023. No 59 (11). Pp. 1270-1281.
7. Beketov S. V., Konorov E. A., Piskunov A. K., et al. Population-genetic characteristics of Tuva short-fat-tailed sheep. *Genetics*. 2022. No 58 (3). Pp. 332-342.
8. Cunming Y., Li B., Mengting Z., Sulaiman Y., He S., Liu M. Identification of microsatellites and their effect on economic traits of Texel × Kazakh sheep. *Frontiers in veterinary science*. 2025. No 12. 1583625.
9. Odjakova T., Todorov P., Radoslavov G., Hristov P. Microsatellite Genotyping of Two Bulgarian Sheep Breeds. *Diversity*. 2022. No 14. P. 210.
10. Tapio M., Ozerov M., Tapio I., Toro M. A., Marzanov N., Cinkulov M., Goncharenko G., Kiselyova T., Murawski M., Kantanen J. Microsatellite-based genetic diversity and population structure of domestic sheep in northern Eurasia. *BMC Genet*. 2010. No 11. 76.
11. Instruction for use of reagent kit "Gene Profile Sheep" (VTM-313). Moscow: LLC "Sintol".
12. Peakall R., Smouse P. E. GenAIE 6.5: Genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research-An update. *Bioinformatics*. 2012. No 28. Pp. 2537-2539.
13. Botstein D., White R. L., Skolnick M., Davis R. W. Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms. *American Journal of Human Genetics*. 1980. No 32 (3). Pp. 314-331.
14. Wright S. The interpretation of population structure by F-statistics with special regard to systems of mating. *Evolution*. 1965. No 19 (3). Pp. 395-420.
15. Ney M. The genetic distance between populations. *Am. Nat.* 1972. No 106. Pp. 283-292.
16. Pritchard J. K., Stephens M., Donnelly P. Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*. 2000. No 155 (2). Pp. 945-959.
17. Marković M., Radonjić D., Zorc M., Đokić M., Marković B. Genetic Diversity of Montenegrin Local Sheep Breeds Based on Microsatellite Markers. *Animals*. 2022. No 12. 3029.
18. Mihailova Y., Rusanov K., Rusanova M., Vassileva P., Atanassov I., Nikolov V., Todorovska E. G. Genetic Diversity and Population Structure of Bulgarian Autochthonous Sheep Breeds Revealed by Microsatellite Analysis. *Animals*. 2023. No 13. 1878.
19. Sztanková Z., Milerski M., Vostrý L., Rychtářová J. Genetic Diversity and Population Structure of Nine Local Sheep Populations Bred in the Carpathia Area of Central Europe Revealed by Microsatellite Analysis. *Animals (Basel)*. 2025. No 15 (16). 2400.
20. Xue L., Chen J., Li B., Zhou S., Guo H., Zhang L., Li J., Wang Z. Genetic diversity assessment of Guangling Large-Tail sheep and introduced breeds in Shanxi Province using microsatellite markers and inference of heterosis potential. *Animal biotechnology*. 2025. No 36 (1). 2599631.
21. Cortes O., Cañon J., Gama L. T. Applications of Microsatellites and Single Nucleotide Polymorphisms for the Genetic Characterization of Cattle and Small Ruminants: Overview. *Ruminants*. 2022. No 2. Pp. 456-470.
22. Ivannikova A. V., Solovyeva A. D., Deniskova T. E. Characterization of the allele pool of South Meat sheep breed using microsatellite markers. *Genetics and Animal Breeding*. 2023. No 4. Pp. 80-85.
23. Laoun A., Harkat S., Lafri M., Gaouar S. B. S., Belabdi I., Ciani E., Groot M. D., Blanquet V., Leroy G., Rognon X., et al. Inference of breed structure in farm animals: Empirical comparison between SNP and microsatellite performance. *Genes*. 2020. No 11. 57.
24. Odjakova T., Todorov P., Kalaydzhiyev G., Salkova D., Dundarova H., Radoslavov G., Hristov P. A Study on the Genetic Diversity and Subpopulation Structure of Three Bulgarian Mountainous Sheep Breeds, Based on Genotyping of Microsatellite Markers. *Small Rumin. Res.* 2023. No 226. 107034.

Информация об авторах

Убушиева Алтана Вадимовна, ведущий научный сотрудник, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), ORCID 0000-0002-9916-7972, e-mail: ameli-altanas@mail.ru

Чимидова Надежда Васильевна, руководитель селекционно-племенного центра ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), e-mail: nadezhdashchimidova@yandex.ru

Убушиева Виктория Саналовна, научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), e-mail: vicki_93g@mail.ru

Дорджиев Дмитрий Анатольевич, лаборант, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), e-mail: ddordjiev@yandex.ru

Authors' Information

Ubushieva Altana Vadimovna, Leading Researcher, Associate Professor of the Department, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, 358000, Elista, Pushkin Street, 11), ORCID 0000-0002-9916-7972, e-mail: ameli-altanas@mail.ru

Chimidova Nadezhda Vasilyevna, Head of the Breeding Center, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, 358000, Elista, Pushkin Street, 11), e-mail: nadezhdashchimidova@yandex.ru

Ubushieva Victoria Sanalovna, Researcher, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, 358000, Elista, Pushkin Street, 11), e-mail: vicki_93g@mail.ru

Dordjiev Dmitry Anatolyevich, laboratory assistant, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, 358000, Elista, Pushkin Street, 11), e-mail: ddordjiev@yandex.ru

THE COWS' INFECTIOUS METRITIS COMPLEX THERAPY METHOD**Firsov G. M., Budtuev O. V., Ryadnov A. A., Ryadnova T. A., Budtueva O. D.**Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: budtuevaolga@mail.ru

Received 07.12.2025

Submitted 02.02.2026

Summary

This article presents the results of a clinical and economic analysis of methods for the comprehensive treatment of infectious metritis in cows. The study results showed that all treatment programs varied in cost and effectiveness. Treatment Program No. 1 can be recommended by veterinarians as the primary treatment program for the comprehensive treatment of infectious metritis in cows, as it is the most optimal.

Abstract

Introduction. The main disease of the reproductive organs of dairy cattle is metritis. One of these crops is winter triticale. There are various treatment schemes for infectious metritis, but not all of them are equally effective. An ineffective treatment scheme can have a negative impact on the economic performance of the dairy industry, as improperly selected therapy can lead to the loss of primary and secondary products, as well as additional costs for medications. **Object.** The object of research holstein dairy cattle suffering from metritis. **Materials and methods.** The research was conducted by Donskoye Agricultural Co., Ltd. in the Kalachevsky District of the Volgograd Region. The experimental and control groups were formed based on a number of factors: the number of cows in the herd, their housing conditions, health status, and productivity. **Results and conclusion.** The cost of therapeutic procedures per day of treatment in the experimental groups was: Donskoe 1 (25,745.74 rubles), Donskoe 2 (27,022.47 rubles), and Donskoe 3 (23,756.43 rubles). The lowest cost per day of treatment was when using therapeutic program #3 in the Donskoe 3 experimental group (25,745.74 rubles). The lowest cost of therapeutic procedures for the entire treatment period was in the Donskoe 1 group – 95,001.78 rubles. The Donskoe 1 group was distinguished by the lowest cost of veterinary procedures, where it amounted to 9,840 rubles. The recovery rate of 93.75 % was noted in the Donskoe 1 and Donskoe 2 groups, in the Donskoe 3 group this figure was at the level of 87.5 %. In the experimental group Donskoy 1, the number of inseminations required to achieve one successful fertilization was 1.69 ± 0.60 , the number of successful inseminations in groups Donskoy 2 and Donskoy 3 was 1.75 ± 0.58 and 1.81 ± 0.66 . Animals of the group Donskoy 1 receiving treatment according to therapeutic program 1 showed good results of recovery and fruitful insemination, this program is the most cost-effective and can be recommended for use by veterinarians as the main therapeutic program for the complex therapy of infectious metritis in cows.

Keywords: postpartum diseases of cows, Holstein cows, Holstein cattle, infectious cow metritis, cow metritis therapy.

Citation. Firsov G. M., Budtuev O. V., Ryadnov A. A., Ryadnova T. A., Budtueva O. D. The cows' infectious metritis complex therapy method. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 385-392 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-40.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 619:618.14-002:636.2

МЕТОД КОМПЛЕКСНОЙ ТЕРАПИИ ИНФЕКЦИОННОГО МЕТРИТА У КОРОВ**Фирсов Г. М.**, кандидат ветеринарных наук, доцент**Ряднов А. А.**, доктор биологических наук, профессор**Будтуев О. В.**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент**Ряднова Т. А.**, кандидат биологических наук, доцент**Будтуева О. Д.**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцентФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Основным заболеванием репродуктивных органов крупного рогатого скота молочного направления продуктивности является метрит. Существуют различные схемы лечения инфекционного метрита, но не все они являются одинаково эффективными. Неэффективная схема лечения оказывает негативное влияние на экономические показатели производства, так как неправильно подобранная терапия может привести к потере основной и побочной продукции молочного

скотоводства, а также к дополнительным затратам на лекарственные препараты. **Объект.** Объектом исследования являлся крупный рогатый скот молочного направления продуктивности голштинской породы, страдающий метритом. **Материалы и методы.** Исследования проводились ООО СП «Донское» в Калачевском районе Волгоградской области. Формирование экспериментальных и контрольных групп осуществлялось с учетом ряда факторов: численности коров в стаде, условий их содержания, состоянии здоровья и продуктивности. **Результаты и выводы.** Стоимость лечебных манипуляций одного дня лечения в опытных группах составляла: Донское 1 – 25745,74 руб., Донское 2 – 27022,47 руб. и Донское 3 – 23756,43 руб. Наименьшая стоимость одного дня лечения была при использовании терапевтической программы № 3 в опытной группе Донское 3 (25745,74 руб.). Самой низкой стоимостью лечебных манипуляций за весь период лечения была в группе Донское 1 – 95001,78 руб. Низкой стоимостью ветеринарных манипуляций отличилась группа Донское 1 – 9840 руб. Уровень выздоровления в 93,75 % отметили в группах Донское 1 и Донское 2, в группе Донское 3 этот показатель был на уровне 87,5 %. В опытной группе Донское 1 число осеменений, требуемое для получения одного успешного оплодотворения, составило $1,69 \pm 0,60$, число успешных осеменений групп Донское 2 и Донское 3 составило $1,75 \pm 0,58$ и $1,81 \pm 0,66$. Животные группы Донское 1, получающие лечение согласно терапевтической программе № 1, показали хорошие результаты выздоровления и плодотворного осеменения. Данная программа является наиболее экономически выгодной и может быть рекомендована для использования ветеринарными специалистами в качестве основной терапевтической программы для комплексной терапии инфекционного метрита у коров.

Ключевые слова: послеродовые болезни коров, коровы голштинской породы, голштинская порода КРС, инфекционные метриты коров, терапия метритов коров.

Цитирование. Фирсов Г. М., Будтуев О. В., Ряднов А. А., Ряднова Т. А., Будтуева О. Д. Метод комплексной терапии инфекционного метрита у коров. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 385-392. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-40.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Вне всякого сомнения, патология матки играет первостепенную роль в снижении репродуктивной эффективности. Метрит и эндометрит связан с задержкой последа, восстановлением активности яичников, увеличением интервалов между отелом и оплодотворением, снижением уровня стельности [2, 6, 9].

Развитие метрита зависит от ряда факторов, включающих количество и патогенность бактерий, осложнения, возникающие во время родов, послеродовые заболевания и иммунный ответ животного [3, 5].

Существует тенденция изучения репродуктивных заболеваний у коров без учета их производственных характеристик, что зачастую приводит к путанице в анализе, так как эти данные могут выступать как потенциальная переменная, а также причина или следствие. Считается, что нормальная инволюция матки осуществляется в условиях асептики. Одновременно инфекции, затрагивающие репродуктивную систему, могут сильно влиять на способность к фертильности, нанося прямые повреждения клеткам-гаметам или отрицательно сказываясь на развивающемся эмбрионе. Метрит может нарушить успешное прикрепление эмбрионов [10, 12].

Известно, что послеродовые заболевания матки имеют решающее значение для развития бесплодия у крупного рогатого скота. На сегодняшний день эндометриты, особенно послеродовые, на молочных фермах занимают первостепенную позицию среди патологий воспалительного характера репродуктивной системы самок [8, 15].

В то же время экономический ущерб от таких заболеваний может оказаться завышенным, поэтому следует тщательно оценить влияние терапии на результаты болезни. К тому же, финансовые потери, возникающие вследствие ненужного лечения и прекращения доения после использования антибиотиков, должны быть сопоставлены с возможными выгодами от лечения. Хотя бактериальные инфекции могут оказывать минимальное или даже не оказывать длительное воздействие на фертильность, они способны вызывать острый септический метрит, который зачастую сопутствуется задержкой развития плодов и может привести к некоторым случаям потери плода.

Послеродовой период у коров сопровождается значительными изменениями в работе матки и яичников, но его завершение может откладываться, если один или оба эти органа не восстанавливаются должным образом. Часто можно определить причины неэффективности

лечения, взглянув на то, как терапия воздействует на нормальные процессы после родов. Многочисленные факторы, вызывающие неудачи в терапии, связаны с неправильной интерпретацией клинических симптомов или физиологических процессов, пренебрежением к патофизиологии заболевания или угнетающим воздействием самой терапии [13].

Целью наших исследований является проведение оценки эффективности лечения инфекционного метрита у коров различными программами лечения, а также определение стоимости лечения.

Материалы и методы. Объектом исследований является крупный рогатый скот молочного направления продуктивности голштинской породы, страдающий метритом. Научные и производственные эксперименты проводились на базе ООО «СП «Донское» в Калачевском районе Волгоградской области.

Формирование экспериментальных и контрольных групп осуществлялось с учетом ряда факторов: численности коров в стаде, условий их содержания, данных из ветеринарных документов, анализа объемов производства молока, стремления улучшить производительность поголовья и установить сотрудничество с местными ветеринарными службами (таблица 1).

Таблица 1 – Схема лечения
Table 1 – Treatment regimen

Группы животных / Groups of animals	Терапевтическая программа / Therapeutic program
Донское 1 / Donskoe 1	№ 1: Цефтонит – 1 мл на 50 кг ж. м. подкожно + ИБР – 1 мл на 10 кг ж. м. каждые 24 часа/5 дней + Утеротон – 10 мл на гол. + Флулекс – 2 мл на 45 кг / No. 1: Ceftonite – 1 ml per 50 kg of fat subcutaneously + IBR – 1 ml per 10 kg of body weight every 24 hours / 5 days + Uterotone – 10 ml per head. + Flunex – 2 ml per 45 kg
Донское 2 / Donskoe 2	№ 2: Цефкин – 1 мл на 25 кг ж. м. 1 раз/день 5 дней + ИБР – 1 мл на 10 кг ж.м. каждые 24 часа/5 дней + Утеробэг 10 мл на гол. + Флуксирил 2,2 мг на кг ж. м / No. 2: Cefkin – 1 ml per 25 kg of fat 1 time / day for 5 days + IBR – 1 ml per 10 kg of body weight every 24 hours / 5 days + Uterobag 10 ml per head of cattle + Fluxiril 2.2 mg per kg of body weight
Донское 3 / Donskoe 3	№ 3: «Цефасед» 1 мл на каждые 25 кг массы тела + ИБР – 1 мл на 10 кг ж. м. каждые 24 часа/5 дней + Метрилонг – 10 мл на гол. + Флуниджект – 2,2 мг на кг ж. м / No. 3: "Cefased" 1 ml for every 25 kg of body weight + IBR – 1 ml per 10 kg of body weight every 24 hours/5 days + Metrilong – 10 ml per head. + Flunject – 2.2 mg per kg of body weight

Бактерии неизбежно попадают в матку коровы и размножаются после родов [4]. Антибиотики широко используются для лечения и профилактики мастита у лактирующих коров и для снижения внутриматочных инфекций в сухостойный период. Послеродовой метрит также обычно лечится антибиотиками. Для лечения метрита могут использоваться как внутриматочные инсталляции антибиотиков, так и их введение внутривенно [7].

Для терапевтической программы группы Донское 1 компании ООО СП «Донское» был осуществлён лечебный протокол под номером один. В рамках терапии использовался антибиотик цефалоспориновой группы третьего поколения – цефтиофур, который поставлялся в виде инъекционного средства Цефтонит® для подкожного введения дозой 1 мл на 50 кг массы животного и изготовлен компанией «NITA-FARM» в г. Саратове. Дополнительно применялся бычий рекомбинантный интерферон «ИБР», обладающий антивирусной и антимикробной активностью, который вводился подкожно в количестве 1 мл на 10 кг массы каждые 24 часа в течение пяти дней. В терапии также использовался утеротонический препарат Утеротон® на основе пропранолола с дозировкой 10 мл на одно животное. В лечебный процесс был включён нестероидный противовоспалительный препарат Флулекс, вводимый внутримышечно в дозе 2 мл на 45 кг, содержащий флуниксин меглумин и произведенный «NITA-FARM».

В процессе реализации терапевтической программы для группы опытных пациентов Донское 2 компании ООО СП «Донское» было использовано лечебное вмешательство номер два.

В рамках данного лечения пациентам вводился антибиотик цефкина, представляющий собой инъекционный раствор четвертого поколения цефалоспоринов, под торговым названием «Цефкин», который производится белорусским предприятием «ТМ». Дозировка

составляла 1 мл на каждые 25 кг массы тела и применялась однократно в день в течение пяти суток. В дополнение применялся противовирусный и антибактериальный препарат интерферон бычий рекомбинантный «ИБР», который вводился подкожно в количестве 1 мл на 10 кг массы с ежедневным интервалом на протяжении пяти дней. Также использовался утеротоник «Утеробаг» (пропранолол), производимый белорусской компанией «Рубикон» в объеме 10 мл на каждое животное, вводимый внутримышечно. Для улучшения состояния пациентов применялся Флуксирол (флуниксин меглумин), который выпускается научно-производственным центром БелАгро из Минской области, с дозировкой 2,2 мг флуниксина на каждый килограмм массы тела до достижения положительного результата.

В лечебной программе для опытной группы Донское 3, реализуемой в ООО СП «Донское», применялся медицинский протокол под номером три. В процессе терапии использовались инъекции антибиотика Цефалексина, который был представлен в виде раствора Цефасед от компании ООО «ГомельФарм», находящейся в г. Гомеле, Республика Беларусь. Введение препарата осуществлялось либо методом инъекции в мышцу, либо подкожно, один раз в день на протяжении от трех до пяти суток. Нормы дозировки составляли 1 мл на каждые 25 кг массы тела пациента. Также в лечении задействовался интерферон бычий рекомбинантный «ИБР», который вводился подкожно в объеме 1 мл на 10 кг веса с интервалом в 24 часа на протяжении пяти дней. Помимо этого, использовался утеротоник Метрилонг от ООО «РЕПРОВЕТ» в количестве 10 мл на одно животное, вводимый внутримышечно. В курс терапии был включён препарат Флуниджект от компании «АПИ-САН» из г. Москвы, содержащий флуниксин с дозировкой 2,2 мг на килограмм массы, который применялся до тех пор, пока не наблюдались улучшения в состоянии животного.

Результаты и обсуждение. Огромный интерес к оценке эффективности лечения инфекционного метрита обусловлен тем, что послеродовые заболевания матки имеют важное значение для развития бесплодия у крупного рогатого скота. От эффективности лечения напрямую зависит возможность дальнейшего использования животного.

Нами проведена оценка стоимости лечебных манипуляций одного дня лечения (таблица 2).

Таблица 2 – Данные стоимости лечебных манипуляций одного дня лечения по группам

Table 2 – Data on the cost of medical manipulations

Группы животных / Groups of animals	Масса одного животного среднее, кг / The weight of one animal is average, kg	Стоимость одного дня лечения, руб. / The cost of one day of treatment, RUB.
Донское 1 / Donskoe 1	582,50	25745,74
Донское 2 / Donskoe 2	594,38	27022,47
Донское 3 / Donskoe 3	593,13	23756,43

Изучив данные таблицы 2, можем сделать вывод, что стоимость лечебных манипуляций одного дня лечения в группе Донское 1 составляет 25745,74 руб., что на 4,96 % меньше по сравнению с группой Донское 2, в которой стоимость лечебных манипуляций за один день лечения составляет 27022,47 руб. и на 8,37 % больше стоимости одного дня лечения группы Донское 3 (23756,43 руб.). Данные стоимости лечебных манипуляций по группам представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Данные стоимости лечебных манипуляций по группам

Table 3 – Data on the cost of medical manipulations

Группы животных / Groups of animals	Стоимость одного дня лечения, руб. / The cost of one day of treat- ment, RUB.	Среднее время лечебных манипуляций, дни / Average time of therapeutic manipulations, days	Стоимость ветеринарных услуг за время манипуляций, руб. / The cost of veterinary services during the manipu- lations, RUB.	Стоимость лечебных манипуляций по группам, руб. / The cost of medical manipulations by groups, RUB.
Донское 1 / Donskoe 1	25745,74	3,69	9840,00	95001,78
Донское 2 / Donskoe 2	27022,47	3,81	10160,00	102955,62
Донское 3 / Donskoe 3	23756,43	4,06	10826,67	96451,11

Стоимость лечебных манипуляций за весь период лечения определяется путем сложения произведения стоимости одного дня терапии на среднее время выполнения лечебных процедур.

Стоимость одного дня лечения группы Донское 1 была самой низкой и при расчете стоимости лечебных манипуляций составила 95001,78 руб., что ниже стоимости лечения группы Донское 2 на 8,37 % и группы Донское 3 на 1,53 %. Это делает терапевтическую программу группы наиболее экономически выгодной (рисунок 1).

Стоимость ветеринарных услуг за время манипуляций в группе Донское 1 было наименьшим – 9840 руб., что на 320 руб. ниже стоимости услуг в группе Донское 2 и 986,6 руб. в группе Донское 3.

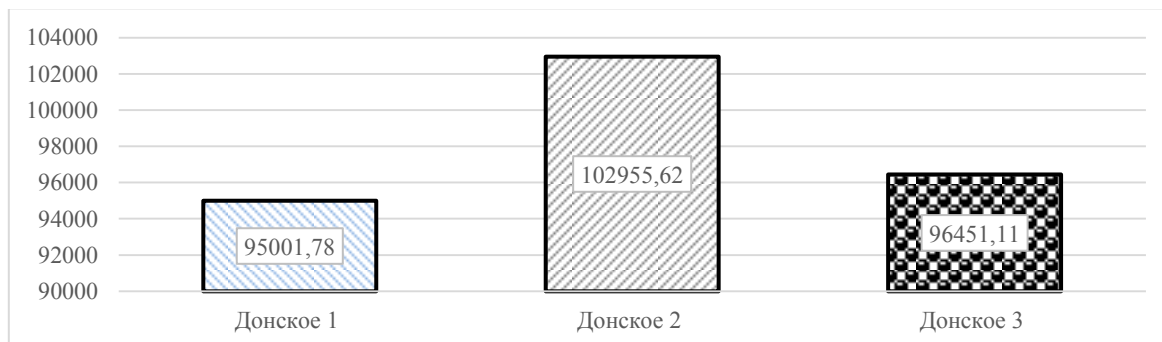


Рисунок 1 – Стоимость лечебных манипуляций по группам, руб.

Figure 1 – Cost of medical procedures by group, rub.

Согласно данным, представленным на рисунке 2, стоит отметить, что в процессе лечения инфекционного метрита по первой схеме, которая включает препараты Цефтонит, «ИБР», Утеротон и Флунокс, в опытной группе коров голштинской породы в ООО «СП «Донское» был зафиксирован уровень выздоровления в 93,75 %.

Сравнительно схожие результаты, которые составляют 93,75 %, были получены при терапии инфекционного метрита по схеме № 2 (рисунок 2), в которую входили Цефкин ТМ, «ИБР», Утеробэг и Флукосирол. Эти данные были зафиксированы в ООО «СП «Донское» среди коров голштинской породы в рамках второй экспериментальной группы.

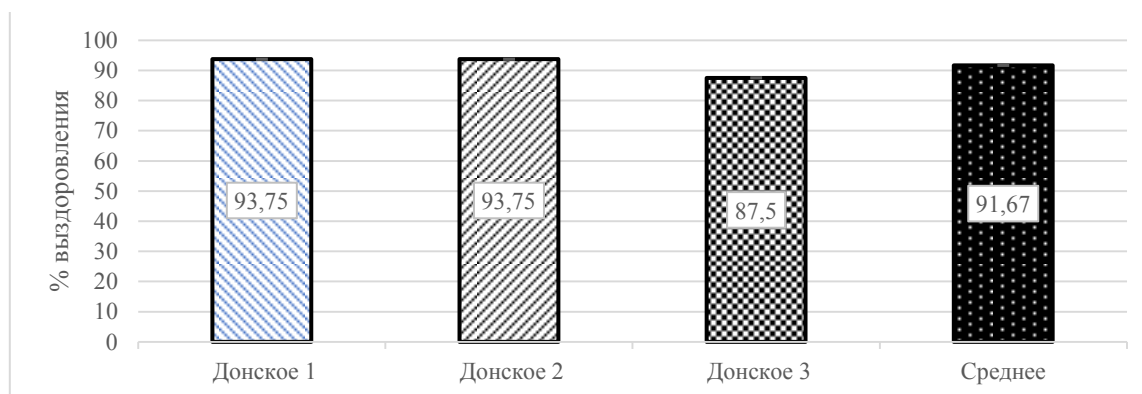


Рисунок 2 – Параметры процента выздоровления животных в исследуемых группах

Figure 2 – Parameters of the recovery rate of animals in the studied groups

Тем не менее, более скромные результаты выздоровления (рисунок 2), равные 87,5 %, наблюдались в ходе лечения инфекционного метрита по протоколу № 3, который включал Цефасед, «ИБР», Метрилонг и Флуниджект. Эти сведения также были получены в ООО «СП «Донское» у голштинских коров, но в третьей группе эксперимента. Средние показатели составляют $91,67 \pm 3,23$ %.

Самая большая опасность эндометритов состоит в том, что у многих переболевших животных существенно снижается репродуктивная функция: увеличивается сервис-период, снижается вероятность плодотворного осеменения (вплоть до яловости) и благополучного вынашивания плода [1, 14].

Оценивали влияние послеродовых заболеваний у коров на оплодотворяемость (таблица 3).

Таблица 3 – Данные количества осеменений для одного успешного оплодотворения
Table 3 – Data on the number of inseminations required for one successful fertilization

Группы животных / Groups of animals	Число осеменений для успешного оплодотворения / Number of inseminations for successful fertilization
Донское 1 / Donskoe 1	1,69 ± 0,60
Донское 2 / Donskoe 2	1,75 ± 0,58
Донское 3 / Donskoe 3	1,81 ± 0,66

В опытной группе Донское 1 ООО «СП «Донское» число осеменений, требуемое для получения одного успешного оплодотворения, составило $1,69 \pm 0,60$. В группе Донское 2 этот показатель равнялся $1,75 \pm 0,58$, а в группе Донское 3 – $1,81 \pm 0,66$.

Совокупная оценка результатов иллюстрирует наилучший терапевтический эффект у лечебной программы группы Донское 1 – программа № 1 препаратами Цефтонит, «ИБР», Утеротон и Флунекс (рисунок 3).

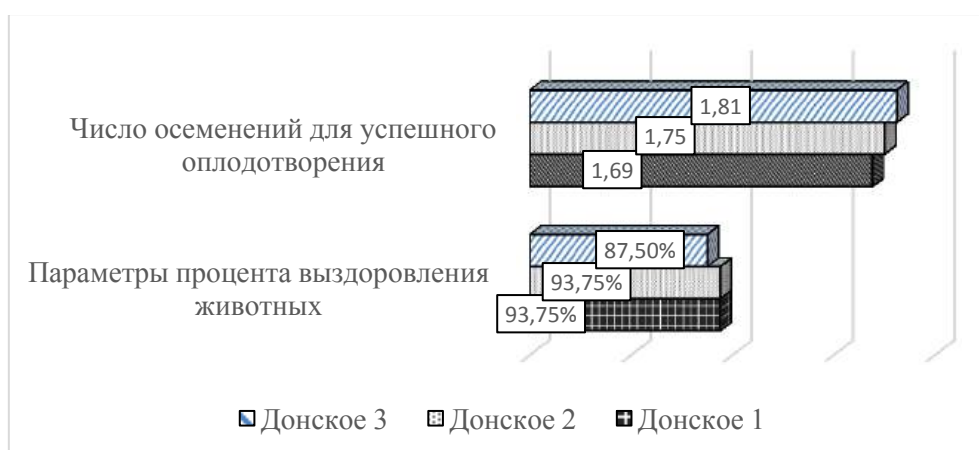


Рисунок 3 – Результаты совокупного анализа
Figure 3 – Results of the aggregate analysis

Заключение. Анализируя результаты проведенных исследований можно сделать вывод, в частности стоимость лечебных манипуляций терапевтической программой группы Донское 1, лечение в которой производилось препаратами Цефтонит, «ИБР», Утеротон и Флунекс, была ниже как при оценке стоимости ветеринарных манипуляций – 9840 рублей, так и за весь период лечения и составила 95001,78 рублей.

Результаты проведенных исследований показали, что по всем терапевтическим программам уровень выздоровления животных был в среднем 91,67 %. Наилучший результат отмечен в группах Донское 1 которая включает препараты Цефтонит, «ИБР», Утеротон и Флунекс и Донское 2 (лечение препаратами Цефкин, ИБР, Утеробэг и Флуксирол), где процент выздоровления животных составил 93,75 %.

При оценке оплодотворяемости определили, что наилучшие результаты показала группа Донское 1, где число осеменений для успешного оплодотворения составило $1,69 \pm 0,60$.

Проведены исследования по определению оптимального соотношения стоимости терапевтических манипуляций и результативности лечения данными терапевтическими программами, а также влияние терапии на репродуктивность. Совокупная оценка результатов иллюстрирует наилучший терапевтический эффект у лечебной программы группы Донское 1.

Терапевтическая программа № 1 может быть рекомендована для использования ветеринарными специалистами в качестве основной терапевтической программы для комплексной терапии инфекционного метрита у коров как наиболее оптимальная.

Conclusions. Based on the results of the studies, it can be concluded that the cost of treatment procedures under the Donskoy 1 therapeutic program, which included Ceftonit, IBR, Uteroton, and Flunex, was lower both for the veterinary procedure alone (9,840 rubles) and for the entire treatment period (95,001.78 rubles).

The results of the studies showed that across all therapeutic programs, the recovery rate for animals averaged 91.67 %. The best results were observed in the Donskoy 1 group, which included Ceftonit, IBR, Uteroton, and Flunex, and the Donskoy 2 group, which included Cefkin, IBR, Uterobag, and Fluxinol, where the recovery rate was the same: 93.75 %. When evaluating fertility, the Donskoye 1 group demonstrated the best results, with a number of inseminations for successful conception of 1.69 ± 0.60 .

Research was conducted to determine the optimal balance between the cost of therapeutic procedures and the effectiveness of treatment with these therapeutic programs, as well as the impact of therapy on fertility. The overall evaluation of the results demonstrates the superior therapeutic effect of the Donskoye 1 treatment program.

Therapeutic program No. 1 can be recommended by veterinarians as the primary therapeutic program for the comprehensive treatment of infectious metritis in cows, as it is the most optimal.

Библиографический список

1. Appiah M. O., Wang J., Lu W. (2020). Microflora in the reproductive tract of cattle: A review. *Agriculture*. 2020. V. 10 (6). No 232.
2. Lee S. C. et al. Cytological endometritis in dairy cows: diagnostic threshold, risk factors, and impact on reproductive performance. *J Vet Sci*. 2018. No 19 (2). Pp. 301-308.
3. Galchenko V. A. et al. The determination of the hormonal program efficiency in estrus synchronization of high-yield cows for sustainable agricultural development. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Volgograd, 2022. P. 012024.
4. Wang G. Q. et al. The Role of Leukotriene B₄ in Cow Metritis. *J Vet Res*. 2023. V. 17. No 67 (1). Pp. 99-104.
5. Wiebe M. et al. Effect of metritis on in-vitro uterine contractility in cows during the puerperium. *Anim Reprod Sci*. 2022. V. 239. No 106971.
6. Yáñez U. et al. Relationship between Postpartum Metabolic Status and Subclinical Endometritis in Dairy Cattle. *Animals (Basel)*. 2022. V. 20. No 12 (3). P. 242.
7. Zduńczyk S., Janowski T. Bacteriophages and associated endolysins in therapy and prevention of mastitis and metritis in cows: Current knowledge. *Anim Reprod Sci*. 2020. V. 218. No 106504.
8. Авраменко М. В., Чекрышева В. В. Анализ показателей крови коров при послеродовом гнойно-катаральном эндометрите. *Сельскохозяйственный журнал*. 2023. № 4 (16). С. 64-75.
9. Баканова К. А. и др. Верификация диагноза и терапия коров больных хроническим эндометритом. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2016. № 2 (42). С. 190-197.
10. Войтенко Л. Г. Использование биологических стимуляторов в комплексном лечении коров при послеродовом эндометрите. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2020. № 4 (63). С. 113-116.
11. Родин Н. В. и др. Метриты у коров бактериальной этиологии и его терапия антибактериальными препаратами. *Научная жизнь*. 2020. Т. 15. № 3 (103). С. 434-442.
12. Ордин Ю. Н., Плахотнюк И. Н., Ивасенко Б. П. Острый послеродовой метрит у высокопродуктивных коров. *Endless Light in Science*. 2020. № 1-1. С. 52-56.
13. Моисеева К. А. и др. Разработка средства для лечения и профилактики послеродового эндометрита и цервицита у коров. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания*. 2024. № 1. С. 124-128.
14. Скачкова О. А., Бригида А. В. Выживаемость эмбрионов и повышение темпов генетического прогресса в молочных стадах (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2021. Т. 56. № 6. С. 1063-1078.
15. Йылдырым Е. А. и др. Состав и прогнозируемые функции эндометриального и рубцового микробиома дойных коров на фоне хронического эндометрита. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2025. Т. 17. № 1. С. 26-49.

References

1. Appiah M. O., Wang J., Lu W. (2020). Microflora in the reproductive tract of cattle: A review. *Agriculture*. 2020. V. 10 (6). No 232.
2. Lee S. C. et al. Cytological endometritis in dairy cows: diagnostic threshold, risk factors, and impact on reproductive performance. *J Vet Sci*. 2018. No 19 (2). Pp. 301-308.
3. Galchenko V. A. et al. The determination of the hormonal program efficiency in estrus synchronization of high-yield cows for sustainable agricultural development. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Volgograd, 2022. P. 012024.
4. Wang G. Q. et al. The Role of Leukotriene B₄ in Cow Metritis. *J Vet Res*. 2023. V. 17. No 67 (1). Pp. 99-104.
5. Wiebe M. et al. Effect of metritis on in-vitro uterine contractility in cows during the puerperium. *Anim Reprod Sci*. 2022. V. 239. No 106971.
6. Yáñez U. et al. Relationship between Postpartum Metabolic Status and Subclinical Endometritis in Dairy Cattle. *Animals (Basel)*. 2022. V. 20. No 12 (3). P. 242.
7. Zduńczyk S., Janowski T. Bacteriophages and associated endolysins in therapy and prevention of mastitis and metritis in cows: Current knowledge. *Anim Reprod Sci*. 2020. V. 218. No 106504.
8. Avramenko M. V., Chekrysheva V. V. Analysis of blood parameters of cows with postpartum purulent-catharrhal endometritis. *Agricultural magazine*. 2023. No 4 (16). Pp. 64-75.
9. Bakanova K. A. et al. Verification of diagnosis and therapy of cows with chronic endometritis. *Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education*. 2016. No 2 (42). Pp. 190-197.
10. Voitenko L. G. The use of biological stimulants in the complex treatment of cows with postpartum endometritis. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2020. No 4 (63). Pp. 113-116.

11. Rodin N. V. et al. Metritis in cows of bacterial etiology and its therapy with antibacterial drugs. Scientific life. 2020. Vol. 15. No 3 (103). Pp. 434-442.
12. Ordin Yu. N., Plahotniuc I. N., Ivasenko B. P. Acute postpartum metritis in highly productive cows. Endless Light in Science. 2020. No 1-1. Pp. 52-56.
13. Moiseeva K. A. et al. Development of a remedy for the treatment and prevention of postpartum endometritis and cervicitis in cows. Technologies of the food and processing industry of the agroindustrial complex – healthy food products. 2024. No 1. Pp. 124-128.
14. Skachkova O. A., Brigida A.V. Embryo survival and increased rates of genetic progress in dairy herds (review). Agricultural biology. 2021. Vol. 56. No 6. Pp. 1063-1078.
15. Yildirim E. A. et al. Composition and predicted functions of the endometrial and scar microbiome of dairy cows on the background of chronic endometritis. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2025. V. 17. No 1. Pp. 26-49.

Информация об авторах

Фирсов Григорий Михайлович, кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: firsovgm@yandex.ru
Ряднов Алексей Анатольевич, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: radnov@mail.ru
Будтуев Олег Валерьевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: olegbudtuev@yandex.ru
Ряднова Тамара Александровна, кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: radnova@yandex.ru
Будтуева Ольга Дмитриевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: budtuevaolga@mail.ru

Authors' Information

Firsov Grigory Mikhailovich, Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: firsovgm@yandex.ru
Ryadnov Aleksey Anatolyevich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: radnov@mail.ru
Budtuev Oleg Valerievich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: olegbudtuev@yandex.ru
Ryadnova Tamara Aleksandrovna, Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: radnova@yandex.ru
Budtueva Olga Dmitrievna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, and Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: budtuevaolga@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-41

THE ASSESSMENT OF THE KALMYK BULL CALVES GENETIC POTENTIAL WITH DIFFERENT BREED LINES

Chimidova N. V., Ubushieva A. V., Khakhlinov A. I., Ubushieva V. S.

*B. B. Gorodovikov Kalmyk State University
Elista, Republic of Kalmykia, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: nadezhdashimidova@yandex.ru

Received 08.11.2025

Submitted 14.12.2025

The research was carried out within the framework of the project "Implementation of the Federal scientific and technical program for the development of agriculture and scientific support for the development of branches of the agro-industrial complex" of the state program of the Russian Federation "Scientific and Technological Development of the Russian Federation" commissioned by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (No. 075-15-2025-185 dated 04/17/2025).

Abstract

Introduction. The most important task of modern breeding remains the creation of reliable databases containing detailed information about the origin and hereditary characteristics of each animal. The lack of such information makes it difficult to apply modern methods for assessing breeding qualities, such as the BLUP (Best Linear Unbiased Prediction) method, which is widely used in animal husbandry. The purpose of the research presented in this article is to assess the genetic potential of Kalmyk bull calves of different breed lines by analyzing live weight indicators and calculating the transmission capacity forecast. **The object of the study.** The object of the study were Kalmyk bull calves. **Materials and methods.** Despite the lack of complete and systematic data, we tried to assess the potential breeding value of Kalmyk bull calves based solely on simple indicators: live weight, average daily gain and belonging to a certain breed line. The study was conducted on Kalmyk bull calves, which were acquired at the age of 8 months in breeding farms of the Republic of Kalmykia and subsequently kept at the Elevator evaluation station of Kalmyk University. The maintenance of experimental bulls during this period was group-based, loose. The animals were fed in the paddock yard under canopies. The assessment of growth and development was carried out by monthly weighing. **Results and conclusions.** The live weight monitoring of young animals revealed a high degree of variability in birth weight (Cv coefficient of variation – 11.5 %). The average daily increase in bull calves

averaged 1006 g, thereby ensuring a total increase in live weight throughout the entire fattening period of 210 kg. Analyzing the live weight data and calculating the PPP forecast, it was found that the bulls of the Krasavchik 995 and Sailor 12054 line have a positive potential to improve herd productivity, demonstrating a high index of predicted impact on offspring (+4.01 % and +3.67 %, respectively). Thus, the study allows us to identify promising lines for further breeding and increasing the efficiency of beef production.

Keywords: Kalmyk cattle breed, beef cattle breeds, Kalmyk bull calves, genetic potential of bull calves.

Citation. Chimidova N. V., Ubushieva A. V., Khakhlinov A. I., Ubushieva V. S. The assessment of the Kalmyk bull calves genetic potential with different breed lines. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 392-400 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-41.

Authors' contributions. The authors of this study were directly involved in the planning of the experiment, carried out calculations and analysis of the formation of proposals for production. The authors of this article have studied and approved the final version of the article.

Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 636.2.082.342

ОЦЕНКА ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА БЫЧКОВ КАЛМЫЦКОЙ ПОРОДЫ РАЗНЫХ ПОРОДНЫХ ЛИНИЙ

Чимидова Н. В., кандидат биологических наук

Убушиева А. В., кандидат биологических наук

Хахлинов А. И., аспирант

Убушиева В. С., аспирант

ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет им. Б. Б. Городовикова»
г. Элиста, Республика Калмыкия, Российская Федерация

Исследование выполнено в рамках реализации проекта «Реализация Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства и научное обеспечение развития отраслей агропромышленного комплекса» государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» по заказу Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075-15-2025-185 от 17.04.2025 г.).

Актуальность. Важнейшей задачей современной селекции остается создание надежных баз данных, содержащих детальные сведения о происхождении и наследственных характеристиках каждого животного. Отсутствие подобной информации существенно затрудняет применение современных методов оценки племенных качеств, таких как метод BLUP (Best Linear Unbiased Prediction), широко используемый в животноводстве. **Цели** исследования, представленные в данной статье, посвящены оценке генетического потенциала бычков калмыцкой породы разных породных линий путем анализа показателей живой массы и расчета прогноза передающей способности (ППС). **Объект исследования.** Объектом исследования являлись бычки калмыцкой породы. **Материалы и методы.** Несмотря на недостаток полных и систематизированных данных, мы попытались оценить потенциальную племенную ценность бычков калмыцкой породы, основываясь исключительно на простых показателях: живая масса, среднесуточный прирост и принадлежность к определенной породной линии. Исследование проводилось на бычках калмыцкой породы, которые были приобретены в возрасте восьми месяцев в племенных хозяйствах Республики Калмыкия и в дальнейшем содержались на оценочной станции «Элевер» Калмыцкого университета. Содержание подопытных бычков в этот период было групповое, беспривязное. Кормление животных осуществлялось на выгульно-кормовом дворе под навесами. Оценка роста и развития проводилась путем ежемесячного взвешивания. **Результаты и выводы.** Проведенный мониторинг живой массы молодняка выявил высокую степень вариативности веса при рождении (коэффициент вариации C_v – 11,5 %). Среднесуточный прирост бычков составил в среднем 1006 г, тем самым, обеспечивая общий прирост живой массы на протяжении всего периода откорма в 210 кг. Анализируя данные живой массы и рассчитывая прогноз ППС, было установлено, что бычки линии Красавчика 995 и Морьяка 12054 обладают положительным потенциалом улучшения продуктивности стада, демонстрируя высокий индекс прогнозируемого влияния на потомство (+4,01 % и +3,67 % соответственно). Таким образом, исследование позволяет выделить перспективные линии для дальнейшего разведения и повышения эффективности производства говядины.

Ключевые слова: калмыцкая порода КРС, мясные породы КРС, бычки калмыцкой породы, генетический потенциал бычков.

Цитирование. Чимидова Н. В., Убушиева А. В., Хахлинов А. И., Убушиева В. С. Оценка генетического потенциала бычков калмыцкой породы разных породных линий. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 392-400. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-41.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования непосредственно участвовали в планировании эксперимента, проводили расчеты и анализ формирования предложений производству. Авторы настоящей статьи изучили и одобрили представленный в окончательном виде вариант статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Развитие генетических технологий в настоящее время требует принципиально новых подходов к селекции и содержанию мясного скота. По данным Службы зарубежного сельского хозяйства (Foreign Agriculture Service, FAS) Министерства сельского хозяйства США в 2024 году мировое производство говядины достигло 61,66 млн тонн, демонстрируя устойчивый рост на 7 % за последние 10 лет [1]. Россия, располагаясь в первой десятке мировых производителей наряду с США, Бразилией, Китаем и странами Европейского Союза, производит 2 % говядины от общего объема [2].

Оценка племенной ценности по модели BLUP позволяет объективно оценивать племенную ценность животных путем учета множества факторов, включая генетическое происхождение [3] и фенотипические признаки [4]. Внедрение современных методов зоотехнии, в том числе как BLUP, позволяет повысить точность оценки племенной ценности животных [5, 6, 7]. Данный метод широко применяется в международной практике для оценки быков-производителей, прогнозирования продуктивности потомства и оптимизации селекционных программ [8, 9, 10, 11]. В основу метода BLUP в настоящее время включены несколько моделей, например, BLUP Sire Model; BLUP Animal Model, GBLUP [12, 13, 14, 15]. В мясном скотоводстве определены наиболее значимые селекционные признаки и подобран алгоритм расчета для оценки племенной ценности быков-производителей [16, 17, 18, 19].

Калмыцкая порода КРС занимая лидирующее положение в российском мясном скотоводстве, отличается рядом конкурентных преимуществ: исключительной адаптацией к экстремальным климатическим условиям [20, 21], высокой эффективностью использования пастбищных кормов, а также превосходным качеством мяса с оптимальным содержанием внутримышечного жира [22, 23]. Несмотря на успехи в изучении генетики мясных пород, калмыцкий скот остается неисследованным в контексте применения методов BLUP (Best Linear Unbiased Prediction). Большинство работ посвящено зарубежным породам [24, 25, 26], тогда как особенности калмыцкой породы, включая ее уникальную адаптацию [27] и генетическую структуру [28], требуют отдельного внимания.

Целью данного исследования являлась оценка потенциальной племенной ценности бычков калмыцкой породы крупного рогатого скота с использованием имеющихся данных (живой массы, среднесуточного прироста и принадлежности к линиям быков). Для ее реализации была разработана методика расчета прогнозной оценки племенной ценности бычков калмыцкой породы; определены возможность и ограничение метода BLUP применительно к существующему уровню документации и данным по калмыцкой породе; поднят вопрос о необходимости создания полноценной генетической базы данных для племенного животноводства калмыцкой породы. Таким образом, исследование направлено на улучшение методов селекции и повышение эффективности разведения крупных породных групп КРС в условиях недостаточной информационной обеспеченности.

Материалы и методы исследования. Этическое одобрение на проведение научных исследований было получено от местного комитета по этике исследований Калмыцкого государственного университета (№ 2 от 18.10.2024 г). Объектом исследования стал племенной молодняк крупного рогатого скота калмыцкой породы, который был приобретен в племенных хозяйствах республики. Бычки отбирались по методу пар-аналогов с учётом достоверности происхождения, возраста и живой массы при рождении. Разница в возрасте в группе составляла не более одного месяца, а живой вес бычков соответствовал требованиям инструкции по бонитировке молодняка мясных пород. Было сформировано четыре группы бычков, принадлежащим разным линиям калмыцкой породы – это линия Ягуара 253, Красавчика 995, Боровика и Моряка 12054.

Содержались животные на оценочной станции «Элевер» Калмыцкого университета. Оценочная станция «Элевер» предназначена для проведения испытаний крупного рогатого скота, которая рассчитана на 100 голов.

В опытный период, с восьми до пятнадцатимесячного возраста, бычки находились в загоне со свободным доступом к трехстенному навесу. Содержание бычков было групповым беспривязным. Бычки в количестве 50 голов имели свободный доступ к воде и кормам. Рационы для бычков составлялись в соответствии с периодами роста. Технология, использованная для их выращивания, отвечала требованиям центральной зоны Республики Калмыкия.

Период откорма бычков длился с восьми до пятнадцати месяцев (таблица 1). Бычкам давали следующий рацион: сено – 10 кг, солома – 2 кг и концентраты – 3 кг, в качестве подкормки давали 2 кг ячменной дерти.

Таблица 1 – Рационы кормления бычков на оценке по собственной продуктивности (расчет на 1 гол.)
Table 1 – Feeding rations of calves based on their own productivity (calculated per 1 head)

Показатель / Indicator	Группа / Group		
	кг / kg	ЭКЕ/ energetic feed unit	%
За период откорма 8-15 месяцев / During the fattening period of 8-15 months			
Сено / hay	4,1	616	4,1
Солома / straw	32,9	104	32,9
Концентраты / concentrates	38,9	838	38,9
Всего / total	100	990	100

Согласно таблице, рационы кормления бычков, поставленных на проверку по собственной продуктивности, в возрасте от восьми до пятнадцати месяцев, соответствовали минимальным нормам кормления молодого мясного скота. Рацион был тщательно продуман, чтобы удовлетворить потребности в питательных веществах, способствующих оптимальному росту и развитию, которые важны для оценки генетического потенциала бычков.

При прогнозном расчете племенной ценности молодняка использовали показатели живой массы и данные о среднесуточных приростах в разные возрастные периоды (8 и 15 месяцев). Живую массу бычков измеряли ежемесячно утром, до кормления и поения.

Результаты обрабатывались с помощью Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corp., США) и Statistica 6 (StatSoft, Талса, США).

При расчете стандартного отклонения и коэффициента вариации использовали формулы:

$$\sigma = \sqrt{(\sum(x_i - \mu)^2 / N)},$$

где: σ – стандартное отклонение; $\sum(x_i - \mu)^2$ – сумма квадратов отклонений от среднего значения; N – количество значений в выборке; μ – среднее значение выборки.

$$CV = (\sigma / \mu) \times 100 \%,$$

где: σ – стандартное отклонение; μ – среднее арифметическое значение.

Скорректированную живую массу при отъеме животного в возрасте 205 дней рассчитывали по формуле:

$$CMo = \frac{Mo - Mp}{Bm},$$

где: CMo – скорректированная живая масса при отъеме (кг); Mo – фактическая живая масса при отъеме (кг); Mp – фактическая живая масса при рождении (кг); Bm – возраст животного на момент отъема (дней).

Скорректированную живую массу на 365 дней рассчитывали по формуле:

$$CMr = \frac{Mr - Mo}{Br - Bm} \times 160 + 205,$$

где: CMr – скорректированная живая масса в годовалом возрасте (кг); Mr – фактическая живая масса в годовалом возрасте (кг); Mo – фактическая живая масса при отъеме (кг); Br – возраст животного при взвешивании в годовалом возрасте (дней); Bm – возраст животного при взвешивании на момент отъема (дней); 160 – числовой показатель разницы между 365 днями (годовалый возраст) и 205 днями (скорректированная живая масса при отъеме); CMo – скорректированная живая масса при отъеме (кг).

Для расчета прогноза передающей способности (ППС) подобрали следующую формулу:

$$ППС = ((\text{Среднее по линии} - \text{Среднее по стаду}) / \text{Среднее по стаду}) \times 100 \%$$

Результаты и обсуждение. Одним из основных показателей в племенном деле имеют фактическая и скорректированная живая масса, которую используют в оценке племенной ценности (таблица 2).

Мониторинг живой массы бычков показал, что коэффициент вариации (Cv) наиболее высок при рождении (11,5 %). Низкие показатели коэффициента вариации в 8 (2,7 %), 12 (2,9 %) и 15 (3,6 %) месяцев говорят об однородности признака.

Показатель живой массы соответствует классности элита-рекорд во все возрастные периоды согласно порядку и условиям бонитировки крупного рогатого скота мясного направления продуктивности.

Таблица 2 – Динамика живой массы бычков, кг ($X \pm Sx$)Table 2 – Dynamics of live weight of calves, kg ($X \pm Sx$)

Возраст, мес. / Age, month	Живая масса, кг / Live weight, kg		
	$X \pm Sx$	δ	Cv, %
при рождении / at birth	23,5 $\pm$ 0,38	2,7	11,5
8	210 $\pm$ 0,80	5,7	2,7
12	327 $\pm$ 1,36	9,6	2,9
15	420 $\pm$ 2,14	15,1	3,6
Скорректированная живая масса, кг / Adjusted live weight, kg			
205 дней / 205 days	209		
365 дней / 365 days	358,4		

Регулярные наблюдения за показателями роста калмыцких бычков позволили определить темпами набора веса (таблица 3).

Таблица 3 – Оценка роста бычков, ($X \pm Sx$)Table 3 – Bull growth estimate, ($X \pm Sx$)

Возраст, мес / Age, month	Показатели живой массы / Live weight indicators		
	Абсолютный прирост живой массы, кг $X \pm Sx$ / Absolute increase in live weight, kg $X \pm Sx$	Среднесуточный прирост, г $X \pm Sx$ / Average daily increase, g $X \pm Sx$	Относительная скорость роста подопытных бычков (по Броди, %) / Relative growth rate of experimental bulls (according to Brody, %)
8-12	117 $\pm$ 0,90	976 $\pm$ 1,48	43,6
12-15	93 $\pm$ 1,26	1036 $\pm$ 1,95	24,9
Коэффициент увеличения живой массы подопытных бычков / The coefficient of increase in live weight of experimental bulls			
8-12	1,53		
12-15	1,27		

Результаты среднесуточного прироста бычков показали, что животные набирали в весе в среднем 1006 г в сутки, всего за весь период откорма бычки увеличились на 210 кг, а напряжённость роста к концу откорма снизилась на 18,7 %.

Изучение живой массы в мясном скотоводстве важно для оценки продуктивности животных. Нами была изучена динамика живой массы бычков разных заводских линий, находящихся на испытании в период с 8 до 15 месяцев (таблица 4). Подопытные бычки по живой массе в возрасте 8 месяцев соответствовали I классу, в возрасте 12 месяцев – классу элита, с 15-месячного возраста живая масса подопытных бычков соответствовала классу элита-рекорд.

Известно, что прогноз передающей способности бычков по живой массе связан с оценкой племенной ценности животного и предсказанием его возможностей роста [29]. Нами был рассчитан метод прогнозной передающей способности (ППС, %) бычков калмыцкой породы, принадлежащих разным заводским линиям – Ягуар 253, Красавчик 995, Боровик и Моряк 12054.

Таблица 4 – Анализ данных по живой массе бычков и расчет прогноза передающей способности (ППС)
Table 4 – Analysis of data on live weight of bull calves and calculation of the forecast of transmission capacity

Показатели / Indicators	Линии / lines										среднее по стаду / herd average	
	Ягуар 253 / Jaguar 253		Красавчик 995 / Krasavchik 995		Боровик / Borovik		Моряк12054 / Seaman12054					
n	20		10		7		8		45			
Возраст, мес. / Age, months	8	15	8	15	8	15	8	15	8	15		
Живая масса бычков, кг (X ± Sx) / Live weight of calves, kg (X ± Sx)	183,5±4,5	378,9±2,7	207,6±3,5	384,6±3,4	174,1±2,0	332,4±3,1	207,5±5,9	383,3±4,7	193,2±17,6	369,8±25,1		
Коэффициент вариации, % (Cv) / Coefficient of variation, % (Cv)	2,4	0,7	1,7	0,9	1,2	0,9	2,8	1,2	9,1	6,8		
Дисперсия / Dispersion	20,3	7,3	12,25	11,56	4	9,61	34,81	22,09	309,76	46,24		
Лимит (миним.), кг / Lim (min) kg	175,6	344,7	204,1	381,2	172,1	329,3	201,6	378,6	175,6	344,7		
Лимит (максим.), кг / Lim (max) kg	210,8	349,9	211,1	388,0	176,1	335,5	213,4	388	210,8	394,9		
ППС – прогноз передающей способности быка, % / transmission capacity forecast, %	-5,02	2,47	7,48	4,01	-9,83	-10,08	7,44	3,67	–	–		

Полученный результат ППС показывает, насколько средняя живая масса бычков разных линий отличается от среднего по стаду. Положительные значения ППС указывают на превосходство линии по живой массе, а отрицательные значения – на отставание.

Таким образом, анализ данных по живой массе бычков и расчет прогноза передающей способности (ППС) показал, что бычки линии Красавчика 995 и Моряка 12054 демонстрируют положительный прогноз, особенно в возрасте 15 месяцев, 4,01 % и 3,67 % соответственно.

Заключение. Полученные результаты сопоставимы с показателями, о которых сообщил Хайнацкий В. Ю. (2021) [30], который адаптировал метод племенной оценки быков-производителей мясных пород на основе BLUP, определив наиболее значимые селекционные признаки, и наши исследования соизмеримы по живой массе.

Калмыцкая порода крупного рогатого скота представляет интерес для исследователей благодаря своим уникальным характеристикам адаптации к суровым условиям степных регионов [31]. Однако одной из ключевых проблем в ее селекции является отсутствие систематизированных баз данных о родословных и наследственности животных. Без этих сведений невозможно провести полноценную оценку племенной ценности методом BLUP. Несмотря на ограниченность доступной информации, нами была предпринята попытка рассчитать прогнозируемую племенную ценность бычков калмыцкой породы, используя лишь основные показатели, такие как живая масса, среднесуточный прирост и линии происхождения.

Полученные результаты требуют осторожного подхода, поскольку надежность расчетов существенно снижается при отсутствии полных генетических данных. Для повышения точности будущих исследований команда исследователей активно работает над созданием специализированной генетической базы данных для племенного крупного рогатого скота калмыцкой породы. Мы понимаем важность накопления полной и точной информации, необходимой для дальнейшей селекционной работы и улучшения качества поголовья.

Conclusion. The results obtained are comparable to the indicators reported by Khainatsky V. Yu. (2021) [30], who adapted the method of breeding evaluation of bulls producing meat breeds based on BLUP, identifying the most significant breeding characteristics, and our studies are commensurate in live weight.

The Kalmyk cattle breed is of interest to researchers due to its unique characteristics of adaptation to the harsh conditions of steppe regions [31]. However, one of the key problems in its breeding is the lack of systematic databases on animal pedigrees and heredity. Without this information, it is impossible to conduct a full-fledged assessment of the breeding value using the BLUP method. Despite the limited information available, we have attempted to calculate the predicted breeding value of Kalmyk bull calves using only basic indicators such as live weight, average daily growth and lineages of origin.

The results obtained require a careful approach, since the reliability of calculations is significantly reduced in the absence of complete genetic data. To increase the accuracy of future research, the research team is actively working on the creation of a specialized genetic database for breeding Kalmyk cattle. We understand the importance of accumulating complete and accurate information necessary for further breeding work and improving the quality of livestock.

Библиографический список

1. U. S. Agricultural Export Yearbook 2024 Visualization. <https://www.fas.usda.gov/data/production/country/rs>
2. Albuquerque V. Russia Seeks Increase in Beef Production. 2023. <https://www.brangus.org.br/noticias-raca-brangus/russia-busca-aumento-na-producao-de-carne-bovina>
3. Masuda Y., Van Raden P. M., Tsuruta S., Lourenco D., Misztal I. Invited review: Unknown-parent groups and metafounders in single-step genomic BLUP. *J Dairy Sci.* 2022. No 105 (2). Pp. 923-939.
4. Haque M. A., Jang E. B., Lee H. D., Shin D. H., Jang J. H., Kim J. J. Performance of weighted genomic BLUP and Bayesian methods for Hanwoo carcass traits. *Trop Anim Health Prod.* 2025. No 57 (2). P. 38.
5. Macedo F. L., Christensen O. F., Astruc J. M., Aguilar I., Masuda Y., Legarra A. Bias and accuracy of dairy sheep evaluations using BLUP and SSGBLUP with meta founders and unknown parent groups. *Genet Sel Evol.* 2020. No 52 (1). P. 47.
6. Kachman S. D., Spangler M. L., Bennett G. L. et al. Comparison of molecular breeding values based on within- and across-breed training in beef cattle. *Genet Sel. Evol.* 2013. No 45 (30).
7. Guo X., Sarup P., Bay Nord, A. et al. Metabolomic-genomic prediction realizes small increases in accuracy of estimated breeding values for daily gain in pigs. *Genet Sel Evol.* 2025. No 57 (24).
8. de Carvalho F. E., Ferraz J. B. S., Pedrosa V. B. et al. Genetic parameters and genome-wide association studies including the X chromosome for various reproduction and semen quality traits in Nelore cattle. *BMC Genomics.* 2025. No 26 (26).
9. Bonifazi R., Calus M. P. L., Ten Napel J., Veerkamp R. F., Michenet A., Savoia S., Cromie A., Vandenplas J. International single-step SNPBLUP beef cattle evaluations for Limousin weaning weight. *Genet Sel Evol.* 2022. No 54 (1). P. 57.

10. Macedo F. L., Christensen O. F., Astruc J. M. et al. Bias and accuracy of dairy sheep evaluations using BLUP and SSGBLUP with metafounders and unknown parent groups. *Genet Sel Evol.* 2020. No 52 (47).
11. Gualdrón Duarte, J. L., Gori A. S., Hubin X. et al. Performances of Adaptive MultiBLUP, Bayesian regressions, and weighted-GBLUP approaches for genomic predictions in Belgian Blue beef cattle. *BMC Genomics.* No 21. 545.
12. Clark S. A., van der Werf J. Genomic best linear unbiased prediction (gBLUP) for the estimation of genomic breeding values. *Methods Mol Biol.* 2013. No 1019. Pp. 321-30.
13. Gupta A., Kumar V. et al. Comparison among different conventional methods of sire evaluation in Murrah buffalo. *The Indian journal of animal sciences.* 2015. No 85. Pp. 670-673.
14. Zhao Ts., Nu Ts., Wu J. et al. Integration of multilevel biological a priori data to improve the accuracy of genomic prediction in beef cattle. *Biol Direct.* 2024. No 19 (147).
15. Sun T., Pei S., Liu Y. et al. Whole genome sequencing of simmental cattle for SNP and CNV discovery. *BMC Genomics.* 2023. No 24 (179).
16. Naserkheil M., Lee D. H. Improving the accuracy of genomic evaluation for linear body measurement traits using single-step genomic best linear unbiased prediction in Hanwoo beef cattle. *BMC Genet.* 2020. No 21 (144).
17. Jeyaruban G., Gurman Ph., Johnston D., et al. Validation of single step genomic best linear unbiased prediction in beef cattle. 2020.
18. Macedo F., Christensen O., Astruc Jean-M., et al. Bias and accuracy of dairy sheep evaluations using BLUP and SSGBLUP with meta founders and unknown parent groups. *Genetics Selection Evolution.* 2020. V. 52.
19. Aruzhan Nugmanova et al. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences.* 2024. No 19 (3). Pp. 257-264.
20. Abdelmanova A. S., Kharzinova V. R., Volkova V. V., et al. Comparative Study of the Genetic Diversity of Local Steppe Cattle Breeds from Russia, Kazakhstan and Kyrgyzstan by Microsatellite Analysis of Museum and Modern Samples. *Diversity* 2021. No 13. P. 351.
21. Хамзина А. К., Юрченко А. А., Юдин Н. С., Ибрагимов П. С., Усенбеков Ю. С., Ларкин Д. М. История, статус и генетические характеристики аборигенных пород крупного рогатого скота Республики Казахстан. *Вавиловский журнал генетики селекции.* 2024. № 28 (4). С. 416-423.
22. Soloshenko V., Lhasaranov B., Popov R., et al. Genome-wide genotyping uncovers genetic profiles and history of the Russian cattle breeds. *Heredity (Edinb).* 2018. No 120 (2). Pp. 125-137.
23. Yurin D., Gneush A., Bogatyreva I., et al. Resistance of Kalmyk cattle breed to high ambient temperatures of the highlands of the North Caucasus. *BIO Web Conf.* 2024. No 108. 0101.
24. Koo Y., Alkhoder H., Choi T. J., Liu Z., Reents R. Genomic evaluation of carcass traits of Korean beef cattle Hanwoo using a single-step marker effect model. *J Anim Sci.* 2023. No 101. skad104.
25. Mehrban H., Lee D. H., Naserkheil M., Moradi M. H., et al. Comparison of conventional BLUP and single-step genomic BLUP evaluations for yearling weight and carcass traits in Hanwoo beef cattle using single trait and multi-trait models. *PLoS One.* 2019. No 14 (10). e0223352.
26. Sungkhapreecha P., Chankitisakul V., Duangjinda M., Buaban S., Boonkum W. Determining Heat Stress Effects of Multiple Genetic Traits in Tropical Dairy Cattle Using Single-Step Genomic BLUP. *Vet Sci.* 2022. No 9 (2). P. 66.
27. Каюмов Ф. Г., Третьякова Р. Ф. Адаптивные качества и интерьерные различия помесных и чистопородных телок калмыцкой породы в условиях высокогорья Кабардино-Балкарской Республики. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета.* 2022. № 2 (94). С. 284-288.
28. Kayumov F. G., Tretyakova R. F. Evaluation of Kalmyk breed the created type of aduchi by the genes bGH, TG5, GDF5, LEP/A80V. *Dairy and beef cattle breeding.* 2022. Pp. 25-28.
29. Ruchay A., Kober V., Dorofeev K., et al. Live Weight Prediction of Cattle Based on Deep Regression of RGB-D Images. *Agriculture.* 2022. No 12. 1794.
30. Хайнацкий В. Ю. Метод племенной оценки быков-производителей мясных пород на основе blup. *Животноводство и кормопроизводство.* 2021. № 104 (1). С. 20-31.
31. Natyrov A. K., Surkova S. A. Productive and breeding qualities of the traditional types of kalmyk cattle in the conditions of arid territories of the south of Russia. *Agrarian-And-Food Innovations.* 2018. No 1. Pp. 32-38.

References

1. U.S. Agricultural Export Yearbook. 2024. <https://www.fas.usda.gov/data/production/country/rs>
2. Albuquerque V. Russia Seeks Increase in Beef Production. 2023. <https://www.brangus.org.br/noticias-raca-brangus/russia-busca-aumento-na-producao-de-carne-bovina>
3. Masuda Y., Van Raden P. M., Tsuruta S., Lourenco D., Misztal I. Invited review: Unknown-parent groups and metafounders in single-step genomic BLUP. *J Dairy Sci.* 2022. No 105 (2). Pp. 923-939.
4. Haque M. A., Jang E. B., Lee H. D., Shin D. H., Jang J. H., Kim J. J. Performance of weighted genomic BLUP and Bayesian methods for Hanwoo carcass traits. *Trop Anim Health Prod.* 2025. No 57 (2). P. 38.
5. Macedo F. L., Christensen O. F., Astruc J. M., Aguilar I., Masuda Y., Legarra A. Bias and accuracy of dairy sheep evaluations using BLUP and SSGBLUP with meta founders and unknown parent groups. *Genet Sel Evol.* 2020. No 52 (1). P. 47.
6. Kachman S. D., Spangler M. L., Bennett G. L. et al. Comparison of molecular breeding values based on within- and across-breed training in beef cattle. *Genet Sel. Evol.* 2013. No 45 (30).
7. Guo X., Sarup P., Bay Nord, A. et al. Metabolomic-genomic prediction realizes small increases in accuracy of estimated breeding values for daily gain in pigs. *Genet Sel Evol.* 2025. No 57 (24).
8. de Carvalho F. E., Ferraz J. B. S., Pedrosa V. B. et al. Genetic parameters and genome-wide association studies including the X chromosome for various reproduction and semen quality traits in Nelore cattle. *BMC Genomics.* 2025. No 26 (26).
9. Bonifazi R., Calus M. P. L., Ten Napel J., Veerkamp R. F., Michenet A., Savoia S., Cromie A., Vandenplas J. International single-step SNPBLUP beef cattle evaluations for Limousin weaning weight. *Genet Sel Evol.* 2022. No 54 (1). P. 57.
10. Macedo F. L., Christensen O. F., Astruc J. M. et al. Bias and accuracy of dairy sheep evaluations using BLUP and SSGBLUP with metafounders and unknown parent groups. *Genet Sel Evol.* 2020. No 52 (47).

11. Gualdrón Duarte, J. L., Gori A. S., Hubin X. et al. Performances of Adaptive MultiBLUP, Bayesian regressions, and weighted-GBLUP approaches for genomic predictions in Belgian Blue beef cattle. *BMC Genomics*. No 21. 545.
12. Clark S. A., van der Werf J. Genomic best linear unbiased prediction (gBLUP) for the estimation of genomic breeding values. *Methods Mol Biol*. 2013. No 1019. Pp. 321-30.
13. Gupta A., Kumar V. et al. Comparison among different conventional methods of sire evaluation in Murrah buffalo. *The Indian journal of animal sciences*. 2015. No 85. Pp. 670-673.
14. Zhao Ts., Nu Ts., Wu J. et al. Integration of multilevel biological a priori data to improve the accuracy of genomic prediction in beef cattle. *Biol Direct*. 2024. No 19 (147).
15. Sun T., Pei S., Liu Y. et al. Whole genome sequencing of simmental cattle for SNP and CNV discovery. *BMC Genomics*. 2023. No 24 (179).
16. Naserkheil M., Lee D. H. Improving the accuracy of genomic evaluation for linear body measurement traits using single-step genomic best linear unbiased prediction in Hanwoo beef cattle. *BMC Genet*. 2020. No 21 (144).
17. Jeyaruban G., Gurman Ph., Johnston D., et al. Validation of single step genomic best linear unbiased prediction in beef cattle. 2020.
18. Macedo F., Christensen O., Astruc Jean-M., et al. Bias and accuracy of dairy sheep evaluations using BLUP and SSGBLUP with meta founders and unknown parent groups. *Genetics Selection Evolution*. 2020. V. 52.
19. Aruzhan Nugmanova et al. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences*. 2024. No 19 (3). Pp. 257-264.
20. Abdelmanova A. S., Kharzinova V. R., Volkova V. V., et al. Comparative Study of the Genetic Diversity of Local Steppe Cattle Breeds from Russia, Kazakhstan and Kyrgyzstan by Microsatellite Analysis of Museum and Modern Samples. *Diversity* 2021. No 13. P. 351.
21. Khamzina A. K., Yurchenko A. A., Yudin N. S., Ibragimov P. S., Usenbekov Yu. S., Larkin D. M. History, status and genetic characteristics of native cattle breeds of the Republic of Kazakhstan. *Vavilov Journal of Breeding Genetics*. 2024. No 28 (4). Pp. 416-423.
22. Soloshenko V., Lhasaranov B., Popov R., et al. Genome-wide genotyping uncovers genetic profiles and history of the Russian cattle breeds. *Heredity (Edinb)*. 2018. No 120 (2). Pp. 125-137.
23. Yurin D., Gneush A., Bogatyreva I., et al. Resistance of Kalmyk cattle breed to high ambient temperatures of the highlands of the North Caucasus. *BIO Web Conf*. 2024. No 108. 0101.
24. Koo Y., Alkhoder H., Choi T. J., Liu Z., Reents R. Genomic evaluation of carcass traits of Korean beef cattle Hanwoo using a single-step marker effect model. *J Anim Sci*. 2023. No 101. skad104.
25. Mehrban H., Lee D. H., Naserkheil M., Moradi M. H., et al. Comparison of conventional BLUP and single-step genomic BLUP evaluations for yearling weight and carcass traits in Hanwoo beef cattle using single trait and multi-trait models. *PLoS One*. 2019. No 14 (10). e0223352.
26. Sungkhapreecha P., Chankitisakul V., Duangjinda M., Buaban S., Boonkum W. Determining Heat Stress Effects of Multiple Genetic Traits in Tropical Dairy Cattle Using Single-Step Genomic BLUP. *Vet Sci*. 2022. No 9 (2). P. 66.
27. Kayumov F. G., Tretyakova R. F. Adaptive qualities and interior differences of mongrel and purebred Kalmyk heifers in the conditions of the highlands of the Kabardino-Balkarian Republic. *Proceedings of the Orenburg State Agrarian University*. 2022. No 2 (94). Pp. 284-288.
28. Kayumov F. G., Tretyakova R. F. Evaluation of Kalmyk breed the created type of aduchi by the genes bGH, TG5, GDF5, LEP/A80V. *Dairy and beef cattle breeding*. 2022. Pp. 25-28.
29. Ruchay A., Kober V., Dorofeev K., et al. Live Weight Prediction of Cattle Based on Deep Regression of RGB-D Images. *Agriculture*. 2022. No 12. 1794.
30. Khainatsky V. Y. Method of breeding evaluation of bulls-producers of meat breeds based on blup. *Animal husbandry and feed production*. 2021. No 104 (1). Pp. 20-31.
31. Natyrov A. K., Surkova S. A. Productive and breeding qualities of the traditional types of kalmyk cattle in the conditions of arid territories of the south of Russia. *Agrarian-And-Food Innovations*. 2018. No 1. Pp. 32-38.

Информация об авторах

Чимидова Н. В., кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник РНПЦ, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «КалмГУ им. Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, 5 микрорайон, строение 3, учебный корпус 4), ORCID iD-0000-0003-3043-091X, e-mail: nadezhdatchimidova@yandex.ru

Убушиева А. В., кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник РНПЦ, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «КалмГУ им. Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, 5 микрорайон, строение 3, учебный корпус 4), ORCID iD-0000-0002-9916-7972, e-mail: ameli-altanas@mail.ru

Хахлинов А. И., директор РНПЦ, ФГБОУ ВО «КалмГУ им. Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, 5 микрорайон, строение 3, учебный корпус 4), ORCID iD- 0000-0002-1373-0243, e-mail: arspeople@mail.ru

Убушиева В. С., научный сотрудник РНПЦ, ФГБОУ ВО «КалмГУ им. Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, 5 микрорайон, строение 3, учебный корпус 4), ORCID iD- 0000-0003-0320-7771, e-mail: viki@mail.ru

Authors' Information

Chimidova N. V., Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Associate Professor, B. B. Gorodovikov KalmSU (Russian Federation, 358000, Republic of Kalmykia, Elista, 5th microdistrict, 3/4), ORCID iD-0000-0003-3043-091X, e-mail: nadezhdatchimidova@yandex.ru

Ubushieva A. V., Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Associate Professor, B. B. Gorodovikov KalmSU (Russian Federation, 358000, Republic of Kalmykia, Elista, 5th microdistrict, 3/4), ORCID iD-0000-0002-9916-7972, e-mail: ameli-altanas@mail.ru

Khakhlinov A. I., Director of the Russian Scientific Research Center for the Reproduction of Agricultural Animals, B. B. Gorodovikov KalmSU (Russian Federation, 358000, Republic of Kalmykia, Elista, 5th microdistrict, 3/4), ORCID iD- 0000-0002-1373-0243, e-mail: arspeople@mail.ru

Ubushieva V. S., Researcher, Senior Lecturer, B. B. Gorodovikov KalmSU (Russian Federation, 358000, Republic of Kalmykia, Elista, 5th microdistrict, 3/4), ORCID iD- 0000-0003-0320-7771, e-mail: viki@mail.ru

**THE ASSESSMENT OF THE VOLGOGRADSKAYA AND EDILBAEVSKAYA SHEEP BREEDS
BREEDING RESOURCES STATE ON THE SOUTHERN FEDERAL DISTRICT TERRITORY****Kvashnina M. A., Merzlyakova A. V., Ponomarev V. V., Gorlov I. F.***Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: niimmp@mail.ru

Received 26.09.2025

Submitted 28.12.2025

This work was performed as part of a state task of the Ministry of Education and Science of Russia (topic No. 125020701763-0).**Summary**

The article provides an analysis of the breeding resources in the sheep farming sector within the Southern Federal District of the Russian Federation. The study focuses on the following sheep breeds: the Volgogradskaya meat-wool breed and the Edilbaevskaya meat-fat breed. Analysis of data over a six-year period allows us to conclude that, against the backdrop of an overall negative industry trend, the breeding nucleus of the studied breeds in the Southern Federal District is strengthening, thereby forming a foundation for the development of sheep farming in arid territories.

Abstract

Introduction. Agriculture holds an important place in the economy of the Southern Federal District. The region is engaged in grain cultivation, vegetable growing, viticulture, and animal husbandry. This diversity is made possible by the climatic variety encompassing different geographical zones: from mountain ranges and subtropical areas to steppes and semi-deserts. Sheep farming is a unique agricultural activity capable of ensuring the normal functioning of enterprises and maintaining sustainable productivity in semi-desert conditions and on the scarce pastures of arid territories. The southern regions of Russia have traditionally been characterized by developed sheep breeding. Sheep provided the country with wool, sheepskins, fur skins, and mutton. **Materials and methods.** The study was conducted by analyzing the Yearbook on Breeding Work in Sheep and Goat Farming in the Farms of the Russian Federation, which includes zoo technical records from the country's breeding farms for the period from 2019 to 2024, as well as data from the Federal State Statistics Service for 2019-2024. The received data was generated and processed using the Excel program. **Results and conclusions.** Over the period from 2019 to 2024, breeding farms in the Southern Federal District have demonstrated an increase in the total sheep population of the Volgogradskaya and Edilbaevskaya breeds. In the Volgograd region, a pronounced regional specialization was revealed: high productivity indicators for the Volgogradskaya breed at pedigree breeding farms, as well as the highest live weight for the Edilbaevskaya breed at pedigree reproduction farms. Furthermore, it is important to note that this region hosts the country's sole selection and genetic center for breeding the Edilbaevskaya meat-fat breed. Astrakhan region leads in terms of the population size of the Edilbaevskaya breed (6604 head); whereas Rostov region demonstrates the highest live weight indicators for the Volgogradskaya breed: rams – 104 kg, ewes – 58 kg. The live weight and shears of wool from the 1st head on average in breeding farms is systematically increasing, which indicates the preservation of the genetic potential and the effectiveness of breeding and breeding work in farms. Based on the analysis of the presented data, it can be concluded that against the backdrop of an overall negative industry trend, the breeding nucleus of the studied breeds in the Southern Federal District is strengthening, forming a foundation for the development of sheep farming in arid territories.

Keywords: *sheep population, young sheep, sheep breeds, Volgogradskaya sheep breed, Edilbaevskaya sheep breed, breeding farms, sheep breeding, sheep breeding development.*

Citation. Kvashnina M. A., Merzlyakova A. V., Ponomarev V. V., Gorlov I. F. The assessment of the Volgogradskaya and Edilbaevskaya sheep breeds breeding resources state on the Southern Federal district territory. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 401-411 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-42.

Authors' contribution. All authors of this study were directly involved in planning, implementation and analysis of this study. All authors of this article have read and approved the presented final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 636.3.082.13

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПЛЕМЕННЫХ РЕСУРСОВ ВОЛГОГРАДСКОЙ И ЭДИЛЬБАЕВСКОЙ ПОРОД ОВЕЦ НА ТЕРРИТОРИИ ЮЖНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА**Квашнина М. А., старший научный сотрудник****Мерзлякова А. В., младший научный сотрудник****Пономарев В. В., кандидат сельскохозяйственных наук****Горлов И. Ф., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН***Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции
г. Волгоград, Российская Федерация**Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (тема № 125020701763-0).*

Актуальность проведенного исследования определена необходимостью комплексного анализа современного состояния продуктивных качеств овец волгоградской и эдильбаевской пород в племенных хозяйствах Южного федерального округа на фоне общего снижения развития отрасли овцеводства.

Материалы и методы. Исследования проводились путем анализа материалов «Ежегодника по племенной работе в овцеводстве и козоводстве в хозяйствах Российской Федерации», включающего в себя данные зоотехнического учета племенных хозяйств страны за 2019-2024 годы, а также данных Федеральной государственной статистики за 2019-2024 годы. Полученные данные формировались и обрабатывались с помощью программы Excel.

Результаты и выводы. За период 2019-2024 гг. в племенных хозяйствах ЮФО прослеживается рост общего поголовья овец волгоградской и эдильбаевской породы. В Волгоградской области выявлена выраженная региональная специализация: высокие показатели продуктивности волгоградской породы в племенных заводах, а также наивысшая живая масса в племенных репродукторах по разведению эдильбаевской породы. Кроме того, важно отметить, что на территории данного региона находится единственный в стране селекционно-генетический центр по разведению эдильбаевской породы мясо-сального направления продуктивности. Астраханская область лидирует по численности поголовья эдильбаевской породы (6604 гол.), тогда как Ростовская область показывает наивысшие показатели живой массы волгоградской породы: баранов – 104 кг, маток – 58 кг.

Живая масса и настриг шерсти с 1-ой головы в среднем в племенных хозяйствах планомерно увеличивается, что свидетельствует о сохранности генетического потенциала и эффективности селекционно-племенной работы в хозяйствах.

На основании анализа приведенных данных можно сделать вывод, что на фоне общей отрицательной отраслевой динамики племенное ядро исследуемых пород в ЮФО укрепляется, формируя основу для развития овцеводства на аридных территориях.

Ключевые слова: поголовье овец, молодняк овец, породы овец, волгоградская порода овец, эдильбаевская порода овец, племенные хозяйства, селекция овец, развитие овцеводства.

Цитирование. Квашнина М. А., Мерзлякова А. В., Пономарев В. В., Горлов И. Ф. Оценка состояния племенных ресурсов волгоградской и эдильбаевской пород овец на территории Южного федерального округа. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 401-411. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-42.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Сельское хозяйство занимает важное место в экономике Южного федерального округа (далее – ЮФО). Здесь развиты выращивание зерновых культур, овощей, виноградарство, а также животноводство. Такое разнообразие возможно благодаря климатическому разнообразию, охватывающему различные географические зоны: от горных массивов и субтропических районов до степей и полупустынь [1]. Овцеводство – исключительный вид сельскохозяйственной деятельности, способный обеспечивать нормальное функционирование организаций и сохранять устойчивую продуктивность в условиях полупустынь и на скудных пастбищах аридных территорий. Южные регионы России традиционно характеризовались развитым овцеводством. Овцы обеспечивали страну шерстью, овчинами, смушками и бараниной.

Для поддержания положительной динамики роста поголовья мелкого рогатого скота Правительство РФ разработало ряд стратегий развития овцеводческой отрасли. Государственная поддержка овцеводства осуществляется в соответствии с постановлением Пра-

вительства Российской Федерации «О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия» № 717 от 14 июля 2012 года. В пункте 5, подпункте «и» данного постановления, предусматривается государственная дотация на наращивание маточного поголовья овец и коз, в том числе ярок и козочек старше одного года, производство тонкорунной и полутонкорунной шерсти, а также производство баранины в хозяйствах всех категорий собственности [2].

По данным Федеральной службы государственной статистики за 2024 год, в ЮФО было произведено скота и птицы на убой в живом весе 1551,7 тыс. тонн, из них 123,8 тыс. тонн или 8 % составили овцы и козы [3].

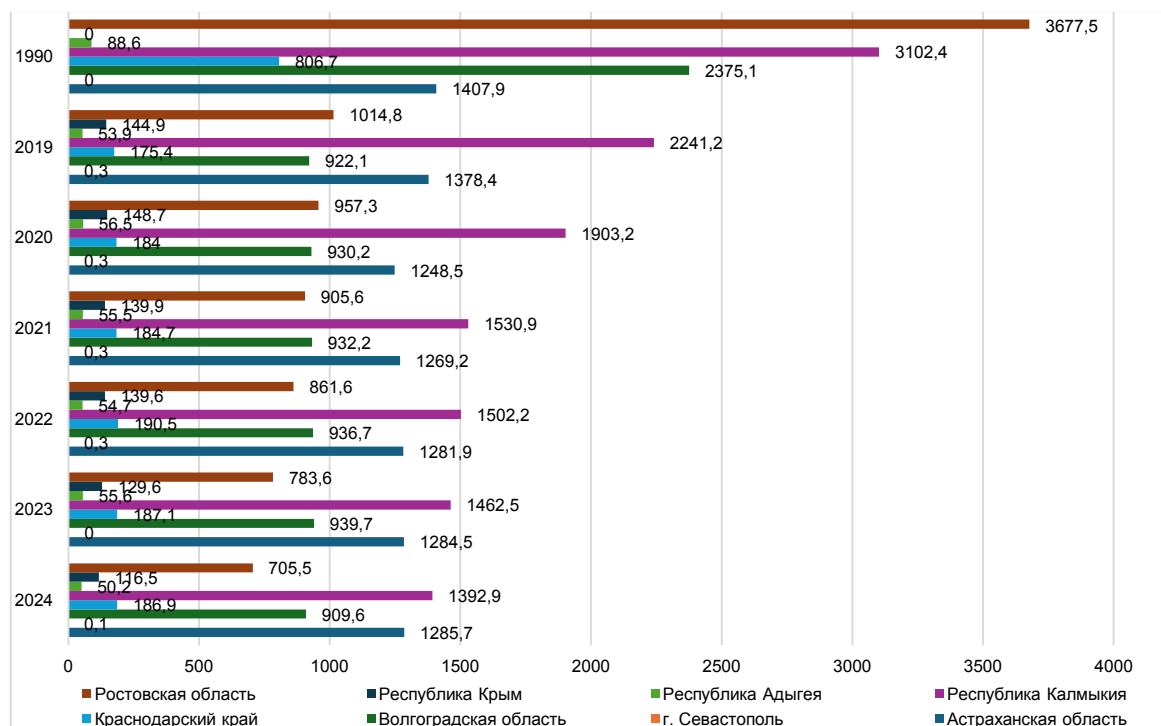


Рисунок 1 – Динамика снижения поголовья овец в хозяйствах всех категорий на территории ЮФО, тыс. голов

Figure 1 – Dynamics of decrease in the number of sheep in farms of all categories in the Southern Federal District, thousand head

Анализируя динамику снижения поголовья овец в ЮФО (рисунок 1), представленную в ежегоднике по племенной работе в овцеводстве и козоводстве в хозяйствах Российской Федерации за 6 лет, мы можем прийти к выводу о длительной тенденции к сокращению численности овцепоголовья. За 1990-2024 годы общее поголовье ЮФО уменьшилось с 22,9 млн голов до 4,6 млн голов, что составляет 20,3 % от уровня 1990 года. В сравнении с 1990 годом в 2024 году на территории Российской Федерации данный показатель снизился до 32,0 % [4, 5].

В структуре округа наибольшее сокращение отмечено в Ростовской области, где численность овец в 2024 году составила 19,2 % от уровня 1990 года. Существенное уменьшение поголовья овец также зафиксировано в Волгоградской области – 38,3 % и Республике Калмыкия – 44,9 %, которая традиционно является зоной развитого овцеводческого направления.

В отдельных субъектах округа наблюдается относительная стабильность численности овцепоголовья. Так, например, в Астраханской области уровень 2024 года составляет 91,3 % от 1990 года, что подчеркивает стабильность позиций данной отрасли в региональной структуре сельского хозяйства. В Республике Адыгея и Краснодарском крае доля численности овцепоголовья по отношению к 1990 году составляет 56,7 и 23,2 % соответственно. В новых административных округах Республике Крым и городе Севастополе наблюдается низкий уровень поголовья овец, сводящийся к дальнейшему снижению.

Несмотря на всестороннюю поддержку сельхозтоваропроизводителей, в стране наблюдается отрицательная динамика производства шерсти [6].

По данным, приведенным на рисунке 2, видно, что объем производства шерсти в России и ЮФО снизился на 80,9 и 79,5 % соответственно, по сравнению с уровнем 1990 года. В разрезе регионов наибольшие изменения претерпела Астраханская область, у которой данный показатель снизился с 7851 тонны до 2412 тонн (30,7 %). Наименьшие потери в валовом производстве шерсти были в Краснодарском крае – 9,9 % от уровня 1990 года.

Основными причинами снижения производства сырья из натуральных волокон являются недостаток предприятий по первичной переработке шерсти (далее – ПОШ) и увеличение роста производства синтетических материалов [7]. По данным Федеральной налоговой службы в Южном Федеральном округе насчитывается порядка 4 предприятий ПОШ, из них 2 находятся на территории Волгоградской области, 1 в Республике Калмыкия, 1 в Краснодарском крае [8], такого количества производственных мощностей недостаточно для первичной обработки шерсти округа.

На фоне снижения численности поголовья овец и производства продукции овцеводства в ЮФО сохраняется потенциал развития племенного овцеводства, основанного на разведении местных пород, адаптированных к агроклиматическим условиям. Наиболее показательным примером, является Волгоградская область, где сосредоточены основные племенные ресурсы волгоградской и эдильбаевской пород [9, 10, 11].

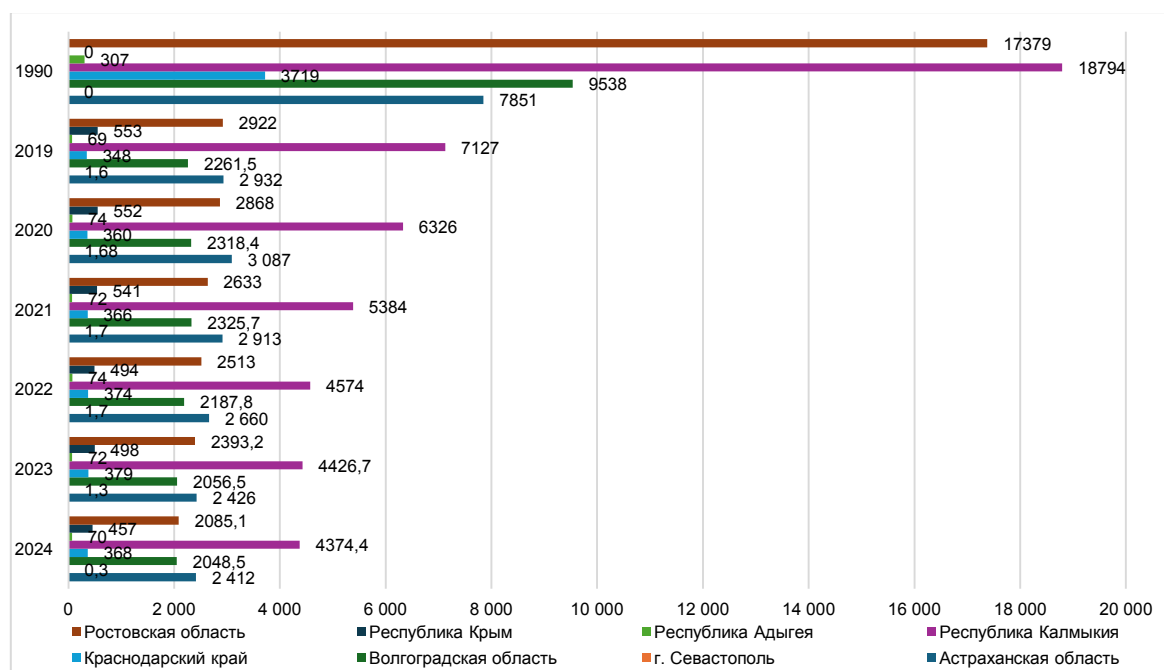


Рисунок 2 – Динамика производства шерсти в хозяйствах всех категорий на территории ЮФО, тонн
Figure 2 – Dynamics of wool production in all categories of farms in the Southern Federal District, tons

Цель исследования. Изучить динамику поголовья и продуктивных качеств овец волгоградской и эдильбаевской пород, разводимых на территории Южного федерального округа России.

Материалы и методы исследования. Представленные материалы за последние 6 лет, получены путем анализа Ежегодника по племенной работе в овцеводстве и козоводстве в хозяйствах Российской Федерации, включающего в себя данные зоотехнического учета племенных хозяйств страны за 2019-2024 годы, а также данных Федеральной государственной статистики за 2019-2024 годы.

Полученные данные формировались и обрабатывались с помощью программы Excel.

Результаты и обсуждения. Волгоградская мясо-шерстная и эдильбаевская мясо-сальная породы овец разводятся в племенных хозяйствах на территории трёх регионов: Астраханской, Волгоградской и Ростовской областей (таблица 1).

Таблица 1 – Численность овец волгоградской и эдильбаевской породы в племенных хозяйствах Южного федерального округа, голов
Table 1 – Number of Volgogradskaya and Edilbaevskaya breed sheep in the breeding farms of the Southern Federal District, head.

Показатель / Indicator		ЮФО, в том числе / Southern Federal District, including	Астраханская область / Astrakhan region	Волгоградская область / Volgograd region	Ростовская область / Rostov region
2019 год / 2019 year	Всего, в том числе / Total, including	89035	14026	68789	6220
	Волгоградская / Volgogradskaya breed	62173	–	57732	4441
	Эдильбаевская / Edilbaevskaya breed	26862	14026	11057	1779
2021 год / 2021 year	Всего, в том числе / Total, including	105892	18211	82414	5267
	Волгоградская / Volgogradskaya breed	73987	–	68720	5267
	Эдильбаевская / Edilbaevskaya breed	31905	18211	13694	–
2024 год / 2024 year	Всего, в том числе / Total, including	94612	16580	69746	8286
	Волгоградская / Volgogradskaya breed	60433	–	52147	8286
	Эдильбаевская / Edilbaevskaya breed	34179	16580	17599	–
2024 к 2019, % / 2024 to 2019, %	Всего, в том числе / Total, including	+6,3	+18,2	+1,4	+33,2
	Волгоградская / Volgogradskaya breed	-2,8	–	-9,7	86,6
	Эдильбаевская / Edilbaevskaya breed	+27,2	+18,2	+59,2	-100,0

По данным, изложенным в таблице 1, в Южном федеральном округе численность овец волгоградской и эдильбаевской пород в племенных хозяйствах демонстрирует разнонаправленную динамику. В целом по округу поголовье представленных пород к 2024 году увеличилось с 89,0 тыс. голов до 94,6 тыс. голов, или на 6,3 % от уровня 2019 года. Численность волгоградской породы снизилась с 62,1 тыс. голов до 60,4 тыс. голов, или на 2,8 % от 2019 года. Поголовье эдильбаевской породы увеличилось с 26,8 тыс. голов до 34,1 тыс. голов, или на 27,2 %.

В разрезе регионов Ростовская область в 2024 году занимает ведущую позицию по росту численности овец волгоградской породы на 86,6 % от 2019 года. Волгоградская область сохраняет ведущие позиции по поголовью представленных пород: общее поголовье незначительно увеличилось на 1,4 % по сравнению с 2019 годом. Однако поголовье волгоградской породы сократилось на 9,7 % в следствии ликвидации племенных хозяйств (таблица 2), в то время как поголовье эдильбаевской породы продемонстрировало значительный рост на 59,2 %. В 2024 году на территории Астраханской области наблюдается планомерное увеличение поголовья эдильбаевской породы на 18,2 % от 2019, также стоит отметить отсутствие племенных хозяйств по разведению волгоградской породы.

Как видно из данных таблицы 2, с 2019 по 2024 год прослеживается плавное снижение количества племенных хозяйств по анализируемым породам: с 13 до 10 хозяйств по разведению волгоградской породы и с 6 до 5 из них неизменным остается единственный в стране селекционно-генетический центр по разведению эдильбаевской породы (далее – СГЦ). При уменьшении количества племенных хозяйств мы можем заметить незначительное увеличение основных показателей производительности. Так, например, реализация от 100 маток по волгоградской породе увеличилось с 2019 года на 11,8 %, а по эдильбаевской на 13,6 %. При этом настриг шерсти с 1-ой головы волгоградской мясо-шерстной породы колеблется: 2019 год – 2,2 кг, 2021 год – 2,3 кг, 2024 год – 2,2 кг. Такая динамика может указывать на ряд факторов, включающих в себя заморозки посевных и выпасных площадей в мае 2024 года, а также незначительное количество осадков в весенний период, что повлияло на урожайность сельскохозяйственных культур и повлекло за собой уменьшение продуктивности скота [12].

Таблица 2 – Динамика племенных хозяйств и основных воспроизводительных показателей на территории Южного федерального округа
Table 2 – Dynamics of breeding farms and key reproductive performance indicators in the Southern Federal District

Наименование / Indicator	Все породы / All Breeds	Волгоградская / Volgogradskaya breed	Эдильбаевская / Edilbaevskaya breed
2019 год / 2019 year			
Количество племенных хозяйств из них, шт. / Number of breeding farms, units	13	7	6
селекционно-генетический центр / selection and genetic center	1	–	1
племенной завод / pedigree breeding farm	4	4	–
племенной репродуктор / pedigree reproduction farm	8	3	5
Всего овец, тыс. гол. / Total sheep, thousand head	98,68	62,17	36,50
в т. ч. маток, тыс. гол. / including ewes, thousand head	66,32	42,90	23,42
В среднем: / On average:	x	x	x
настриг шерсти с 1 гол., кг / Wool clip per head, kg	1,9	2,2	1,5
отбито ягнят от 100 маток, гол. / lambs weaned per 100 ewes, head	102	105	99
реализовано от 100 маток плем. овец, гол. / breeding sheep sold per 100 ewes, head	19	17	22
2021 год / 2021 year			
Количество племенных хозяйств из них, шт. / Number of breeding farms, units	11	7	4
селекционно-генетический центр / selection and genetic center	1	–	1
племенной завод / pedigree breeding farm	4	4	–
племенной репродуктор / pedigree reproduction farm	6	3	3
Всего овец, тыс. гол. / Total sheep, thousand head	105,89	73,99	31,90
в т. ч. маток, тыс. гол. / including ewes, thousand head	66,87	45,66	21,21
В среднем: / On average:	x	x	x
настриг шерсти с 1 гол., кг / wool clip per head, kg	2,0	2,3	1,7
отбито ягнят от 100 маток, гол. / lambs weaned per 100 ewes, head	97	95	99
реализовано от 100 маток плем. овец, гол. / breeding sheep sold per 100 ewes, head	24	19	30
2024 год / 2024 year			
Количество племенных хозяйств из них, шт. / Number of breeding farms, units	10	5	5
селекционно-генетический центр / selection and genetic center	1	–	1
племенной завод / pedigree breeding farm	3	3	–
племенной репродуктор / pedigree reproduction farm	6	2	4
Всего овец, тыс. гол. / Total sheep, thousand head	103,12	60,43	42,69
в т. ч. маток, тыс. гол. / including ewes, thousand head	69,65	42,15	27,50
В среднем: / On average:	x	x	x
настриг шерсти с 1 гол., кг / Wool clip per head, kg	1,9	2,2	1,6
отбито ягнят от 100 маток, гол. / lambs weaned per 100 ewes, head	103	104	102
реализовано от 100 маток плем. овец, гол. / breeding sheep sold per 100 ewes, head	22	19	25

При изучении показателей продуктивности волгоградской и эдильбаевской пород разных половозрастных групп в разрезе регионов (таблицы 3 и 4), мы можем видеть превосходство показателей племенных заводов (далее – ПЗ) и селекционно-генетического центра над племенными репродукторами (далее – ПР), что свидетельствует о целенаправленном совершенствовании продуктивных и племенных качеств овец.

Таблица 3 – Показатели продуктивности овец волгоградской породы разных половозрастных групп в Южном федеральном округе

Table 3 – Productivity indicators of Volgograd breed sheep of different sex and age groups in the Southern Federal District

Наименование / Indicator	Численность, гол. / Population, head		В среднем живая масса 1 головы, кг / Average live weight per head, kg		В среднем настриг шерсти с 1 головы, кг / Average wool clip per head, kg	
	ПЗ / BF	ПР / RF	ПЗ / BF	ПР / RF	ПЗ / BF	ПР / RF
Бараны / Rams	125	43	101,0	99,8	5,9	5,5
Волгоградская область / Volgograd region	125	14	101,0	97,5	5,9	5,5
Ростовская область / Rostov region	–	29	–	102,0	–	5,4
Матки / Ewes	34533	7531	57,3	55,5	2,3	2,3
Волгоградская область / Volgograd region	34533	5610	57,3	53,0	2,3	2,0
Ростовская область / Rostov region	–	1921	–	58,0	–	2,6
Ярки / Young ewes	10989	1120	43,7	42,3	2,1	2,0
Волгоградская область / Volgograd region	10989	300	43,7	41,5	2,1	1,7
Ростовская область / Rostov region	–	820	–	43,0	–	2,3
Бараны / Rams	120	148	101,5	98,8	6,4	6,7
Волгоградская область / Volgograd region	120	23	101,5	97,5	6,4	5,5
Ростовская область / Rostov region	–	125	–	100,0	–	7,8
Матки / Ewes	35392	9903	54,8	51,3	2,4	2,6
Волгоградская область / Volgograd region	35392	5913	54,8	46,5	2,4	2,0
Ростовская область / Rostov region	–	3990	–	56,0	–	3,1
Ярки / Young ewes	11103	1288	43,0	42,3	2,3	2,1
Волгоградская область / Volgograd region	11103	173	43,0	40,5	2,3	1,8
Ростовская область / Rostov region	–	1115	–	44,0	–	2,4
Бараны / Rams	100	168	105,3	100,0	7,1	5,6
Волгоградская область / Volgograd region	100	10	105,3	96,0	7,1	5,8
Ростовская область / Rostov region	–	158	–	104,0	–	5,3
Матки / Ewes	31053	10942	57,3	54,5	2,1	2,1
Волгоградская область / Volgograd region	31053	4795	57,3	51,0	2,1	1,9
Ростовская область / Rostov region	–	6147	–	58,0	–	2,2
Ярки / Young ewes	11856	299	41	40	1,9	1,7
Волгоградская область / Volgograd region	11856	299	41,0	40,0	1,9	1,7

В племенных хозяйствах ЮФО демонстрируется снижение поголовья баранов волгоградской породы в племенных заводах: так по состоянию на 2024 год данный показатель составляет 100 голов, что на 20 % меньше уровня 2019 года. Обратная тенденция прослеживается в племенных репродукторах – с 43 голов в 2019 году до 168 голов в 2024 году.

Показатель живой массы в среднем в округе отмечается устойчивым ростом с 101,0 кг в 2019 году до 105,3 в 2024 году по племенным заводам, и незначительный рост по репродукторам с 99,8 кг до 100,0 кг в 2024 году. Максимальные показатели живой массы зафиксировались в племенных заводах Волгоградской области 105,3 кг в 2024 году, что выше уровня 2019 года на 4,3 %. В племенных репродукторах значительный рост в 2024 году, превышающий уровень 2019 года на 2,0 %, показало хозяйство, расположенное в Ростовской области.

В среднем настриг шерсти с 1-ой головы барана в племенных заводах увеличился с 5,9 кг до 7,1 кг по Южному федеральному округу, уровень племенных репродукторов по данному показателю остался на прежнем уровне и колеблется в пределах 5,5-5,6 кг.

Маточное поголовье составляет основу племенного ядра волгоградской породы. Его численность по заводам снизилась на 10,1 % к 2019 году, тогда как в репродукторах увеличилось на 45,3 % за счет высоких темпов роста производства хозяйств Ростовской области.

Живая масса маток в племенных заводах в среднем остается на стабильно высоком уровне в пределах 57,3 кг, в репродукторах наименьший показатель по живой массе прослеживается в Волгоградской области и составляет 51,0 кг, когда в Ростовской области живая масса составляет 58,0 кг, что выше уровня племенного завода на 1,2 %.

Настриг шерсти маточного поголовья характеризуется умеренной изменчивостью, в племенных заводах региона в пределах 2,1-2,4 кг, наибольшие скачки наблюдаются в репродукторах 1,9-2,6 кг с 2019 по 2024 годы.

Показатели основных производительных свойств молодняка играют роль ключевой оценки воспроизводительных качеств. Живая масса ярок в племенных хозяйствах всех видов в ЮФО снизилась в среднем на 5,7 % от уровня 2019 года.

Продуктивность овец эдильбаевской породы в Южном федеральном округе демонстрирует выраженную дифференциацию между видами племенных хозяйств, что подчеркивает различия в уровне селекционной работы. Анализ динамики по основным половозрастным группам позволит определить изменчивость продуктивных качеств по породе с 2019 по 2024 год (таблица 4).

Из данных, представленных выше, стоит отметить стабильный рост поголовья и продуктивности в селекционно-генетическом центре. За период с 2019 по 2024 годы поголовье баранов увеличилось – на 40,6 %, маток – на 30,0 %. Следует отметить, что данные по некоторым регионам в части показателя ярок отсутствуют. Это связано с тем, что к концу отчетного периода ожидается нулевая динамика по данному показателю, поскольку часть поголовья ярок предназначена для реализации в племенных целях, а другая часть – для пополнения собственного стада. Что касается средней живой массы баранов, то она незначительно снизилась – на 1,5 %, а маток увеличилась – на 18,9 %. Настриг шерсти остается на прежнем уровне и находится в пределах 2,4-2,5 кг с одной головы у баранов, 1,5-1,7 кг у овцематок.

Маточное поголовье эдильбаевской породы, разводимое в племенных репродукторах, значительно возросло с 3325 до 21390 голов. При этом Ростовская область прекратила разводить данную породу после 2021 года. По состоянию на 2024 год лидером по численности поголовья эдильбаевской породы в племенных репродукторах можно считать Астраханскую область, где сконцентрировано 82,8 % маточного поголовья всего Южного федерального округа, при этом живая масса животных уменьшилась на 2,2 %. В Волгоградской области при меньшем поголовье эдильбаевской породы продуктивные качества выше, чем в Астраханской области в 2024 году: у баранов – на 26,6 %, маток – на 16,2 %.

Таблица 4 – Показатели продуктивности овец эдильбаевской породы разных половозрастных групп в Южном федеральном округе

Table 4 – Productivity indicators of Edilbaev breed sheep of different sex and age groups in the Southern Federal District

Наименование / Indicator	Численность, гол. / Population, head		В среднем живая масса 1 головы, кг / Average live weight per head, kg		В среднем настриг шерсти с 1 головы, кг / Average wool clip per head, kg	
	СГЦ / SGC	ПР / RF	СГЦ / SGC	ПР / RF	СГЦ / SGC	ПР / RF
Бараны / Rams	32	113	136,0	112,8	2,4	2,2
Астраханская область / Astrakhan region	-	79	-	104,3	-	2,4
Волгоградская область / Volgograd region	32	25	136,0	125,0	2,4	2,1
Ростовская область / Rostov region	-	9	-	109,0	-	2,2
Матки / Ewes	4600	3325	74,0	72,0	1,5	1,5
Астраханская область / Astrakhan region	-	12125	-	71,3	-	1,6
Волгоградская область / Volgograd region	4600	1925	74,0	80,0	1,5	1,7
Ростовская область / Rostov region	-	1400	-	64,0	-	1,2
Ярки / Young ewes	835	2792	65,0	68,3	1,4	1,5
Астраханская область / Astrakhan region	-	2572	-	63,7	-	1,5
Волгоградская область / Volgograd region	835	220	65,0	73,0	1,4	1,5
Бараны / Rams	34	195	137,0	112,0	2,5	2,3
Астраханская область / Astrakhan region	-	170	-	99,0	--	2,4
Волгоградская область / Volgograd region	34	25	137,0	125,0	2,5	2,1
Матки / Ewes	5632	14837	83,0	75,8	1,7	1,7
Астраханская область / Astrakhan region	-	12319	-	71,5	-	1,6
Волгоградская область / Volgograd region	5632	2518	83,0	80,0	1,7	1,7
Ярки / Young ewes	-	1638	-	64,0	-	1,6
Астраханская область / Astrakhan region	-	1378	-	61,0	-	1,6
Волгоградская область / Volgograd region	-	260	-	67,0	-	1,5
Бараны / Rams	45	185	134,0	111,8	2,4	2,3
Астраханская область / Astrakhan region	-	160	-	98,7	-	2,4
Волгоградская область / Volgograd region	45	25	134,0	125,0	2,4	2,1
Матки / Ewes	5980	21390	88,0	75,3	1,7	1,5
Астраханская область / Astrakhan region	-	17725	-	69,7	-	1,7
Волгоградская область / Volgograd region	5980	3665	88,0	81,0	1,7	1,4
Ярки / Young ewes	-	946	-	55,0	-	1,2
Астраханская область / Astrakhan region	-	946	-	55,0	-	1,2

Выводы. На территории Южного федерального округа за последние 6 лет прослеживается устойчивая тенденция роста поголовья всех половозрастных групп овец волгоградской и эдильбаевской пород, что обусловлено увеличением интенсивности производства в племенных репродукторах.

Региональная структура разведения характеризуется выраженным разделением: Волгоградская область демонстрирует высокие показатели продуктивности волгоградской породы в племенных заводах, а также наивысшую живую массу в племенных репродукторах по разведению эдильбаевской породы. Кроме того, важно отметить, что на территории данного региона находится единственный в стране селекционно-генетический центр по разведению эдильбаевской породы мясо-сального направления продуктивности.

В племенных репродукторах Астраханская область лидирует по численности поголовья эдильбаевской породы (6604 гол.), тогда как Ростовская область показывает наивысшие показатели живой массы волгоградской породы: баранов – 104 кг, маток – 58 кг.

Живая масса и настриг шерсти с 1-ой головы в среднем в племенных хозяйствах планомерно увеличивается, что свидетельствует о сохранности генетического потенциала и эффективности селекционно-племенной работы в хозяйствах.

На основании анализа приведенных данных можно сделать вывод об укреплении племенных ресурсов овцеводства в ЮФО, устойчивом развитии племенных хозяйств и сохранении высоких продуктивных качеств, создающие прочную основу для дальнейшей работы отрасли в округе.

Conclusions. In the Southern Federal District, over the past 6 years, there has been a steady growth trend in the number of all sex and age groups of Volgograd and Edilbaev sheep, which is due to an increase in the intensity of production in breeding reproducers.

The regional structure of breeding is characterized by a pronounced division: the Volgogradsky region demonstrates high productivity of the Volgograd breed in breeding plants, as well as the highest live weight in breeding reproducers for breeding the Edilbaev breed. In addition, it is important to note that this region is home to the country's only breeding and genetic center for the breeding of the Edilbaev breed of meat and fat production. In breeding reproducers, the Astrakhan region is the leader in the number of livestock of the Edilbaev breed (6604 heads), while the Rostov region shows the highest live weight of the Volgograd breed: sheep – 104 kg, queens – 58 kg.

The live weight and shearing of wool from the 1st head increases on average in breeding farms, which indicates the preservation of genetic potential and the effectiveness of breeding work in farms.

Based on the analysis of the above data, it can be concluded that the strengthening of sheep breeding resources in the Southern Federal District, the sustainable development of breeding farms and the preservation of high productive qualities create a solid foundation for the further work of the industry in the district.

Библиографический список

1. Арустамов Э. А. и др. Проблемы и перспективы социально-экономического развития Южного федерального округа. Астраханский вестник экологического образования. 2021. № 6 (66). С. 158-166.
2. О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия: постановление Правительства РФ от 14.07.2012 N 717 (ред. от 07.10.2025).
3. Российский статистический ежегодник. Росстат. М., 2024. 630 с.
4. Горлов И. Ф. и др. Основные ориентиры и приоритеты развития отрасли животноводства на Юге России. Аграрно-пищевые инновации. 2023. № 4 (24). С. 9-19.
5. Чимитдоржиева Е. Ц. и др. Оценка устойчивости динамики поголовья мелкого рогатого скота по регионам Российской Федерации. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2025. Т. 20. № 2 (78).
6. Цыгуева В. В., Самохвалова А. А. Государственная поддержка развития овцеводства в лидирующих регионах России и Забайкальском крае. Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2024. № 2 (108). С. 24-36.
7. Трухачев В. И. и др. Вектор развития овцеводства в мире и России. Овцы, козы, шерстяное дело. 2023. № 4. С. 3-9.
8. Федеральная налоговая служба. <https://pb.nalog.ru/>
9. Квашнина М. А., Пономарев В. В. Анализ племенных качеств овец Волгоградской породы, разводимых в разных агроэкологических условиях. Аграрно-пищевые инновации. 2024. № 4 (28). С. 58-70.
10. Квашнина М. А., Пономарев В. В. Племенные качества эдильбаевской породы овец и оценка их селекционных признаков в племенных хозяйствах Волгоградской области. Аграрно-пищевые инновации. 2025. № 1 (29). С. 63-73.
11. Григорян Л. Н. и др. Динамика развития тонкорунного овцеводства разных направлений продуктивности в Российской Федерации. Зоотехния. 2025. № 9. С. 20-25.
12. Власенко М. В., Кулик А. К. Изменение урожайности растительных сообществ с участием *Agropyron cristatum* на Иловлинском песчаном массиве под влиянием погодных условий. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 1 (79). С. 85-100.

References

1. Arustamov E. A. et al. Problems and prospects of socio-economic development of the Southern Federal District. Astrakhan Bulletin of Environmental Education. 2021. No 6 (66). Pp. 158-166.
2. On the State Program for the Development of Agriculture and Regulation of Agricultural Products, Raw Materials and Food Markets: Decree of the Government of the Russian Federation No. 717 dated 07.07.2012 (as amended on 07.10.2025).
3. Russian Statistical Yearbook. Rosstat. Moscow, 2024. 630 p.
4. Gorlov I. F. et al. The main guidelines and priorities for the development of the livestock industry in the South of Russia. Agricultural and food innovations. 2023. No. 4 (24). Pp. 9-19.
5. Chimitdorzhieva E. Ts. et al. Assessment of the stability of the dynamics of the number of small cattle in the regions of the Russian Federation. Bulletin of Kazan State Agrarian University. 2025. V. 20. № 2 (78).
6. Tsyngueva V. V., Samokhvalova A. A. State support for the development of sheep breeding in the leading regions of Russia and the Trans-Baikal Territory. Economics, labor, management in agriculture. 2024. No. 2 (108). Pp. 24-36.
7. Trukhachev V. I. et al. The vector of sheep breeding development in the world and Russia. Sheep, goats, wool business. 2023. No. 4. Pp. 3-9.
8. Federal Tax Service. <https://pb.nalog.ru/>
9. Kvashnina M. A., Ponomarev V. V. Analysis of breeding qualities of Volgograd sheep bred in different agroecological conditions. Agricultural and food innovations. 2024. No 4 (28). Pp. 58-70.
10. Kvashnina M. A., Ponomarev V. V. Breeding qualities of the Edilbaev sheep breed and assessment of their breeding characteristics in breeding farms of the Volgograd region. Agricultural and food innovations. 2025. No 1 (29). Pp. 63-73.
11. Grigoryan L. N. et al. Dynamics of the development of fine-fleeced sheep breeding in different areas of productivity in the Russian Federation. Zootechny. 2025. No 9. Pp. 20-25.
12. Vlasenko M. V., Kulik A. K. Changes in the yield of plant communities with the participation of Agropyron cristatum in the Ilovinsky sand massif under the influence of weather conditions. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2025. No. 1 (79). Pp. 85-100.

Информация об авторах

Квашнина Мария Александровна, старший научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5465-6906>; e-mail: ma.kvashnina@yandex.ru

Мерзлякова Анастасия Витальевна, младший научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7256-9460>; e-mail: zootexniki@yandex.ru

Пonomarev Виктор Владимирович, старший научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8980-2429>, e-mail: niimmp@mail.ru

Горлов Иван Федорович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8683-8159>, e-mail: niimmp@mail.ru

Authors' Information

Kvashnina Maria Aleksandrovna, Senior Researcher, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-And-Milk Production (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky str., 6), ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5465-6906>; e-mail: ma.kvashnina@yandex.ru

Merzlyakova Anastasia Vitalievna, Young Researcher, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-And-Milk Production (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky str., 6), ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7256-9460>; e-mail: zootexniki@yandex.ru

Ponomarev Viktor Vladimirovich, Senior Researcher, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-And-Milk Production (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky str., 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8980-2429>, e-mail: niimmp@mail.ru

Gorlov Ivan Fedorovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-And-Milk Production (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky str., 6), Head of the Department, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8683-8159>, e-mail: niimmp@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-43

THE EFFECTIVENESS OF THE "OXYPROTECT" DRUG IN THE SUPEROVULATION SCHEME OF DONOR COWS

Gorbacheva Y. A., Kuzminova E. V., Kopylov D. V.

*Krasnodar Scientific Center for Animal Husbandry and Veterinary Medicine
Krasnodar, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: yuliagorbacheva15@gmail.com

Received 19.09.2025

Submitted 03.12.2025

Abstract

Introduction. In order to improve the reproductive performance of cattle, the method of inducing superovulation for the donor and the path of embryo transplantation from the donor to the recipient are widely used both in Russia and abroad. The biotechnological method has been developed quite fully, however, due to

the lack of a reliable prognosis of efficiency, low fertilization of eggs, possible developmental disorders after fertilization and a high percentage of embryo deaths, further work is needed to improve the schemes of superovulation induction, improve the optimal yield of high-quality eggs and healthy embryos. Thus, the prepared materials presented in the article have a justified relevance and significance. **Materials and methods.** The research work included improving the superovulation scheme by introducing the new vitamin-mineral preparation "Oxyprotect" into the hormonal scheme for donor cows, studying its effect on the growth and development of ovarian follicles, the development of the corpus luteum and determining the quantity and quality of embryos. **Results and conclusions.** As a result of the work performed, it was established that a positive result was achieved in the experimental and control groups for the hormonal treatment of donor cows. However, induction of superovulation with the "Pluset" preparation in combination with the vitamin and mineral preparation "Oxyprotect", developed in the Pharmacology Department of the KSCZV Federal State Budgetary Scientific Institution, gave a more effective result in relation to the development of follicles, corpus luteum and obtaining viable embryos ready for transplantation. The number of ovarian follicles and the total number of ovulations in the experimental group was significantly higher than in the control. The total number of washed embryos in the experimental group was 30.7 % higher than in the control. A positive effect was also recorded in relation to the number of embryos suitable for transplantation: 29.6 % more in the experimental group than in the control. The total number of degenerated embryos in the control group was 18 and unfertilized eggs – 7, while in the experimental group their number was 8 and 1 less. Based on the results obtained, it can be concluded that the experience of using the drug "Oxyprotect" together with hormonal drugs in the superovulation scheme was positive, since due to its components included in its composition and aimed at protective, antioxidant, metabolic action, the growth and development of follicles is improved, timely ovulation is recorded and the quality of embryos is increased.

Keywords: dairy farming development, dairy cows, donor cows, cow superovulation, dairy cow productivity.

Citation. Gorbacheva Y. A., Kuzminova E. V., Kopylov D. V. The effectiveness of the "Oxyprotect" drug in the superovulation scheme of donor cows. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 411-418 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-43.

Authors' contribution. The authors of this study were directly involved in the planning, execution, and analysis of this study.

Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 619:615.4+619:618.2:636.2

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕПАРАТА «ОКСИПРОТЕКТ» В СХЕМЕ СУПЕРОВУЛЯЦИИ У КОРОВ-ДОНОРОВ

Горбачева Ю. А., младший научный сотрудник
Кузьмина Е. В., доктор ветеринарных наук, главный научный сотрудник
Копылов Д. В., аспирант

ФГБНУ «Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии»
г. Краснодар, Российская Федерация

Актуальность. С целью улучшения репродуктивных показателей крупного рогатого скота широко используется как в России, так и за рубежом метод индукции суперовуляции для донора и путь эмбриотрансплантации от донора к реципиенту. Биотехнологические методы достаточно широко внедрены, однако в связи с отсутствием надежного прогноза эффективности, низкой оплодотворяемости яйцеклеток, возможными нарушениями развития после оплодотворения и высоким процентом гибели зародышей необходима дальнейшая работа в направлении усовершенствования схем индукции суперовуляции, улучшения оптимального выхода качественных яйцеклеток и полноценных зародышей. Таким образом, подготовленные материалы, представленные в статье, несут в себе обоснованную актуальность и значимость. **Материалы и методы.** Исследовательская работа включала в себя усовершенствование схемы суперовуляции путем внедрения нового витаминно-минерального препарата «Оксипротект» в гормональную схему для коров-доноров, изучение его влияния на рост и развитие фолликулов яичников, формирование желтого тела и определение количества и качества эмбрионов. **Результаты и выводы.** По итогу проделанной работы установлено, что в опытной и контрольной группах был достигнут положительный результат на гормональную обработку коров-доноров. Однако, индукция суперовуляции препаратом «Плюсет» в сочетании с витаминно-минеральным препаратом «Оксипротект», разработанным в отделе фармакологии ФГБНУ КНЦЗВ, показала более эффективный результат в отношении развития фолликулов, желтого тела и получения жизнеспособных и готовых к пересадке эмбрионов. Количество фолликулов яичников и общее число овуляций в опытной группе было значительно выше, чем в контрольной. Общее количество вымытых эмбрионов в опытной группе по сравнению с контрольной увеличилось на 30,7 %. Положительный эффект зафиксирован и в отношении числа пригодных для трансплантации эмбрионов, количество которых в опытной группе было на 29,6 % больше чем в контрольной. Общее число в контрольной группе дегенерированных эмбрионов составило 18 и неоплодотворенных яйцеклеток

– 7, а в опытной группе их количество было меньше на 8 и 1 соответственно. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о положительном опыте применения препарата «Оксипротект» совместно с гормональными препаратами в схеме суперовуляции, так как за счет своих компонентов, входящих в его состав и проявляющих протекторное, антиоксидантное, метаболическое действие улучшается рост и развитие фолликулов, регистрируется своевременная овуляция и повышается качество эмбрионов.

Ключевые слова: развитие молочного животноводства, молочные коровы, коровы-доноры, суперовуляция коров, продуктивность молочных коров.

Цитирование. Горбачева Ю. А., Кузьмина Е. В., Копылов Д. В. Эффективность применения препарата «Оксипротект» в схеме суперовуляции у коров-доноров. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 411-418. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-43.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В настоящее время современный этап развития молочного животноводства во всем мире характеризуется прогрессивным увеличением молочной продуктивности, однако в России показатели воспроизводства крупного рогатого скота остаются на низком уровне. Известно, что высокая молочная продуктивность коров негативно влияет на их репродуктивную функцию. Некоторые исследователи отмечают корреляцию: по мере увеличения молочной продуктивности показатель оплодотворяемости снижается, а сервис-период увеличивается, что уменьшает возможность получения телёнка от коровы в течение календарного года [1, 2, 3, 4].

На сегодняшний день, биотехнология воспроизводства животных является главным показателем в производстве молока и молокопродукции, обеспечивая постоянное наращивание поголовья скота. Известные методы биотехнологии должны применяться для повышения эффективности разведения сельскохозяйственных животных, сохранения генетических ресурсов животных, улучшения качества продукции [5]. К различным современным биотехнологическим приемам воспроизводства крупного рогатого скота относятся – искусственное осеменение, суперовуляция и перенос эмбрионов, обработка ооцитов и производство эмбрионов *in vitro*, репродуктивное клонирование и другие технологии [6].

Эмбриотрансплантация от высокопродуктивных коров-доноров молочной направленности к коровам-реципиентам менее ценным в молочном отношении является оптимальным способом, с помощью которого достигается обновление генетического материала в стаде. При этом, в результате проделанной работы, в кратчайшие сроки в хозяйстве рождается значительное количество телят, унаследовавших качественные племенные и продуктивные параметры. В настоящее время разработаны различные вспомогательные репродуктивные методы для получения большого количества потомства от генетически более совершенных животных или получения потомства от бесплодных (или субфертильных) животных. Развитие репродуктивных технологий, таких как синхронизация эструса, суперовуляция, безоперационный сбор эмбрионов, перенос эмбрионов, криоконсервация эмбрионов, получение эмбрионов *in vitro*, позволяют получить животных с высоким уровнем генетического потенциала [7, 8].

Для получения наивысшего результата главными условиями при осуществлении гормональной обработки коров-доноров считаются верная дозировка гормональных препаратов на животное, точный срок введения, который напрямую зависит от физиологии коровы-донора, кратность и место введения инъекции.

На сегодняшний день даже при использовании таких популярных гормональных препаратов как ФСГ-супер, Плюснет, Фоллигон выход пригодных для пересадки эмбрионов составляет 4,7 шт., что составляет в среднем 47 % от общего извлеченного числа эмбрионов. В связи с этим возникает острая потребность увеличить процент выхода зародышей хорошего качества, при этом, не меняя препарат для индукции суперовуляции. Урегулирование вопроса улучшения качества эмбрионов зависит от сложной системы секреции метаболических, репродуктивных гормонов, защитных сил организма, и внедрения современных приемов индукции цикличности и оплодотворяемости коров. К таким приемам относится применение полифункциональных препаратов, фармакологическое действие которых направлено на повышение выхода пригодных для пересадки эмбрионов крупного рогатого скота.

Целью данного исследования стало изучение влияния препарата «Оксипротект», включенного в схему суперовуляции коров-доноров на динамику роста и развития фолликулов яичника, желтого тела и определение количества пригодных для пересадки эмбрионов.

Материалы и методы. Объектом исследования является полифункциональный препарат «Оксипротект», разработанный в отделе фармакологии ФГБНУ КНЦЗВ. Действующие вещества, входящие в состав препарата «Оксипротект» представлены витаминами, минералами, аминокислотами, флавоноидами и антиоксидантами. Препарат находится в стадии клинических исследований.

В данной работе исследование проведено на племенных высокопродуктивных коровах голштинской породы, содержащихся в Краснодарском крае, Усть-Лабинского района, возрастом 3-5 лет, массой 500-550 кг со среднегодовой молочной продуктивностью 7000-8500 кг.

Животных разделили на 2 группы по 20 голов в каждой. Все животные получали одинаковый основной рацион, разработанный с учетом потребности в питательных веществах коров при лактации 26 кг/сутки. Все подготовленные коровы, участвовавшие в опыте, на момент начала проведения исследования были проверены с целью исключения патологий репродуктивных органов и определения стадии развития фолликулов и находились с обнуленным половым циклом.

Перед гормональной обработкой коров-доноров в опытной группе на нулевой день полового цикла был инъецирован препарат «Оксипротект» – внутримышечно однократно в дозе 25 мл на голову. В качестве гормонального препарата для индукции суперовуляции у коров-доноров был использован препарат «Плюсет». В одном флаконе препарата «Плюсет» содержится 500 МЕ фолликулостимулирующего гормона (ФСГ) и 500 МЕ лютеинизирующего гормона (ЛГ), получаемых из гипофиза свиней с растворителем. Растворитель в 1 мл содержит 1 мг хлорокрезола и стерильный апиогенный физиологический раствор до 1 мл. Производитель «Лабораторьос Кальер С. А.» («Laboratorios Calier, S. A.»), Испания. В качестве простагландина (PGF_{2α}) внутримышечно вводили препарат «Клостровет», действующим веществом которого является клопростенол натрия – 0,25 мг и вспомогательные вещества: лимонная кислота, хлорокризол, гидроксид натрия, и вода для инъекций. Производитель ОАО «БелВитунифарм», Республика Беларусь.

Для индукции суперовуляции коровам опытной и контрольной групп вводили препарат «Плюсет», начиная с 11 дня полового цикла, внутримышечно в дозе 150 МЕ с соблюдением правил асептики и антисептики 2 раза в сутки с интервалом 12 часов в понижающейся дозе в сочетании с «Клостроветом», согласно приведенной ниже схеме (таблица 1).

В опытной группе животным на 13 день вводили препарат «Оксипротект» – внутримышечно однократно в дозе 25 мл. На 17 день пришедших в охоту животных утром и вечером с разницей в 12 часов и на 18 день утром искусственно осеменяли сексированным семенем, где в каждой спермодозе находилось не менее 50 млн активных спермиев. «Оксипротект» разработан в отделе фармакологии ФГБНУ КНЦЗВ, в его состав входят компоненты, относящиеся к группам: витамины, минералы, метаболиты, аминокислоты.

За 2 дня до вымывания эмбрионов в опытной группе животным вводили препарат «Оксипротект» – внутримышечно однократно в дозе 25 мл. Вечером, на 7 день после первого искусственного осеменения, осуществляли извлечение эмбрионов нехирургическим методом с помощью силиконового двуканального катетера, содержащего в себе трубку, на конце которого расположен надувной баллончик для крепкой фиксации в роге матки, а также 8 отверстий, которые обеспечивают введение среды для вымывания эмбрионов и ооцитов в рог матки.

Наличие фолликулов и желтого тела подтверждается снимками с УЗИ-аппарата, исследование проводилось при помощи портативного ультразвукового сканера для скота Duo-Scan: Go Plus.

Полученные лабораторные данные были подвергнуты статистической обработке с помощью программного пакета Statistica 10.0 с определением: М – среднее арифметическое; m – ошибка среднего арифметического; уровень достоверности различий показателей по группам.

Таблица 1 – Гормональные схемы стимуляции суперовуляции у коров-доноров (n=20)
Table 1 – Hormonal schemes for stimulating superovulation in donor cows (n=20)

День поло- вого цикла / Day of the sexual cycle	Время введения / Time of introduction	Плюсет (ФСГ 500 МЕ и ЛГ 500 МЕ), в/м, курс на 1 голову 10 инъекций / Pluset (FSH 500 IU and LH 500 IU), intramuscularly, course for 1 animal 10 injections	
		Опытная / Experimental	Контрольная / Control
0	07:00 / 7 am	Оксипротект, в/м, 25 мл / Oxyprotect, intramuscularly 25 ml	–
11	07:00 / 7 am	150 ME / 150 IU	150 ME/150 IU
	19:00 / 7 pm	150 ME / 150 IU	150 ME/150 IU
12	07:00 / 7 am	125 ME / 125 IU	125 ME/125 IU
	19:00 / 7 pm	125 ME / 125 IU	125 ME/125 IU
13	07:00 / 7 am	100 ME / 100 IU	100 ME/100 IU
	19:00 / 7 pm	100 ME + Клостровет, в/м, 2 мл + Оксипротект, в/м, 25 мл/100 IU + Klostrovvet, intramuscularly, 2 ml + Oxyprotect, intramuscularly, 25 ml	100 ME + Клостровет, в/м, 2 мл/ 100 IU + Klostrovvet, intramuscularly, 2 ml
14	07:00 / 7 am	75 ME/ 75 IU	75 ME/ 75 IU
	19:00 / 7 pm	75 ME/ 75 IU	75 ME/ 75 IU
15	07:00 / 7 am	50 ME/ 50 IU	50 ME/ 50 IU
	19:00 / 7 pm	50 ME/ 50 IU	50 ME/ 50 IU
17	07:00 / 7 am	Первое искусственное осеменение / First artificial insemination	Первое искусственное осеменение / First artificial insemination
	19:00 / 7 pm	Второе искусственное осеменение / Second artificial insemination	Второе искусственное осеменение / Second artificial insemination
18	07:00 / 7 am	Третье искусственное осеменение / Third artificial insemination	Третье искусственное осеменение / Third artificial insemination
22	07:00 / 7 am	Оксипротект, в/м, 25 мл / Oxyprotect, intramuscularly 25 ml	–
24	17:00 / 5 pm	Вымывание эмбрионов / Embryo washing	Вымывание эмбрионов / Embryo washing

Результаты и обсуждение. В результате проведенных исследований установлено, что в опытной группе отсутствовала ответная реакция яичников на гормональную обработку у одной коровы (5 %), в контрольной группе у двух коров (10 %), в связи с чем животные были исключены из исследования. Возможные провоцирующие факторы для потенциальной коровы-донора, при которых не достигнута в опыте положительная ответная реакция со стороны яичников (индивидуальные особенности, стресс, внутренние незаразные заболевания) на начальном этапе опыта сложно выявить.

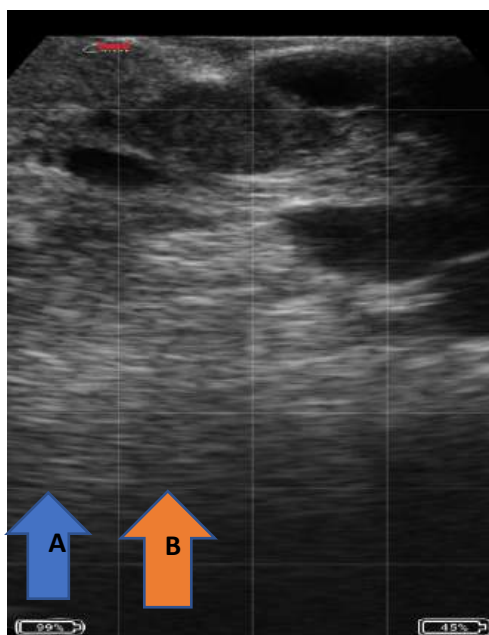


Рисунок 1 – Фолликул (А) и желтое тело коровы-донора (В)
Figure 1 – Follicle (A) and corpus luteum of donor cow (B)

Внедрение в традиционную схему полиовуляции препарата «Оксипротект» обеспечило преимущество в росте и развитии фолликулов и желтого тела у коров-доноров по сравнению с препаратами, используемыми по утвержденной схеме в хозяйстве на постоянной основе (рисунок 1).

Общее количество вымытых эмбрионов в опытной группе составило – 138 шт., что на 17 шт. больше, чем в контрольной. Также общее количество жизнеспособных эмбрионов в опытной группе было больше, чем в контрольной – на 14 шт. Общее количество в опытной группе дегенерированных эмбрионов составило 10 шт. и неоплодотворенных яйцеклеток – 6 шт., в контрольной – 18 шт. и 7 шт. соответственно.

Жизнеспособные эмбрионы подверглись криоконсервации в условиях хозяйства с целью дальнейшей эффективной подсадки коровам-реципиентам. Несколько жизнеспособных для подсадки зародышей с наилучшим уровнем качества были подсажены тем животным-реципиентам, ранее гормонально обработанным по схеме синхронизации «ДаблОвсинх», представляющей собой 27-дневную схему, утвержденную на данном предприятии. Показатели эмбриопродуктивности в опытной и контрольной группах представлены в таблице (таблица 2).

Таблица 2 – Показатели эмбриопродуктивности в группах
Table 2 – Embryo productivity indicators in groups

Показатель / Indicator	Группа / Group	
	Опытная / Experimental	Контрольная / Control
Гормональная обработка коров-доноров, гол / Hormonal treatment of donor cows, cows	20	20
Численность гормонально прореагировавших, гол. / Number of hormonally responsive individuals, cows	19	18
Количество фолликулов на донора, шт. / Number of follicles per donor, pieces	10,26±0,43	9,17±0,44
Количество желтых тел (число овуляций) на донора, шт. / Number of corpora lutea (number of ovulations) per donor, pieces	7,37±0,28*	5,33±0,17
Количество извлеченных эмбрионов всего, шт. / Total number of embryos extracted, pieces	138	121
Количество пригодных к пересадке эмбрионов всего, шт. / Total number of embryos suitable for transplantation, pieces	102	88
Количество дегенерированных эмбрионов всего, шт. / Number of degenerated embryos in total, pieces	10	18
Количество неоплодотворённых яйцеклеток всего, шт. / Total number of unfertilized eggs, pieces	6	7

Примечание: различия достоверны * $p \leq 0,05$ по отношению к контролю
Note: the differences are significant * $p < 0.05$ relative to the control

Таким образом, применение «Оксипротекта» коровам-донорам по предложенной схеме свидетельствует не только о плодотворном росте и развитии фолликулов и желтых тел яичника, но и о количестве качественных, пригодных к пересадке эмбрионов. Также было отмечено снижение количества дегенерированных зародышей и неоплодотворенных яйцеклеток, что является положительным звеном в цепи современных приемов индукции суперовуляции и эмбриотрансплантации в животноводстве.

Основой методологии постановки исследования и выполнения задач послужили научные положения зарубежных авторов, разработанные инновационные технологии в процессе трансплантации. В программе индукции суперовуляции используются несколько приемов, где в схемах применяются ряд биологически активных веществ, рассмотренных Arega H. (2019) и Sammad A. (2022) [9, 10]. Авторы заявили, что ряд биологически активных веществ, витаминов, провитаминов, микроэлементов, аминокислот, поступающие с кормом, улучшают суперовуляторную реакцию доноров эмбрионов и выход эмбрионов. Несмотря на то, что микроэлементы присутствуют в организме в относительно небольших количествах и содержатся в небольших количествах в кормах, они играют важную роль в воспроизводстве млекопитающих, включая фолликулогенез яичников и развитие эмбрионов. Так, у мясных коров, прошедших гормональную схему суперовуляции и получавших витамин А, наблюдалось увеличение количества жизнеспособных эмбрионов, в первую

очередь, за счет увеличения производства бластоцисты. Авторы предположили, что это может быть связано с антиоксидантной клеточной активностью и способствует равновесию между окислительными агентами и антиоксидантной системой, что приводит к улучшению качества эмбрионов.

Заключение. Ответная реакция яичников коров-доноров на введение гормонов зависит от различных факторов, в том числе от схемы гормональной обработки. Полученные в ходе исследования результаты свидетельствуют о том, что коровы-доноры голштинской породы реагируют на гормональную обработку. Индукция суперовуляции препаратом «Плюсет» в сочетании с «Оксипротектом» даёт надежный результат в отношении роста фолликулов и получения жизнеспособных, высококачественных и пригодных к пересадке эмбрионов. Данные исследования также свидетельствуют о том, что усовершенствованная схема индукции суперовуляции дает возможность охватывать зону интереса и в дальнейшем работать с гораздо большим количеством качественного донорского биоматериала, уменьшая при этом количество дегенерированных эмбрионов и неоплодотворенных яйцеклеток.

В связи с вышеизложенным, сочетание «Оксипротекта» в схеме индукции суперовуляции может быть рекомендовано для повышения качества эмбрионов и практического применения на предприятиях, занимающихся содержанием и разведением крупного рогатого скота с применением вспомогательных репродуктивных технологий.

Conclusions. The response of donor cows' ovaries to hormone administration depends on various factors, including the hormonal treatment regimen. The results obtained during the study indicate that Holstein donor cows respond to hormonal treatment. Superovulation induction with "Pluset" in combination with "Oxyprotect" gives a reliable result in terms of follicle growth and obtaining viable, high-quality embryos suitable for transplantation. The study data also indicate that the improved superovulation induction regimen makes it possible to cover the area of interest and subsequently work with a much larger amount of high-quality donor biomaterial, while reducing the number of degenerated embryos and unfertilized eggs. In connection with the above, the combination of "Oxyprotect" in the scheme of induction of superovulation can be recommended for improving the quality of embryos and practical application in enterprises engaged in the maintenance and breeding of cattle using assisted reproductive technologies.

Библиографический список

1. Алиев А. Ю. Совершенствование акушерско-гинекологической диспансеризации коров в условиях интенсивного молочного скотоводства. Ветеринария Кубани. 2022. № 6. С. 3-6.
2. Жерносенко А. А. Сравнительная эффективность гормональных препаратов разных производителей для синхронизации половой охоты у коров. Ветеринария. 2024. № 7. С. 35-37.
3. Горлов П. Ф. Экономические перспективы использования биотехнологий в животноводстве. Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 5. С. 57-60.
4. Щербак О. В. Криоконсервация эмбрионов как метод сохранения генофонда белоголовой украинской породы крупного рогатого скота. Молочное и мясное скотоводство. 2017. № 2. С. 21-23.
5. Bó G. A. Pursuit of a method for single administration of pFSH for superstimulation in cattle: What we have learned. Theriogenology. 2018. V. 112. Pp. 26-33.
6. Leibo S. P. Cryopreservation of mammalian embryos: Derivation of a method. Cryobiology. 2019. Vol. 4. P. 86.
7. Mikkola M. Factors affecting embryo production in superovulated Bos taurus cattle. Reprod. Fertil. Dev. 2019. Vol. 32. № 2. Pp. 104-124.
8. Ciornei S. et al. Poliovulatory response and embryo recovery rate in beef sheep in Romania, as a possibility for genetic development – a case report. Animal Reproduction. 2020. V. 17. № 3. P. 10.
9. Arega H. Review on Growth and Development of Multiple Ovulation and Embryo Transfer Technology in Cattle. World Sci. news. 2019. Vol. 127. № 3. Pp. 191-211.
10. Sammad A. Major Nutritional Metabolic Alterations Influencing the Reproductive System of Postpartum Dairy Cows. Metabolites. 2022. № 1. P. 6.

References

1. Aliev A. Yu. Improving Obstetric and Gynecological Clinical Examination of Cows in Intensive Dairy Farming. Veterinary Science of Kuban. 2022. № 6. Pp. 3-6.
2. Zhernosenko A. A. Comparative Efficacy of Hormonal Drugs from Different Manufacturers for Synchronizing Estrus in Cows. Veterinary Science. 2024. № 7. Pp. 35-37.
3. Gorlov P. F. Economic Prospects for the Use of Biotechnology in Animal Husbandry. Bulletin of the Russian Agricultural Science. 2019. № 5. Pp. 57-60.
4. Shcherbak O. V. Cryopreservation of Embryos as a Method for Preserving the Gene Pool of the White-Headed Ukrainian Cattle Breed. Dairy and Beef Cattle Breeding. 2017. № 2. Pp. 21-23.
5. Bó G. A. Pursuit of a method for single administration of pFSH for superstimulation in cattle: What we have learned. Theriogenology. 2018. Vol. 112. Pp. 26-33.
6. Leibo S. P. Cryopreservation of mammalian embryos: Derivation of a method. Cryobiology. 2019. Vol. 4. P. 86.
7. Mikkola, M. Factors affecting embryo production in superovulated Bos taurus cattle. Reprod. Fertil. Dev. 2019. V. 32. No 2. Pp. 104-124.
8. Ciornei S. et al. Poliovulatory response and embryo recovery rate in beef sheep in Romania, as a possibility for genetic development – a case report. Animal Reproduction. 2020. V. 17. № 3. P. 10.

9. Arega H. Review on Growth and Development of Multiple Ovulation and Embryo Transfer Technology in Cattle. World Sci. news. 2019. Vol. 127. №. 3. Pp. 191-211.

10. Sammad A. Major Nutritional Metabolic Alterations Influencing the Reproductive System of Postpartum Dairy Cows. Metabolites. 2022. № 1. P. 6.

Информация об авторах

Горбачева Юлия Александровна, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии» (Российская Федерация, 350004, г. Краснодар ул. 1-я Линия), ORCID: 0009-0000-2106-7915, e-mail: yuliagorbacheva15@gmail.com

Кузьминова Елена Васильевна, доктор ветеринарных наук, доцент, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии» (Российская Федерация, 350004, г. Краснодар ул. 1-я Линия, ORCID: 0000-0003-4744-0823, e-mail: niva1430@mail.ru

Копылов Данила Вячеславович, аспирант, ФГБНУ «Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии» (Российская Федерация, 350004, г. Краснодар ул. 1-я Линия, ORCID: 0009-0000-2106-7915, e-mail: yuliagorbacheva15@gmail.com

Authors' Information

Gorbacheva Yulia Aleksandrovna, Junior Research Fellow, Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Medicine (Russian Federation, 350004, Krasnodar, 1st Line Str.), ORCID: 0009-0000-2106-7915, e-mail: yuliagorbacheva15@gmail.com

Kuzminova Elena Vasilyevna, Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor, Chief Researcher of the Pharmacology Department of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Medicine» (Russian Federation, 350004, Krasnodar, 1st Line Str.), ORCID: 0000-0003-4744-082, e-mail: niva1430@mail.ru

Kopylov Danila Vyacheslavovich, postgraduate student, Federal State Budgetary Scientific Institution «Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Medicine» (Russian Federation, 350004, Krasnodar, 1st Line Str.), ORCID: 0009-0006-8789-0641, e-mail: yuliagorbacheva15@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-44

THE USE OF RAPESEED CAKE AND BISCHOFITE IN THE HEIFERS CULTIVATION

**Varakin N. A., Zlepkin V. A., Stepurina M. A., Ryadnov A. A., Varakin A. T.,
Salomatin V. V., Vorontsova E. S.**

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: varakinat58@mail.ru

Received 11.01.2026

Submitted 03.02.2026

Abstract

Introduction. To achieve the planned productivity in animal husbandry the level of protein content in the feed and its amino acid composition have a significant impact. In this regard, great importance in scientific research is given to the exploration and implementation into practice effective high-protein feed products, contributing to increased efficiency in rearing replacement young stock in dairy cattle farming, which is very important and relevant. **Materials and methods.** The scientific and economic experiment was carried out on replacement heifers of the milk period of rearing, with the formation of three groups of experimental animals of the Holstein breed fifteen heads each. The peculiarities of feeding the calves were that the control group received compound feed as part of the main diet, which, along with other components, included flaxseed cake – 21.17 % by weight, and the 1st experimental group - the same compound feed was included in the OR, when replacing 50 % of flaxseed cake by weight with erucic acid-free, low-glucosinolate 00-type rapeseed cake, and the 2nd experimental group received a similar diet as in the 1st experimental group, only with the addition of Volgograd bischofite. **Results and conclusion.** When replacing 50 % of flaxseed cake by weight in the compound feed with erucic-free, low-glucosinolate 00-type rapeseed cake separately and with the addition of Volgograd bischofite, heifers from the experimental groups showed an advantage in the nutritional value of the average daily ration, compared to control according to the content of SP, PP, SK and SZ, and the use of the tested rapeseed cake allows for an increase in the content of degradable protein in the diet. Additional benefits of the above-mentioned rapeseed cake: its introduction into the composition of compound feed, instead of the specified portion of flaxseed cake, improves the quality of protein in terms of lysine, methionine+cystine and tryptophan content. Research has revealed that the above-mentioned advantages are in favor of the tested rapeseed cake separately and with the addition of bischofite allowed to increase the weight gain of calves during the milk growing period. Application of developed technological innovations contributes to improving the economic efficiency of raising replacement heifers.

Keywords: young cattle, feeding of young cattle, rations of young cattle, heifers, high-protein feed additives, feed protein.

Citation. Varakin N. A., Zlepkin V. A., Stepurina M. A., Ryadnov A. A., Varakin A. T., Salomatin V. V., Vorontsova E. S. The use of rapeseed cake and bischofite in the heifers cultivation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1 (85). 418-427 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-44.

Authors' contribution. All authors of the study were directly involved in the planning, conducting or analyzing this work. The authors of this article are familiar with the submitted final version and approved it.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 636.2.034.087.26

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАПСОВОГО ЖМЫХА И БИШОФИТА
ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ РЕМОНТНЫХ ТЁЛОК****Варакин Н. А., аспирант****Злепкин В. А., доктор сельскохозяйственных наук, доцент****Степурина М. А., кандидат сельскохозяйственных наук****Ряднов А. А., доктор биологических наук, профессор****Варакин А. Т., доктор сельскохозяйственных наук, профессор****Саломатин В. В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор****Воронцова Е. С., кандидат биологических наук**ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. На достижение запланированной продуктивности в животноводстве значительно влияет уровень содержания протеина в корме и его показатели аминокислотного состава. В связи с этим, большое значение в научных исследованиях придается изысканию и внедрению в практику эффективных высокобелковых кормовых средств, способствующих повышению эффективности выращивания ремонтного молодняка в молочном скотоводстве, что весьма важно и актуально.

Материалы и методы. Научно-хозяйственный опыт провели на ремонтных тёлках молочного периода выращивания, с формированием трёх групп подопытных животных голштинской породы по пятнадцать голов в каждой. Особенности кормления телят состояли в том, что контрольная группа получала в составе основного рациона комбикорм, который наряду с другими компонентами, включал льняной жмых – 21,17 % по массе. Первая опытная группа получала в составе основного рациона такой же комбикорм, при замене 50 % жмыха льняного по массе на жмых рапсовый безэруковый, низкоглюкозинолатный 00-типа сортов. Вторая опытная группа получала аналогичный рацион как в первой опытной группе, только с добавкой волгоградского бишофита.

Результаты и выводы. При замене в составе комбикорма в части 50 % льняного жмыха по массе на жмых рапсовый безэруковый, низкоглюкозинолатный 00-типа сортов отдельно и с добавкой волгоградского бишофита, у тёлочек опытных групп установлено преимущество в питательности среднего суточного рациона, сравнительно с контролем, по содержанию СП, ПП, СК и СЖ, а также использование испытываемого рапсового жмыха позволяет увеличить содержание в рационе расщепляемого протеина. Дополнительные преимущества выше названного жмыха рапсового: его введение в состав комбикорма, вместо указанной части жмыха льняного, улучшает качество протеина по содержанию лизина, метионина + цистина и триптофана. Исследованиями выявлено, что выше перечисленные преимущества в пользу испытываемого рапсового жмыха отдельно и с добавкой бишофита позволили увеличить весовой рост телят молочного периода выращивания. Применение разработанных технологических инноваций способствует улучшению экономической эффективности выращивания ремонтных тёлочек.

Ключевые слова: молодняк КРС, кормление молодняка КРС, рационы молодняка КРС, ремонтные тёлки, высокобелковые кормовые добавки, кормовой белок.

Цитирование. Варакин Н. А., Злепкин В. А., Степурина М. А., Ряднов А. А., Варакин А. Т., Саломатин В. В., Воронцова Е. С. Использование рапсового жмыха и бишофита при выращивании ремонтных тёлочек. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 418-427. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-44.

Авторский вклад. Все авторы проведённого исследования принимали непосредственное участие в планировании, проведении или анализе данной работы. Авторы настоящей статьи ознакомлены с представленным окончательным её вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Все авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Велико значение биологической полноценности потребляемых рационов для формирования продуктивных качеств сельскохозяйственных животных разных видов и половозрастных групп [1-8] и влияния на их физиологическое состояние [9].

При этом на достижение запланированной продуктивности в животноводстве значительно влияет уровень содержания протеина в корме и его показатели аминокислотного состава. С учётом выше изложенного большое значение в научных исследованиях придается изысканию и внедрению в практику эффективных высокобелковых кормовых средств. Так, проведены исследовательские работы и получены положительные результаты использования в рационах рыжикового жмыха [10-13].

Высокопродуктивный крупный рогатый скот, в частности телята молочного периода выращивания, очень требователен к протеиновой и аминокислотной питательности корма. Поэтому использование в кормлении жмыхов масличных культур, отличающихся высоким содержанием протеина и энергии, и их введение в состав рационов позволяет повысить продуктивность животных и экономические показатели производства, что имеет научное и практическое значение.

Исследователями установлено, что использование в составе комбикорма для телят жмыха рапсового беззерукового, низкоглюкозинолатных сортов оказывает положительное влияние на запланированную продуктивность выращиваемого молодняка [14, 15].

Экспериментальным путём также было выявлено [16]: скармливание испытуемых кормов – льняного и рапсового жмыхов в составе рационов молочных коров, имеющих высокую продуктивность, способствует расширению ассортимента перспективных кормовых средств и повышению питательной ценности рационов, увеличению надоев молока и улучшению его качества. Данный технологический приём показал экономическую целесообразность с несколько более высоким результатом при использовании рапсового жмыха. Следовательно, в технологии производства молока для кормления высокопродуктивных коров, наряду с льняным жмыхом, эффективно вводить рапсовый жмых.

Вместе с этим важным является проведение исследований продуктивных показателей ремонтного молодняка при включении в рационы льняного и рапсового жмыхов для повышения эффективности ведения молочного скотоводства.

Необходимо отметить важность и актуальность обеспечения рекомендуемой минеральной питательности рационов в животноводстве [17, 18].

Исследованиями также установлено положительное влияние использования в качестве комплексной кормовой добавки – природного волгоградского бишофита для улучшения минеральной обеспеченности рациона, прежде всего для компенсации недостатка жизненно необходимого макроэлемента – магния, что благоприятно влияет на повышение продуктивных качеств и эффективности производства в молочном скотоводстве [19].

Поэтому цель наших исследований – изучение питательной ценности рационов при использовании вместо части льняного жмыха в их составе рапсового жмыха беззерукового, низкоглюкозинолатных сортов отдельно и в сочетании с волгоградским бишофитом, при этом оцениваются весовые приросты ремонтных тёлочек молочного периода выращивания и физиологические показатели.

Материалы и методы. Намеченная цель была достигнута путём проведения научно-исследовательской работы на сельскохозяйственном предприятии в ПХ АО «Труд» Ленинградской области.

Научно-хозяйственный опыт организовали на телятах молочного периода выращивания. Для этого сформировали группы подопытных тёлочек голштинской породы, с включением в каждую группу по пятнадцать животных, а формирование групп телят выполнили по принципу пар-аналогов.

Исследования на ремонтном молодняке сравниваемых групп в научно-хозяйственном опыте проведены по схеме, представленной в таблице 1.

Таблица 1 – Схема научно-хозяйственного опыта
Table 1 – Scheme of scientific and economic experience

Период / Period	Группа / Group	Количество, голов / Amount, heads	Продолжительность, дни / Duration, days	Особенности кормления / Features feeding
1	2	3	4	5
Предварительный (уравнивательный) / Preliminary (equalizing)	Контрольная, 1-я опытная, 2-я опытная / Control, 1st experimental, 2nd experimental	45	10	Основной рацион (ОР) при включении комбикорма с льняным жмыхом / Basic diet (BD) when adding compound feed with flaxseed meal
Переходный / Transition	Контрольная / Control	15	5	ОР при включении комбикорма с льняным жмыхом / BD when adding compound feed with flaxseed meal
	1-я опытная / 1st experimental	15	5	ОР при включении комбикорма с льняным жмыхом – 50 % и рапсовым жмыхом – 50 % – приучение / BD when including feed with flaxseed meal – 50 % and rapeseed meal – 50 % – training

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
	2-я опытная / 2nd experimental	15	5	ОР при включении комби- корма с льняным жмыхом – 50 % и рапсовым жмыхом – 50 % с добавкой бишофита – приучение / BD when including compound feed with flaxseed meal – 50 % and rapeseed meal – 50 % with the addition of bischofite – weaning
Главный (учёт- ный) / Chief (ac- counting)	Контрольная / Control	15	123	ОР при включении комби- корма с льняным жмыхом / BD when adding compound feed with flaxseed cake
	1-я опытная / 1st experimental	15	123	ОР при включении комби- корма с льняным жмыхом – 50 % и рапсовым жмыхом – 50 % / BD when including compound feed with flaxseed cake – 50% and rapeseed cake – 50%
	2-я опытная / 2nd experimental	15	123	ОР при включении комби- корма с льняным жмыхом – 50 % и рапсовым жмыхом – 50 % с добавкой бишофита / BD when including compound feed with flaxseed cake – 50 % and rapeseed cake – 50 % with the addition of bischofite
Заключительный / Final	Контрольная, 1-я опытная, 2-я опытная / Control, 1st experimental, 2nd experimental	45	31	ОР при включении комби- корма с льняным жмыхом / BD when adding compound feed with flaxseed cake

Рационы подопытным тёлкам разработали с достижением средних суточных приростов живой массы 800-900 г по нормам кормления РАСХН, а учитывая возраст животных и достигнутую ими массу, при их ежемесячной корректировке.

Во время опыта взвешивание телят выполнялось ежемесячно, утром до кормления. Гематологические показатели тёлок были определены у пяти голов из каждой сравниваемой группы. Утром до кормления, у животных из яремной вены брали кровь, с последующим проведением анализа по общепринятым методикам.

Переваримость органических веществ в организме тёлок, использование ими азота и минеральных элементов: кальция, фосфора и магния, изучались в обменном опыте на трёх животных из каждой группы, в четырёхмесячном возрасте.

В ходе экспериментальной работы за телятами контрольной и опытных групп выполнялся одинаковый уход, они содержались в одинаковых условиях.

Основной цифровой материал исследований обработали с использованием метода вариационной статистики.

По завершении научно-хозяйственного опыта была дана экономическая оценка эффективности выращивания тёлок, пользуясь в расчётах методикой ВАСХНИЛ (1980).

Результаты и обсуждение. Характер кормления подопытных телят в научно-хозяйственном опыте состоял в том, что контрольная группа получала в составе ОР комбикорм, который наряду с другими компонентами, включал льняной жмых – 21,17 % по массе. Первая опытная группа получала в составе ОР такой же комбикорм, при замене 50 % жмыха льняного по массе на жмых рапсовый, а вторая опытная группа получала аналогичный рацион как в первой опытной группе, только с добавкой волгоградского бишофита.

Необходимо отметить, что в комбикорме для опытных групп тёлок использовался жмых, полученный от переработки рапса безэрукового, низкоглиукозинолатного 00-типа сортов.

В наших исследованиях представляет интерес изучение питательной ценности рационов при использовании вместо части льняного жмыха в их составе рапсового жмыха беззёркового, низкоглюкозинолатных сортов отдельно и в сочетании с волгоградским бишофитом.

Состав среднесуточного рациона в сравниваемых группах животных по количеству задаваемых кормов и используемых кормовых минеральных добавок в главный период научно-хозяйственного эксперимента приведён в таблице 2.

Таблица 2 – Количество кормовых средств в составе среднесуточного рациона для телят, кг

Table 2 – Amount of feed in the average daily ration for calves, kg

Корма и добавки / Feed and additives	Группа / Group		
	контрольная / control	1-я опытная / 1st experimental	2-я опытная / 2nd experimental
ЗЦМ (восстановленный) / whole milk substitute (reconditioned)	3,0	3,0	3,0
Комбикорм с льняным жмыхом / Compound feed with flaxseed cake	1,22	-	-
Комбикорм с льняным жмыхом – 50 % и рапсовым жмыхом – 50 % / Compound feed with flaxseed cake – 50 % and rapeseed cake – 50 %	-	1,22	-
Комбикорм с льняным жмыхом – 50 % и рапсовым жмыхом – 50 % с добавкой бишофита / Compound feed with flaxseed cake – 50 % and rapeseed cake – 50 % with the addition of bischofite	-	-	1,22
Сенаж / Haylage	2,52	2,52	2,52
Дерть кукурузы / Pull corn	0,18	0,18	0,18
Шрот соевый / Soybean meal	0,08	0,08	0,08
Монокальцийфосфат, г / Monocalcium phosphate, g	15,4	15,4	15,4
Мел, г / Chalk, g	3,6	3,6	3,6
Соль поваренная, г / Table salt, g	16,7	16,7	16,7

При этом (таблица 2), суточный рацион в сравниваемых группах телят, в среднем за главный период опыта, показал, что по количеству используемых кормовых средств он не различался. Однако тёлкам контрольной группы в его составе задавали комбикорм с льняным жмыхом, 1-й опытной группе – такой же комбикорм, но при замене 50 % льняного жмыха по массе на рапсовый жмых, а 2-й опытной – аналогичный комбикорм как в предыдущей опытной группе, только с добавкой волгоградского бишофита.

Дополнительно к этому, экспериментальные данные, характеризующие общую питательность среднесуточного рациона телят, а именно содержание энергетических кормовых единиц – ЭКЕ в главном периоде опыта показаны на рисунке 1.

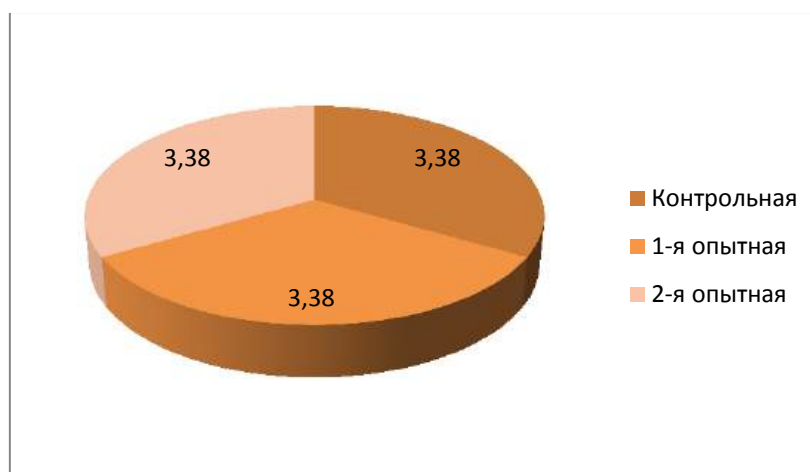


Рисунок 1 – Содержание ЭКЕ в среднесуточном рационе тёлочек

Figure 1 – Content of ECU in the average daily diet of heifers

Так (рисунок 1), результаты исследования свидетельствовали о том, что по содержанию энергетических кормовых единиц в сравниваемых среднесуточных рационах тёлочек, а именно – 3,38, не было выявлено различий.

Вместе с этим, из-за разного химического состава и общей питательности льняного и рапсового жмыхов, были выявлены также определённые различия в показателях питательной ценности среднесуточного рациона у тёлочек в контрольной и опытных группах, что представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Другие основные нормируемые показатели питательности среднего суточного рациона телят в главном периоде опыта, г
Table 3 – Other main standardized nutritional indicators of the average daily diet of calves in the main period of the experiment, g

Питательность / Nutritional value	Группа / Group		
	контрольная / control	1-я опытная / 1st experimental	2-я опытная / 2nd experimental
ОЭ, МДж / ME, MJ	33,8	33,8	33,8
СВ / DM	2834,0	2834,0	2834,0
СП / CP	539,4	543,9	543,9
ПП / DP	445,1	446,7	446,7
СК / CF	451,8	453,2	453,2
СЖ / CF	198,3	199,6	199,6

*Примечание: ОЭ – обменная энергия, СВ – сухое вещество, СП – сырой протеин, ПП – перевариваемый протеин, СК – сырая клетчатка, СЖ – сырой жир.

*Note: ME – metabolic energy, DM – dry matter, CP – crude protein, DP – digestible protein, CF – crude fiber, CF – crude fat.

Согласно полученным данным (таблица 3), по величине ОЭ в суточном рационе тёлочек, в среднем за главный период опыта, в сравниваемых группах не выявлено разницы. Однако преимущество в питательности среднесуточного рациона опытных групп, сравнительно с контролем, по содержанию СП составило (г) – 4,5; ПП – 1,6; СК – 1,4 и СЖ – 1,3.

Для характеристики питательности среднесуточного рациона представляет интерес содержание в нём безазотистых экстрактивных веществ – БЭВ, учитывая, что к ним относятся такие нормируемые показатели как сахара и крахмал. Результаты исследования данного важного показателя свидетельствовали, что его большей величиной отличался рацион, в среднем за сутки, в главном периоде эксперимента, у тёлочек группы контроля (1429,7 г) – на 5,7 г, сравнительно с опытными группами – 1424,0 г.

При выращивании телят, кроме уровня протеина в рационах, большое значение имеет его биологическая ценность, то есть содержание незаменимых аминокислот. Так, из 10 незаменимых аминокислот, не синтезирующихся в организме животных, лизин, метионин и триптофан являются критическими (лимитирующими). В злаковых кормах их больше всего недостает.

Нашими исследованиями установлено, что введение в состав комбикорма для телят рапсового жмыха беззёрнового, низкогликозинолатных сортов, вместо части 50 % льняного жмыха по массе, позволяет увеличить содержание в рационе расщепляемого протеина. Вместе с этим, дополнительные преимущества используемого в эксперименте жмыха рапсового показали, что его введение в комбикорм, взамен выше указанной части жмыха льняного, улучшает качество протеина по содержанию лизина, метионина + цистина и триптофана.

По данным из литературных источников соотношение расщепляемого и нерасщепляемого протеина в рапсовом жмыхе обеспечивает оптимальное развитие микрофлоры рубца. Он обладает хорошими вкусовыми качествами и характеризуется лучшим балансом аминокислот из всех белковых кормов, увеличивая прирост живой массы животных.

Также большую значимость имеет оценка биологической полноценности кормления в животноводстве, связанная с минеральным питанием. Выявленное в наших исследованиях содержание нормируемых макроэлементов в среднем суточном рационе подопытных тёлочек за главный период опыта представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Показатели макроминеральной питательности среднего суточного рациона телят в главном периоде эксперимента, г

Table 4 – Macromineral nutritional values of the average daily diet of calves in the main period of the experiment, g

Макроэлементы / Macronutrients	Группа / Group		
	контрольная / control	1-я опытная / 1st experimental	2-я опытная / 2nd experimental
Ca	28,71	28,75	28,75
P	19,26	19,20	19,20
Mg	3,51	3,39	5,50
K	34,01	33,92	33,92
S	5,89	5,94	5,94

По данным исследования (таблица 4), сравнительно с контролем, в опытных группах выявлено большее содержание кальция в среднесуточном рационе – на 0,04 г, серы – на 0,05 г. Однако среднесуточный рацион в контрольной группе превышал опытные группы по содержанию фосфора – на 0,06 г, калия – на 0,09 г, а по величине магния преимущество 2-й опытной группы, по сравнению с контролем и 1-й опытной группой, соответственно составило – 1,99 и 2,11 г.

Исследованиями также были выявлены некоторые отличия по микроминеральной питательности среднего суточного рациона в сравниваемых группах телят.

Введение взамен 50 % льняного жмыха по массе в состав комбикорма рапсового жмыха отдельно и с добавкой бишофита положительно влияло на энергию роста телят. Результаты исследования продуктивности животных по показателю живой массы в главном периоде эксперимента приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Живая масса и её прирост у телят ($M \pm m$), (n=15)Table 5 – Live weight and its gain in calves ($M \pm m$), (n=15)

Группа / Group	Продолжительность главного периода опыта, дней / Duration of the main period of the experiment, days	Живая масса, кг / Live weight, kg		Прирост живой массы / Live weight gain	
		в начале главного периода опыта / at the beginning of the main period of experience	в конце главного периода опыта / at the end of the main period of experience	общий, кг / total, kg	% к контролю / % to control
Контрольная / Control	123	59,2 $\pm$ 0,39	159,3 $\pm$ 1,41	100,1	100
1-я опытная / 1st experimental	123	59,4 $\pm$ 0,46	165,2 $\pm$ 1,33	105,8	105,7
2-я опытная / 2nd experimental	123	59,0 $\pm$ 0,35	168,0 $\pm$ 1,48	109,0	108,9

Согласно полученным данным (таблица 5), в начале главного периода опыта тёлки сравниваемых групп по живой массе существенно не различались. В конце главного периода эксперимента, сравнительно с контролем, в 1-й и 2-й опытных группах установлено преимущество по данному показателю, соответственно – на 5,9 и 8,7 кг, или 3,70 и 5,46 % при $P > 0,99$ и $P > 0,999$.

За главный период опыта в возрасте 5 месяцев телята контрольной группы имели абсолютный прирост живой массы на одну голову в среднем – 100,1 кг, а в 1-й и 2-й опытных группах этот показатель был больше, соответственно – на 5,7 и 8,9 кг, или 5,7 и 8,9 % при $P > 0,99$ и $P > 0,999$, чем в контроле. Следовательно, животные опытных групп отличались более высокой интенсивностью роста.

Исследователями отмечается, что улучшение биологической ценности рационов положительно влияет на потребление, переваримость питательных веществ и обмен азота у телят [20], обмен веществ в организме телят [21], обмен веществ у ремонтных свинок [22], использование кальция и фосфора телятами из корма [23].

В наших исследованиях замена в составе комбикорма льняного жмыха в части 50 % по массе на жмых, полученный от переработки рапса безэрукового, низкоглюкозинолатных 00-типа сортов отдельно и в сочетании с добавкой волгоградского бишофита, повлияла на активизацию обмена веществ в организме тёлочек, что положительно отразилось на получении более высоких показателей переваримости и использования питательных веществ рациона, а также продуктивности у ремонтного молодняка молочного периода выращивания, который имел более высокую энергию роста.

Зоотехнические исследования зачастую сопровождаются изучением физиологического состояния животных, в частности определения гематологических показателей [24, 25].

Данные наших исследований показали соответствие морфологических и биохимических показателей крови у тёлочек из сравниваемых групп физиологической норме.

Оценка эффективности проведённых исследований показала экономическую целесообразность введения испытываемых кормовых средств в рационы ремонтных тёлочек молочного периода выращивания, с лучшим результатом при замене в составе комбикорма в части 50 % льняного жмыха по массе на жмых рапсовый безэруковый, низкоглюкозинолатный 00-типа сортов с добавкой природного бишофита.

Выводы. Таким образом, с заменой в составе комбикорма в части 50 % льняного жмыха по массе на жмых рапсовый безэруковый, низкоглюкозинолатный 00-типа сортов отдельно и с добавкой волгоградского бишофита, у тёлочек опытных групп установлено преимущество в питательности среднего суточного рациона, сравнительно с контролем, по содержанию СП, ПП, СК и СЖ, а также использование испытываемого рапсового жмыха позволяет увеличить содержание в рационе расщепляемого протеина. Дополнительные преимущества выше названного жмыха рапсового: его введение в состав комбикорма, вместо указанной части жмыха льняного, улучшает качество протеина по содержанию лизина, метионина + цистина и триптофана. Исследованиями выявлено, что выше перечисленные преимущества в пользу испытываемого рапсового жмыха отдельно и с добавкой бишофита позволили увеличить весовой рост телят молочного периода выращивания. Применение разработанных технологических инноваций способствует улучшению экономической эффективности выращивания ремонтных тёлочек.

Conclusions. Thus, with the replacement of 50 % of flaxseed cake by weight in the composition of the compound feed with erucic-free, low-glucosinolate rapeseed cake of the 00-type varieties separately and with the addition of Volgograd bischofite, heifers from the experimental groups showed an advantage in the nutritional value of the average daily ration, compared with the control, in terms of the content of SP, PP, SC and SF, and the use of the tested rapeseed cake allows for an increase in the content of degradable protein in the diet. Additional benefits of the above-mentioned rapeseed cake: its introduction into the composition of compound feed, instead of the specified portion of flaxseed cake, improves the quality of protein in terms of lysine, methionine+cystine and tryptophan content. Research has revealed that the above-mentioned advantages are in favor of the tested rapeseed cake separately and with the addition of bischofite allowed to increase the weight gain of calves during the milk growing period. Application of developed technological innovations contributes to improving the economic efficiency of raising replacement heifers.

Библиографический список

1. Дуборезов В. Кормление молочных коров по детализированным нормам. Молочное и мясное скотоводство. 2020. № 4. С. 52-55.
2. Симонов Г. А. и др. Биологическая ценность комплексной минеральной добавки для лактирующих коров. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 2 (66). С. 238-247.
3. Гайирбеков Д. Ш. и др. Химический состав и энергетическая ценность мяса бычков в зависимости от типа кормления. Проблемы развития АПК региона. 2017. Т. 29. № 1 (29). С. 71-74.
4. Зотеев В. С. и др. Оптимизация уровня меди в рационе холостых овцематок. Овцы, козы, шерстяное дело. 2018. № 2. С. 31-34.
5. Степурина М. А. и др. Кормовые добавки для повышения питательной ценности рационов и продуктивности лактирующих коров. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 4 (56). С. 170-179.
6. Андреев И. В., Дуборезов В. М. Плющенное зерно в рационе бычков при откорме. Комбикорма. 2021. № 4. С. 28-30.
7. Садыков М. М. и др. Как эффективно выращивать мясной скот на субальпийских пастбищах в условиях Дагестана. Проблемы развития АПК региона. 2017. Т. 31. № 3 (31). С. 63-67.
8. Гайирбеков Д. Ш. и др. Изменение состава молока свиноматок первого опороса во взаимосвязи с биологической ценностью рационов. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 3 (75). С. 217-223.

9. Варакин А. Т. и др. Влияние новой кормовой добавки на продуктивность и физиологические показатели молочных коров. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1 (61). С. 222-231.
10. Zoteev V. S., et al. False flax cake in mixed feed for the fattening of lactating cows and dairy stores. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. No 9 (5). Pp. 1422-1428.
11. Зотеев В. С. и др. Рыжиковый жмых в комбикормах для лактирующих коров. Молочное и мясное скотоводство. 2016. № 3. С. 29-32.
12. Varakin A. T., et al. Productivity and blood composition indicators of ram lambs during fattening with the use of oil-plant seeds in diets. Development of the agro-industrial complex in the context of robotization and digitalization of production in Russia and abroad (DAIC 2020): International Scientific and Practical Conference. E3S Web of Conf. 2020. V. 222. Pp. 1-8.
13. Зотеев В. С., Кириченко Н. В. Эффективность использования рыжикового жмыха в комбикормах для лактирующих коз. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. Вып. 1. С. 111-114.
14. Радчиков В. Ф. и др. Рапсовый жмых в составе комбикорма для телят. Зоотехническая наука Беларуси. 2014. Т. 49. № 2. С. 139-147.
15. Сапсальева Т. Л. и др. Возможность использования рапсового жмыха в кормлении телят первой фазы выращивания. Научное обеспечение устойчивого развития агропромышленного комплекса: сборник материалов Международной научно-практической конференции. Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН, 2021. С. 1468-1473.
16. Варакин А. Т. и др. Использование жмыхов разных видов для производства молока. Эффективное животноводство. 2024. № 5 (195). С. 39-41.
17. Батанов С. Д., Березкина Г. Ю., Килин В. В. Влияние минеральной добавки «Стимул» на биохимические показатели крови. Учёные записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины имени Н. Э. Баумана. 2014. Т. 220. С. 38-42.
18. Тяпугин Е. А. и др. Потребность суягных овцематок в меди в условиях аридной зоны России. Российская сельскохозяйственная наука. 2018. № 2. С. 50-54.
19. Степурина М. А. и др. Продуктивные качества дойных коров при оптимизации минеральной обеспеченности рационов. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 4 (60). С. 269-280.
20. Мокроусов В. Е., Гайирбегов Д. Ш., Алигазиева П. А. Потребление, переваримость питательных веществ и обмен азота у 3-х месячных телят в зависимости от уровня содержания крезацина в рационах. Проблемы развития АПК региона. 2024. № 1. С. 118-123.
21. Варакин А. Т. и др. Обмен веществ у телят-молочников в зависимости от уровня крезацина в рационах. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 2 (74). С. 170-178.
22. Варакин А. Т. и др. Влияние кормовой добавки «Крезацин» на обмен веществ у ремонтных свинок. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1 (69). С. 332-338.
23. Мокроусов В. Е. и др. Использование кальция и фосфора телятами из рациона под действием кормовой добавки «Крезацин» в конце молочного периода. Известия Дагестанского ГАУ. 2024. № 4 (24). С. 197-201.
24. Саломатин В. В., Ряднова Т. А., Ряднов А. А. Влияние адаптогена стресс-корректора Лигфол в сочетании с ростостимулирующим препаратом Селенолин на гематологические показатели молодняка свиней. Ветеринария. 2020. № 12. С. 55-58.
25. Симонов Г. А. и др. Влияние минеральной добавки на уровень общего белка и его фракций в сыворотке крови коров. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 1. С. 73-79.

References

1. Duborezov V. Feeding dairy cows according to detailed standards. Dairy and beef cattle breeding. 2020. No 4. Pp. 52-55.
2. Simonov G. A., et al. Biological value of a complex mineral supplement for lactating cows. Proceedings of LV Agro-university complex: science and higher education. 2022. No 2 (66). Pp. 238-247.
3. Gairbegov D. Sh., et al. Chemical composition and energy value of bull meat depending on the type of feeding. Problems of development of the regional agro-industrial complex. 2017. Vol. 29. No 1 (29). Pp. 71-74.
4. Zoteev V. S., et al. Optimization of copper levels in the diet of barren ewes. Sheep, goats, wool business. 2018. No 2. Pp. 31-34.
5. Stepurina M. A., et al. Feed additives to increase the nutritional value of diets and the productivity of lactating cows. Proceedings of LV Agro-university complex: science and higher education. 2019. No 4 (56). Pp. 170-179.
6. Andreev I. V., Duborezov V. M. Flattened grain in the diet of fattening bulls. Combined feed. 2021. No 4. Pp. 28-30.
7. Sadykov M. M., et al. How to effectively raise beef cattle on subalpine pastures under conditions Dagestan. Problems of development of the agro-industrial complex of the region. 2017. Vol. 31. No 3 (31). Pp. 63-67.
8. Gayirbegov D. Sh., et al. Changes in the composition of milk of sows of the first farrowing in relation to the biological value of diets. Proceedings of LV Agro-university complex: science and higher education. 2024. No 3 (75). Pp. 217-223.
9. Varakin A. T., et al. The effect of a new feed additive on the productivity and physiological parameters of dairy cows. Proceedings of LV Agro-university complex: science and higher education. 2021. No 1 (61). Pp. 222-231.
10. Zoteev V. S., et al. False flax cake in mixed feed for the fattening of lactating cows and dairy stores. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. No 9 (5). Pp. 1422-1428.
11. Zoteev V. S., et al. Camelina cake in feed for lactating cows. Dairy and beef cattle breeding. 2016. No 3. Pp. 29-32.

12. Varakin A. T., et al. Productivity and blood composition indicators of ram lambs during fattening with the use of oil-plant seeds in diets. Development of the agro-industrial complex in the context of robotization and digitalization of production in Russia and abroad (DAIC 2020): International Scientific and Practical Conference. E3S Web of Conf. 2020. V. 222. Pp. 1-8.
13. Zoteev V. S., Kirichenko N. V. Efficiency of using camelina cake in compound feed for lactating goats. Bulletin of the Samara State Agricultural Academy. 2014. No 1. Pp. 111-114.
14. Radchikov V. F., et al. Rapeseed cake in the composition of compound feed for calves. Zoo technical science of Belarus. 2014. V. 49. No 2. Pp. 139-147.
15. Sapsaleva T. L., et al. The possibility of using rapeseed cake in feeding calves in the first stage of growth. Scientific support for sustainable development of the agro-industrial complex: collection of materials from the International scientific and practical conference. Caspian Agrarian Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2021. Pp. 1468-1473.
16. Varakin A. T., et al. Use of different types of cakes for milk production. Effective animal husbandry. 2024. No 5 (195). Pp. 39-41.
17. Batanov S. D., Berezkina G. Yu., Kilin V. V. Influence of mineral additive "Stimulus" on blood biochemical parameters. Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman. 2014. V. 220. Pp. 38-42.
18. Tyapugin E. A., et al. Copper requirements of pregnant ewes in the arid zone of Russia. Russian Agricultural Science. 2018. No 2. Pp. 50-54.
19. Stepurina M. A., et al. Productive qualities of dairy cows while optimizing the mineral supply of rations. Proceedings of LV Agro-university complex: science and higher education. 2020. No 4 (60). Pp. 269-280.
20. Mokrousov V. E., Gaiyrbegov D. Sh., Aligazieva P. A. Consumption, digestibility of nutrients and nitrogen metabolism in 3-month-old calves depending on the level of crezacin content in diets. Problems of development of the regional agro-industrial complex. 2024. No 1. Pp. 118-123.
21. Varakin A. T., et al. Metabolism in dairy calves depending on the level of crezacin in diets. Proceedings of LV Agro-university complex: science and higher education. 2024. No 2 (74). Pp. 170-178.
22. Varakin A. T., et al. The influence of the feed additive "Krezacin" on the metabolism of replacement pigs. Proceedings of LV Agro-university complex: science and higher education. 2023. No 1 (69). Pp. 332-338.
23. Mokrousov V. E., et al. Use of calcium and phosphorus by calves from the diet under the influence of the feed additive "Krezacin" at the end of the milk period. Dagestan GAU Proceedings. 2024. No 4 (24). Pp. 197-201.
24. Salomatin V. V., Ryadnova T. A., Ryadnov A. A. Influence of Ligfol stress corrector adaptogen in combination with growth-stimulating drug Selenolin on hematological parameters of young pigs. Veterinary medicine. 2020. No 12. Pp. 55-58.
25. Simonov G. A., et al. The influence of mineral supplements on the level of total protein and its fractions in the blood serum of cows. Bulletin Samara State Agricultural Academy. 2022. No 1. Pp. 73-79.

Информация об авторах

Варакин Никита Александрович, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: nexusnikita@yandex.ru

Злепкин Виктор Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), ORCID 0000-0002-0804-7634, e-mail: vzlepkin@mail.ru

Степурина Мария Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: marinaserov@yandex.ru

Ряднов Алексей Анатольевич, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой, проректор по научно-исследовательской работе, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26).

Варакин Александр Тихонович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), ORCID 0000-0003-0375-7108, e-mail: varakinat58@mail.ru

Саломатин Виктор Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), ORCID 0000-0001-6663-1663, e-mail: viktor.salomatin@internet.ru

Воронцова Елена Сергеевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: esvoronts@mail.ru

Authors' Information

Varakin Nikita Aleksandrovich, postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: nexusnikita@yandex.ru

Zlepkin Viktor Aleksandrovich, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID 0000-0002-0804-7634, e-mail: vzlepkin@mail.ru

Stepurina Maria Aleksandrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: marinaserov@yandex.ru

Ryadnov Aleksey Anatolyevich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Vice-Rector for Research, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26).

Varakin Aleksandr Tikhonovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID 0000-0003-0375-7108, e-mail: varakinat58@mail.ru

Salomatin Viktor Vasilievich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID 0000-0001-6663-1663, e-mail: viktor.salomatin@internet.ru

Vorontsova Elena Sergeevna, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: esvoronts@mail.ru

**THE ASSESSMENT OF THE EFFECT OF TEMPERATURE FLUCTUATIONS
ON THE LACTATING COWS' FERTILITY AND REPRODUCTION****Kocharyan A. K., Shevtsova A. I., Kocharyan V. D., Bakanova K. A.**Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: kvd707@mail.ru

Received 20.11.2025

Submitted 30.12.2025

Abstract

Introduction. Climate change in recent decades has had a significant impact on agriculture, particularly livestock farming. One of the most serious consequences of these changes is climate-induced infertility in cows, which affects reproductive function and, consequently, dairy herd productivity. Due to the predominance of hot climates in the Volgograd region, we conducted a study to identify the impact of climate factors on reproductive function in cows. Addressing the problem of climate-induced infertility in cows requires a comprehensive approach, including improved housing conditions, optimized nutrition, and animal health monitoring. This article examines the mechanisms by which temperature fluctuations affect cow fertility, as well as the implications for reproduction and adaptation strategies. **Materials and Methods.** The study was conducted in 2024 at Donskoye Farm (Volgograd Region). The subjects were high-yielding Holstein cows aged 3-5 years, weighing 500-550 kg, with an average annual milk yield of 8,500-11,000 kg. Two groups were formed for the analysis: 240 cows for monitoring obstetric and gynecological pathologies by season, and 10 cows for comparing milk yields in winter and summer. The following methods were used: analysis of DairyComp 305 data, veterinary journals, rectal palpation, ultrasound diagnostics (EASI-SCAN Go), and meteorological data analysis. Follimag was used for infertility treatment. **Results and Conclusions.** It was established that the highest rate of obstetric and gynecological pathologies (55 %) and climatic infertility (33.3 %) is observed in the summer, which is associated with heat stress (average temperature +32.4°C, temperature-humidity index up to 91). In winter (average temperature -10°C), a high percentage of infertility is also recorded (25 %). The lowest rates were noted in spring and autumn. A comparative analysis of milk yields showed that the total milk yield in a group of ten cows in the winter period was 26,972 kg, which is 2,574 kg more than the summer period (24,398 kg), confirming the negative impact of summer heat on productivity. A deficiency of digestible protein in the diet of freshly calved cows was detected. Seasonal temperature fluctuations have a significant impact on the fertility, reproduction, and milk productivity of cows. To minimize losses, adaptation measures are necessary: modernization of ventilation systems, installation of summer showers, insulation of cowsheds in winter, optimization of diet and the use of complex therapy for reproductive disorders.

Keywords: climatic infertility of cows, fertility of cows, climatic factors, heat stress of cows, subinvolution of the uterus, retention of afterbirth, hypofunction of ovaries in cows.

Citation. Kocharyan A. K., Shevtsova A. I., Kocharyan V. D., Bakanova K. A. The assessment of the effect of temperature fluctuations on the lactating cows' fertility and reproduction. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 428-435 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-45.

Authors' Contribution. The authors represented in this publication actively participated in the development of the study concept, its implementation, and the subsequent analysis of the obtained data. Each of the authors has reviewed the final version of the paper and has expressed their consent with its content.

Conflict of Interest. The authors declare no conflicts of interest.

УДК 619:618.2/7:636.2.034

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ФЕРТИЛЬНОСТЬ
И ВОСПРОИЗВОДСТВО ЛАКТИРУЮЩИХ КОРОВ****Кочарян А. К., аспирант****Шевцова А. И., аспирант****Кочарян В. Д., кандидат биологических наук, доцент****Баканова К. А., кандидат ветеринарных наук, доцент**ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Климатические изменения, происходящие в последние десятилетия, оказывают значительное влияние на сельское хозяйство, особенно на животноводство. Одним из наиболее серьезных последствий этих изменений является климатическое бесплодие у коров, которое затрагивает репродуктивные функции и, как следствие, продуктивность молочного стада. В связи с

преобладанием жаркого климата в Волгоградской области, нами было проведено исследование, целью которого стало выявление воздействия климатических факторов на репродуктивную функцию коров. Решение проблемы климатического бесплодия у коров требует комплексного подхода, включающего улучшение условий содержания, оптимизацию кормления, мониторинг здоровья животных. В данной статье рассматриваются механизмы воздействия температурных колебаний на фертильность коров, а также последствия для воспроизводства и стратегии адаптации.

Материалы и методы. Исследование проводилось в 2024 году на базе ООО «СП «Донское», Калачевского района, Волгоградской области. Объектом исследования стали высокопродуктивные коровы голштинской породы возрастом 3-5 лет, массой 500-550 кг со среднегодовой молочной продуктивностью 8500-11000 кг.

Для анализа были сформированы две группы: 240 голов для мониторинга акушерско-гинекологических патологий по сезонам года и 10 голов для сравнения удоев в зимний и летний периоды. Использовались методы: анализ данных системы DairyComp 305, ветеринарных журналов, ректальная пальпация, УЗИ-диагностика (EASI-SCAN Go), а также анализ метеоданных. Для терапии бесплодия применялся препарат «Фоллимаг».

Результаты и выводы. Установлено, что наибольший уровень акушерско-гинекологических патологий (55 %) и климатического бесплодия (33,3 %) наблюдается в летний период, что связано с тепловым стрессом (средняя температура + 32,4°C, температурно-влажностный индекс до 91). Зимой (средняя температура -10°C) также фиксируется высокий процент бесплодия (25 %). Наименьшие показатели отмечены весной и осенью. Сравнительный анализ удоев показал, что зимний период в группе из десяти коров общий надой составил 26972 кг молока, что на 2574 кг больше, чем летний период (24398 кг), что подтверждает негативное влияние летней жары на продуктивность. Выявлен дефицит перевариваемого протеина в рационе новотельных коров. Сезонные температурные колебания оказывают существенное влияние на фертильность, воспроизводство и молочную продуктивность коров. Для минимизации потерь необходимы адаптационные меры: модернизация систем вентиляции, установка летних душевых, утепление коровников зимой, оптимизация рациона и применение комплексной терапии репродуктивных нарушений.

Ключевые слова: климатическое бесплодие коров, фертильность коров, климатические факторы, тепловой стресс коров, субинволюция матки, задержание последа, гипофункция яичников у коров.

Цитирование. Кочарян А. К., Шевцова А. И., Кочарян В. Д., Баканова К. А. Оценка влияния температурных колебаний на фертильность и воспроизводство лактирующих коров. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 428-435. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-45.

Авторский вклад. Авторский коллектив, представленный в данной публикации, активно участвовал в разработке концепции исследования, его реализации и последующем анализе полученных данных. Каждый из авторов статьи ознакомился с финальной версией работы и выразил свое согласие с ее содержанием.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Климатическое бесплодие у коров – это состояние, при котором высокие температуры и другие неблагоприятные климатические условия негативно влияют на репродуктивные функции коров, приводя к снижению их фертильности и способности к воспроизводству. Это явление становится все более актуальным в условиях глобальных климатических изменений, когда средние температуры на планете повышаются, а экстремальные погодные условия становятся более частыми [7].

Неспособность коров и телок к воспроизводству наносит экономике гораздо больший вред, чем заболевания и смертность молочного скота [6]. Разновидностью репродуктивной дисфункции у крупного рогатого скота является климатическое бесплодие.

Климатическое бесплодие представляет собой расстройство репродуктивной функции у животных, вызванное воздействием факторов окружающей среды, таких как температура, влажность, ионизирующее излучение и другие. Репродуктивная способность животных подвержена изменениям под воздействием метеорологических колебаний, даже в пределах одной и той же местности в разные годы [1, 5]. В последнее время, в связи с глобальным повышением температуры в летние месяцы, у молочных коров все чаще наблюдается климатическое бесплодие, вызванное, главным образом, увеличением изменений среднесуточных температурных колебаний окружающей среды. Температура является ключевым фактором микроклимата, колебания которого могут серьезно нарушить адаптационные процессы в организме животных. Критической температурой для молочных коров считается +25-27°C [12].

Тепловой стресс у коров обусловлен сочетанием высокой температуры и влажности воздуха, усиливающим воздействие жары. Для оценки уровня теплового стресса используется температурно-влажностный индекс (ТВИ). Для комфортного содержания животных значение ТВИ не должно превышать 68, что соответствует температуре воздуха не выше + 22°C при влажности 45-50 % [8].

В Волгоградской области летом температура в тени может достигать + 30-36°C. При этом, в зависимости от влажности, ТВИ колеблется в пределах 80-91, что указывает на сильный или очень сильный тепловой стресс у животных.

Высокие температуры негативно влияют на коров, снижая аппетит и, как следствие, удои на 10 % и более [11]. Недостаток питательных веществ замедляет восстановление репродуктивной системы после родов или вызывает проблемы в развитии эмбриона [2, 9]. Влияние жары на организм коров особенно сильно сказывается на их репродуктивной функции из-за снижения активности щитовидной железы, гипофиза, яичников и матки [7].

Жаркая погода в Волгоградской области, как и в других регионах с высокими температурами, может оказывать значительное влияние на фертильность коров. Вот несколько ключевых аспектов, которые стоит учитывать: тепловой стресс, нарушение гормонального баланса, увеличение случаев бесплодия, снижение овуляции, увеличение различных акушерско-гинекологических заболеваний.

Снижение фертильности приводит к уменьшению числа телят и снижению молочной продуктивности, что в свою очередь влияет на экономическую эффективность животноводства [8].

У коров голштинской породы тепловой стресс негативно сказывается на репродуктивной функции, приводя к значительному (в три и более раза) снижению эффективности искусственного осеменения [4]. В летние месяцы оплодотворяемость коров зачастую не превышает 20 %. Это связано с повреждением яйцеклеток под воздействием высоких температур, что снижает их способность к оплодотворению или вызывает гибель эмбриона на ранних стадиях развития [7]. Полный цикл созревания фолликула занимает приблизительно 115 дней, и повышение температуры в этот период оказывает отрицательное влияние на качество яйцеклетки [10].

При обследовании репродуктивной системы коров выявляют уменьшение яичников, характеризующихся плотной структурой [9]. Нередко на их поверхности не обнаруживаются желтые тела, фолликулы или кистозные образования. Отмечается отсутствие половой активности (анафродизия) или ослабление проявлений эструса [12]. Указанные симптомы свидетельствуют о гипофункции яичников – распространенном заболевании репродуктивных органов у крупного рогатого скота. Гипофункция яичников является одной из наиболее часто встречающихся патологий репродуктивной системы у молочных коров [6, 11].

Целью данного исследования стало изучение влияния температурных колебаний на фертильность, воспроизводство и продуктивность лактирующих коров.

Материалы и методы. Для проведения обзора по полученным результатам влияния климатических факторов на бесплодие коров использовали публикации авторов в базах данных РИНЦ, ФИПС.

Экспериментальная часть исследования проводилась в 2024 году в условиях производства ООО «СП «Донское» Калачевского района Волгоградской области. Проводили мониторинг уровня возникновения акушерско-гинекологических патологий по сезонности времен года, а так же учитывали температурные показатели за 2024 год. Объектами исследования были племенные высокопродуктивные коровы голштинской породы, в возрасте от 3 до 5 лет, массой 500-550 кг со среднегодовой молочной продуктивностью 8500-11000 кг.

В животноводческом комплексе «Держава» находится 6087 голов коров, из них 2100 дойного поголовья. Для проведения исследования создали группу коров из 240 голов для выявления акушерско-гинекологических заболеваний и группа из 10 голов, для статистического анализа удоя молока в зимний и летний периоды. Для проведения анализа были рассмотрены данные за все сезоны 2024 года, а именно, зимний, весенний, летний и осенний периоды. В качестве источников информации применялись сведения о репродуктивной функции скота из программы DairyComp 305, а также записи из ветеринарного журнала, содержащего информацию о заболевших животных. Данные об изменениях метеорологической обстановки были получены из отчетов «Центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды по Волгоградской области и Калачевскому району».

В эксперименте задействовали коров, у которых после родов не наблюдалось восстановления полового цикла в течение 62 дней и более, и подвергнутых повторному осеменению. Диагностировали бесплодие на основе данных ректальной пальпации. После проведения ректального исследования для уточнения диагноза, мы использовали ультразвуковое оборудование для визуализации органов малого таза у коров с помощью прибора EASI-SCAN Go. Терапию бесплодия проводили с использованием препарата "Фоллимаг" в дозировке 5 мл, вводимого внутримышечно три раза с десятидневными перерывами.

Результаты и обсуждение. Проанализировав данные гидрометеорологии, мы выяснили, что средняя температура в зимний период 2024 года была равна -10°C . Крупный рогатый скот обладает хорошей устойчивостью к низким температурам и способен без проблем выдерживать похолодание до $+5^{\circ}\text{C}$. Однако, когда температура опускается ниже нуля, как в зафиксированном случае, возрастает вероятность уменьшения объемов надоев и возникновения респираторных заболеваний, которые, в свою очередь, могут спровоцировать акушерско-гинекологические патологии.

Средняя температура весной составила $+9^{\circ}\text{C}$. Летом этот показатель достиг $+32,4^{\circ}\text{C}$, что соответствует категории "жарко". Осенью 2023 года была зафиксирована средняя температура в -17°C , но такие климатические изменения не несут серьезных последствий для здоровья и продуктивности высокопродуктивных молочных коров.

Изучая собранные нами данные, были выявлены наиболее часто встречаемые акушерско-гинекологические патологии в разное время года на предприятии ООО «СП «Донское» (рисунок 1).

Анализируя полученные данные, мы можем сделать вывод, что в летний период наиболее часто распространены акушерско-гинекологические патологии, а именно, у 132 из 240 голов, что составляет 55 % от числа исследованных коров. В зимний период мы наблюдаем 47,5 % заболевших данными патологиями, наиболее часто встречаемым заболеванием является послеродовой эндометрит. Количество здоровых животных – 52,5 % от общего числа исследуемых коров в зимний период. В весенний и осенний периоды мы наблюдаем показатели заболеваемости коров – 47,9 % и 62,5 % соответственно. Количество здоровых высокопродуктивных коров составляет – 125 голов (52,1 %) и 90 голов (37,5 %).

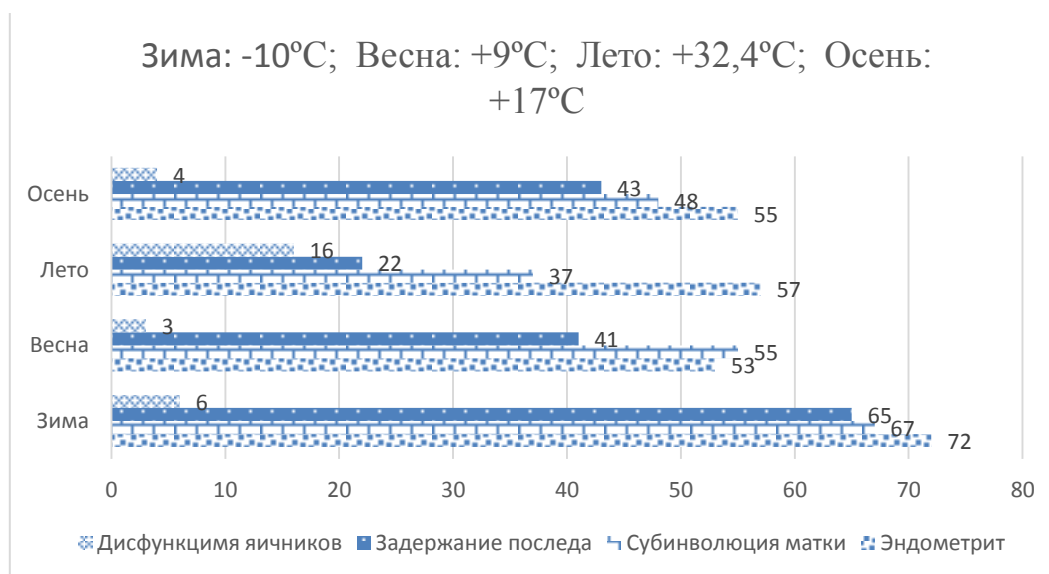


Рисунок 1 – Уровень заболеваемости репродуктивных органов коров при различных климатических условиях

Figure 1 – The incidence of reproductive diseases in cows under different climatic conditions

На воспроизводство крупного рогатого скота существенное воздействие оказывают климатические условия. Ключевые факторы этого влияния включают в себя также и кормление. Климатические колебания способны изменять качество растений, используемых в кормлении коров. Например, недостаток влаги может негативно отразиться на объеме и питательной ценности кормовых культур, что, в свою очередь, отразится на состоянии здоровья и уровне производства молока у коров.

В зависимости от температуры окружающей среды, могут изменяться требования к микроклиматическим условиям, в которых содержатся коровы, что также оказывает влияние на количество производимого молока.

Климатические условия играют значительную роль в репродуктивной функции коров. Одним из проявлений негативного влияния неблагоприятных факторов температурного режима является климатическое бесплодие, которое может варьироваться в зависимости от времени года.

В таблице 1 представлена информация о состоянии репродуктивных органов у коров в послеродовой период в зависимости от сезона. Анализ этих данных позволяет выявить сезонность в уровне бесплодия и понять, как изменения температуры влияет на репродуктивное здоровье животных.

Таблица 1 – Зависимость состояния репродуктивных органов у коров после отела и сезонного бесплодия

Table 1 – Relationship between the state of reproductive organs in cows after calving and seasonal infertility

Время года / Season	Количество животных, гол. / Number of animals	Пришло в охоту		Индекс осеменения / Insemination index	Количество дней бесплодия / Number of Infertility Days	Кол-во коров с климатическим бесплодием / Number of cows with climatic infertility	
		гол. / Cows came into hunting	%			гол. / Number of cows with climatic infertility	%
Зимний период / Winter	60	45	75	1,3 ±0,30	95 ±2,20	15	25
Весенний период / Spring	60	52	86,6	1,3 ±0,30	83 ±2,20	8	13,3
Летний период / Summer	60	40	66,6	3,5 ±0,30	115 ±2,20	20	33,3
Осенний период / Autumn	60	50	83,3	1,4 ±0,30	80 ±2,20	10	16,6

Данная таблица демонстрирует взаимосвязь между временами года и уровнем бесплодия, а также количество дней бесплодия, что может помочь в разработке эффективных стратегий управления репродуктивным здоровьем коров в зависимости от сезона. Согласно данным таблицы 1, мы можем наблюдать, что в зимний и летний периоды диагностировано климатическое бесплодие у коров соответственно у 25 % и 33,3 %, что составляет 15 и 20 голов от числа исследуемых коров. Стоит отметить, что из 60 голов в летний период 40 коров пришло в охоту, в зимний период данный показатель составил 45 голов, что составляет 75 % от общего количества. В весенний и осенний периоды климатическое бесплодие у коров диагностировали значительно реже, а именно, у 8 коров, что составляет 13,3 % – весной, а осенью данный показатель составил 16,6 % (10 голов).

Таким образом, можно заключить, что как летом, так и зимой процент климатического бесплодия у коров в разы превышает показатели весны и осени. Эти данные подчеркивают необходимость разработки специализированных методов управления репродуктивным здоровьем коров в зависимости от сезона для минимизации негативного влияния климатических факторов на фертильность животных.

Кормление животных в хозяйстве осуществляют согласно нормам Всероссийского научно-исследовательского института животноводства, но несмотря на это, в период исследования мы наблюдали дефицит перевариваемого протеина. Анализ рациона показал нехватку в рационе сенажа, силоса, так как в сухом веществе кукурузного силоса содержится всего 8-10 % сырого протеина, в то время как потребность в нем у новотельных коров составляет 16-18 % в перерасчете на сухое вещество рациона. Недостаток протеина в кормах у высокопродуктивных коров ухудшает состав молока, так как его не хватает для синтеза белков.

Так же в своем исследовании мы провели сравнительный анализ данных о производстве молока за зимние и летние месяцы.

Таблица 2 – Продуктивность коров в зимний и летний периоды в 2024 году
Table 2 – Cow productivity in winter and summer periods in 2024

№ коров / Cow number	Зимний период (90 дней) / Winter period (90 days)	Летний период (92 дня) / Summer period (92 days)
	кг / kg	кг / kg
235346	3024	2668
212216	2358	1656
220630	3438	2760
235784	2700	2392
236196	2790	2994
210062	3960	3496
230360	1620	2024
200380	2204	2014
242769	2578	2247
223485	2300	2147
Итого	26972	24398

Информация, представленная в таблице 2, демонстрирует, что зимой группа из десяти коров произвела больший объем молока по сравнению с летним периодом. На это могут влиять разнообразные сопутствующие обстоятельства. В частности, высокие температуры в летние месяцы могут провоцировать тепловой стресс у животных, что отрицательно сказывается на их молочной продуктивности. В свою очередь, низкие температуры зимой создают более благоприятные условия для содержания коров.

Кроме того, в зимний период рацион коров часто отличается большей сбалансированностью и питательностью. Зимние корма, такие как сено и силос, как правило, имеют более высокую концентрацию питательных веществ и лучшее качество, чем летнее пастбищное питание. Также, зимой наблюдается снижение двигательной активности коров, что приводит к уменьшению затрат энергии и, как следствие, к увеличению надоев.

Из вышесказанного следует, что совокупность перечисленных факторов обуславливает увеличение производства молока у коров в зимний период.

Заключение. В результате проведенного мониторинга, можно отметить, что уровень климатического бесплодия в условиях Калачевского района Волгоградской области у коров голштинской породы чаще всего имеет сочетанную этиологию, где ведущую роль играют климатический фактор (тепловой стресс) и алиментарные нарушения. В летние месяцы наблюдается резкое повышение процента бесплодия, который составляет – 33,3 %, что связано с тепловым стрессом и неблагоприятными климатическими условиями. Зимой, несмотря на более низкие температуры, также фиксируется высокий уровень бесплодия – 25 %, вероятно, из-за недостатка солнечного света и ухудшения общего состояния здоровья животных.

Сравнительный анализ продуктивности показал достоверное снижение надоев в летний период на 2574 кг в группе из 10 голов по сравнению с зимним, что дополнительно подтверждает отрицательное влияние экстремальных температур на физиологическое состояние животных. Выявленный дефицит перевариваемого протеина в рационе новотельных коров усугубляет негативные последствия климатических стрессов.

Для минимизации потерь продуктивности и репродуктивной функции необходимы комплексные адаптационные меры, включающие модернизацию систем вентиляции и охлаждения в летний период; установку душевых установок для снижения тепловой нагрузки; утепление помещений и исключение сквозняков в зимнее время; оптимизацию рационов с учетом сезонных потребностей в питательных веществах.

Учитывая эти обстоятельства, необходимо внедрять стратегии адаптации и современные методы, направленные на улучшение условий содержания и рациона кормления коров с учетом климатических особенностей. Это позволит не только сохранить, но и увеличить молочную продуктивность коров.

Conclusion. Based on the results of the monitoring, it can be noted that the level of climatic infertility in Holstein cows in the Kalachevsky District of the Volgograd Region most often has a combined etiology, with climate factors (heat stress) and nutritional deficiencies playing a leading role. During the summer months, a sharp increase in the infertility rate is observed, reaching 33.3 %, which is associated with heat stress and unfavorable climatic conditions. In winter, despite lower temperatures, a high infertility rate of 25 % is also recorded, likely due to a lack of sunlight and deteriorating overall animal health.

A comparative analysis of productivity revealed a significant decrease in milk yield in the summer by 2,574 kg in a group of 10 cows compared to the winter period, further confirming the negative impact of extreme temperatures on the physiological state of the animals. The identified deficiency of digestible protein in the diet of fresh cows exacerbates the negative effects of climatic stress. To minimize losses in productivity and reproductive function, comprehensive adaptation measures are necessary, including upgrading ventilation and cooling systems in the summer; installing showers to reduce heat loads; insulating buildings and eliminating drafts in the winter; and optimizing rations based on seasonal nutrient needs.

Given these circumstances, it is necessary to implement adaptation strategies and modern methods aimed at improving cow housing conditions and feeding rations, taking into account climate specifics. This will not only maintain but also increase milk production.

Библиографический список

1. Анзаров В. А., Абасов Ш. М. Маститы и репродуктивная функция коров. Вестник Чеченского государственного университета. 2017. № 4 (28). С. 9.
2. Баканова К. А. и др. Верификация диагноза и терапия коров больных хроническим эндометритом. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 2 (42). С. 190-197.
3. Балтухаева Т. А. и др. Акушерско-гинекологические патологии и причины бесплодия коров в Иркутской области. Вестник АПК Ставрополя. 2015. № 3 (19). С. 65-68.
4. Безбородов Н. В., Тюрина С. Ф. Гормональные изменения в крови коров при стимуляции воспроизводительной функции. Вестник КрасГАУ. 2016. № 4. С. 165-172.
5. Гамаюнов В. М., Целуева Н. И. Применение гормональных препаратов при бесплодии коров. Международный вестник ветеринарии. 2022. № 4. С. 122-126.
6. Кочарян В. Д., Перерядкина С. П., Файзулина Н. С. Эффективность применения адресной доставки лекарственных средств для профилактики воспалительных заболеваний репродуктивных органов у коров в пuerпальный период. Известия нижневолжского Агро университета: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 4 (56). С. 162-170.
7. Никитин В. Я. и др. О профилактике и лечению акушерско-гинекологических заболеваний коров. Вестник АПК Ставрополя. 2015. № 1. С. 19-22.
8. Федотов С. В. и др. Диагностика и профилактика симптоматического бесплодия у коров. Вестник Алтайского ГАУ. 2016. № 11. С. 118-123.
9. Ahmed F. O., Elsheikh A. S. Uterine bacterial infection during postpartum delays the recrudescence of the reproductive traits in dairy cows. Journal of American Science. 2013. № 9 (6). P. 596.
10. Baruselli P. S. Intrinsic and extrinsic factors that influence ovarian environment and efficiency of reproduction in cattle. Santana Batista. Animal reproduction. 2017. № 14 (1). Pp. 48-60.
11. Fricke P. M., Carvalho P. D., Giordano J. O., Valenza A., Lopes G. Jr., Amundson M. C. Expression and detection of estrus in dairy cows: the role of new technologies. Animal. 2014. N. 8. Pp. 134-143.
12. Shevtsova A. I. et al. Postpartum therapy of reproductive organs in high-yielding cows after multiple pregnancies. BIO Web of Conferences. 2025. 160 p.

References

1. Anzarov V. A., Abasov Sh. M. Mastitis and reproductive function of cows. Bulletin of the Chechen State University. 2017. № 4 (28). P. 9.
2. Bakanova K. A. et al. Verification of the diagnosis and therapy of cows with chronic endometritis. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2016. № 2 (42). Pp. 190-197.
3. Baltukhaeva T. A. et al. Obstetric and gynecological pathologies and causes of infertility in cows in the Irkutsk region. Bulletin of the Agro-Industrial Complex of the Stavropol Territory. 2015. № 3 (19). Pp. 65-68.
4. Bezborodov N. V., Tyurina S. F. Hormonal changes in the blood of cows with stimulation of reproductive function. Vestnik KrasGAU. 2016. № 4. Pp. 165-172.
5. Gamayunov V. M., Tselueva N. I. Application of hormonal drugs in cow infertility. International Veterinary Bulletin. 2022. № 4. Pp. 122-126.
6. Kocharyan V. D., Pereryadkina S. P., Faizulina N. S. Efficacy of Targeted Drug Delivery for the Prevention of Inflammatory Diseases of the Reproductive Organs in Cows in the Puerperal Period. News of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2019. № 4 (56). Pp. 162-170.
7. Nikitin V. Y. et al. On the prevention and treatment of obstetric and gynecological diseases of cows. Bulletin of the Agro-Industrial Complex of the Stavropol Territory. 2015. № 1. Pp. 19-22.
8. Fedotov S. V. et al. Diagnosis and prevention of symptomatic infertility in cows. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2016. № 11. Pp. 118-123.
9. Ahmed F. O., Elsheikh A. S. Uterine bacterial infection during postpartum delays the recrudescence of the reproductive traits in dairy cows. Journal of American Science. 2013. № 9 (6). P. 596.
10. Baruselli P. S. Intrinsic and extrinsic factors that influence ovarian environment and efficiency of reproduction in cattle. Santana Batista. Animal reproduction. 2017. № 14 (1). Pp. 48-60.
11. Fricke P. M., Carvalho P. D., Giordano J. O., Valenza A., Lopes G. Jr., Amundson M. C. Expression and detection of estrus in dairy cows: the role of new technologies. Animal. 2014. N. 8. Pp. 134-143.
12. Shevtsova A. I. et al. Postpartum therapy of reproductive organs in high-yielding cows after multiple pregnancies. BIO Web of Conferences. 2025. 160 p.

Информация об авторах

Кочарян Артем Каренович, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: artem21188@yandex.ru

Шевцова Алевтина Игоревна, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: alevtinka.yurkina@mail.ru

Кочарян Валентина Даниловна, кандидат биологических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7519-5883>, e-mail: kvd707@mail.ru

Баканова Ксения Алексеевна, кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: kseniya.golutvina.92@mail.ru

Authors' Information

Kocharyan Artem Karenovich, postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: artem21188@yandex.ru

Shevtsova Alevtina Igorevna, postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: alevtinka.yurkina@mail.ru

Kocharyan Valentina Danilovna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7519-5883>, e-mail: kvd707@mail.ru

Bakanova Kseniya Alekseevna, Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: kseniya.golutvina.92@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-46

THE ECONOMIC EFFICIENCY ASSESSMENT OF BREEDING THE KAZAKHSKAYA WHITE-HEADED BULLS OF THE DIFFERENT GENETIC GROUPS

Tleulenov Zh. M.

*Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
Moscow, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: t_zhumadiya@mail.ru

Received 28.11.2025

Submitted 26.01.2026

The research was conducted as part of the preparation of a thesis for the degree of Candidate of Science.

Summary

The article presents the results of a comparative analysis of the production and economic indicators of breeding bull calves of the Kazakhskaya white-headed breed of the Veteran 7880 line and their peers, for which feeding rations were developed taking into account the age-related needs of the animals. The analysis was carried out of feed costs per 1 kg of weight gain, feed ration structure, and key economic parameters: live weight, production costs, profit and profitability. The data obtained indicate the advantage of the group of breeding bulls of the Veteran 7880 line, where, with similar feed costs, a higher live weight is achieved, which leads to an increase in net profit and profitability of product sales. The results confirm the effectiveness of linear breeding, optimized diets and technologies for increasing productivity and economic returns in breeding livestock.

Abstract

Introduction. The development of pedigree livestock breeding is one of the key factors in increasing the productivity and economic efficiency of beef cattle farming and plays a strategic role in ensuring food security and sustainable development of agriculture in Kazakhstan. The Kazakhskaya White-headed breed occupies a significant place in the domestic gene pool, distinguished by its high adaptability to local conditions and good meat qualities, along with high adaptability to extreme climatic conditions and significant genetic potential. In modern conditions, special attention is paid to assessing the economic efficiency of raising bull calves of different genetic groups, which allows for optimizing costs and increasing production profitability.

Object. The object of the study was breeding bull calves of the Kazakhskaya white-headed breed aged 8 to 15 months: an experimental group (n=15) of the 'Veteran 7880' line and a control group (n=15) of peers descended from breeding bulls of the Kazakhskaya white-headed breed. **Materials and methods.** Research on Kazakhskaya white-headed pedigree cattle was conducted at Krymskoe LLP (Kostanay Region, Kazakhstan), which breeds and sells pedigree cattle. All animals are registered in the livestock information and analysis system (<https://plem.kz>) and in the republican breed chamber. **Results and conclusion.** The analysis of the feeding rations of breeding bulls aged 8-15 months shows that, on average, one energy feed unit contained 76.53-78.66 g of digestible protein, 1 kg of dry matter contained 9.58-10.43 MJ of metabolizable energy, the crude fiber level was within the recommended norms, and the calcium-phosphorus ratio exceeded the recommended norms with an average ratio of 2.87:1, while the starch level was 213.68-263.04 g/kg of dry matter. The superiority of breeding bulls of the Veteran 7880 line from 8 to 15 months of age was established, where the breeding bulls of the experimental group exceeded their peers of the Kazakhskaya white-headed breed by 7,966.8 rubles in net profit or 8.5 % in profitability.

Keywords: *Kazakhskaya white-headed cattle breed, Kazakhskaya white-headed cattle steers, genealogical lines, rations of steers, feeding of steers, profitability of cattle breeding, economic efficiency of cattle breeding.*

Citation. Tleulenov Zh. M. The economic efficiency assessment of breeding the Kazakhskaya white-headed bulls of the different genetic groups. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 435-440 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-46.

Author's contribution. The author of this scientific article was directly involved in the planning, conduct and analysis of this study. The author of this article has read and approved the final version presented.

Conflict of interest. The author declares that there is no conflict of interest.

УДК 636.2.082.2

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ ПЛЕМЕННЫХ БЫЧКОВ КАЗАХСКОЙ БЕЛОГОЛОВОЙ ПОРОДЫ РАЗЛИЧНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ГРУПП

Тлеуленов Ж. М., аспирант

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»
г. Москва, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.

Актуальность. Развитие племенного животноводства является одним из ключевых факторов повышения продуктивности и экономической эффективности мясного скотоводства и играет стратегическую роль в обеспечении продовольственной безопасности и устойчивого развития сельского хозяйства Казахстана. Казахская белоголовая порода занимает значимое место в отечественном генофонде, отличаясь высокой адаптацией к местным условиям и хорошими мясными качествами, наряду с высокой адаптацией к экстремальным климатическим условиям и значительным генетическим потенциалом. В современных условиях особое внимание уделяется оценке экономической эффективности выращивания бычков различных генетических групп, что позволяет оптимизировать затраты и повысить рентабельность производства. **Объект.** Объектом исследований являлись племенные бычки казахской белоголовой породы в возрасте от 8 до 15 месяцев: опытная группа ($n = 15$) линии «Ветеран 7880»; контрольная группа ($n = 15$) – сверстники, происхождением от племенных бычков-производителей казахской белоголовой породы. **Материалы и методы.** Исследования племенного крупного рогатого скота казахской белоголовой породы проводились в ТОО «Крымское» (Костанайская область, Казахстан), занимающемся разведением и реализацией племенного крупного рогатого скота. Все животные зарегистрированы в информационно-аналитической системе животноводства (<https://plem.kz>) и в республиканской породной палате. **Результаты и выводы.** Анализ рационов кормления племенных бычков в период 8-15 месяцев, показывает, что в среднем на одну энергетическую кормовую единицу приходилось 76,53-78,66 г переваримого протеина, в 1 кг сухого вещества содержалось 9,58-10,43 МДж обменной энергии, уровень сырой клетчатки был в пределах рекомендуемых норм, а соотношение кальция и фосфора превышало рекомендуемые нормы со средним соотношением 2,87:1, при этом уровень крахмала составил 213,68-263,04 г/кг сухого вещества. Установлено превосходство племенных бычков линии «Ветеран 7880» в возрасте от 8 до 15 месяцев, где племенные бычки опытной группы превышали сверстников казахской белоголовой породы на 7966,8 рублей чистой прибыли, или на 8,5 % рентабельности.

Ключевые слова: казахская белоголовая порода КРС, бычки казахской белоголовой породы, генеалогические линии, рационы бычков, кормление бычков, рентабельность скотоводства, экономическая эффективность скотоводства.

Цитирование. Тлеуленов Ж. М. Оценка экономической эффективности выращивания племенных бычков казахской белоголовой породы различных генетических групп. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 435-440. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-46.

Авторский вклад. Автор данной научной статьи принимал непосредственное участие в планировании, проведении и анализе данного исследования. Автор данной статьи прочитал и одобрил представленную окончательную версию.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Развитие племенного животноводства является одним из ключевых факторов повышения продуктивности и экономической эффективности мясного скотоводства и играет стратегическую роль в обеспечении продовольственной безопасности и устойчивого развития сельского хозяйства Казахстана [1, 2]. Казахская белоголовая порода занимает значимое место в отечественном генофонде, отличаясь высокой адаптацией к местным условиям и хорошими мясными качествами, наряду с высокой адаптацией к экстремальным климатическим условиям и значительным генетическим потенциалом [3]. В современных условиях особое внимание уделяется оценке экономической эффективности выращивания бычков различных генетических групп, что позволяет оптимизировать затраты и повысить рентабельность производства [4, 5].

В последние годы исследователи отмечают, что рациональное кормление и учет генетических особенностей животных оказывают существенное влияние на прирост живой массы, затраты корма, а также на экономические показатели хозяйств [6, 7]. В мировой практике вопросы оптимизации кормления и селекции мясного скота активно изучаются. Так, в работах зарубежных авторов отмечается, что генетическая дифференциация животных и применение сбалансированных рационов способствуют улучшению прироста массы, снижению затрат на корма и повышению экономической эффективности производства [8, 9, 10].

Анализ экспериментальных данных, полученных в ходе сравнительного исследования опытной и контрольной групп бычков казахской белоголовой породы, выявил существенные различия в производственных и экономических показателях. Для опытной группы были разработаны рационы кормления, учитывающие возрастные и генетические особенности животных. Это позволило достичь более высокой живой массы к 15 месяцам, увеличить чистую прибыль и рентабельность реализации продукции при сходных затратах корма по сравнению с контрольной группой.

Полученные результаты согласуются с выводами отечественных и зарубежных исследователей, подчеркивающих важность рационального кормления, селекции и учета генетических факторов для повышения продуктивности и экономической отдачи мясного скотоводства [11, 12].

Таким образом, актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью внедрения современных технологий кормления и селекции, а также анализа экономических показателей выращивания бычков казахской белоголовой породы различных генетических групп [13] для повышения эффективности и конкурентоспособности отечественного животноводства.

Цель исследования является проведение оценки экономической эффективности выращивания племенных бычков казахской белоголовой линии «Ветеран 7880» в сравнении со сверстниками.

Материал и методы. Исследования племенного крупного рогатого скота казахской белоголовой породы проводились в ТОО «Крымское» (Костанайская область, Казахстан), занимающемся разведением и реализацией племенного крупного рогатого скота. Все животные зарегистрированы в информационно-аналитической системе животноводства (<https://plem.kz>) и в республиканской породной палате. Объектом исследований являлись племенные бычки казахской белоголовой породы в возрасте от 8 до 15 месяцев: опытная группа (n = 15) линии «Ветеран 7880», – контрольная группа (n = 15) – сверстники, происхождением от племенных быков-производителей казахской белоголовой породы.

Данные о живых массах племенных бычков были получены в ходе проведения исследований, путем взвешивания утром перед кормлением в возрасте 8, 12 и 15 месяцев. Данные о расходе кормов и экономические показатели получены из систем внутрихозяйственного и бухгалтерского учета хозяйствующего субъекта. Показатели питательности и химического состава рациона получены путем расчета по данным А. П. Калашникова и др. (2015). Полученный материал был обработан методом вариационной статистики (Н. А. Плохинский, 1969), оценку достоверности различий между группами оценивали по t-критерию Стьюдента, с применением программы Microsoft Excell.

Результаты и обсуждение. Рационы исследуемых племенных бычков были сбалансированы по питательности и периодически менялись в зависимости от возраста животных, живой массы и интенсивности роста.

В среднем за период опыта рацион животных (таблица 1) состоял из сена разнотравного – 3,13 кг, силоса кукурузного – 11,25 кг, сенажа – 6 кг, дерти ячменной – 3,73 кг, мела – 50 г и соли 35-50 г. В рационе содержалось в среднем 9,38 кг сухого вещества, 9,4 энергетические кормовые единицы и 94,2 МДж обменной энергии при 729,4 г переваримого протеина. Структура рациона была следующая: грубые корма – 16,2 %, сочные – 64,8 % и концентрированные – 19 %.

Анализ рационов кормления племенных бычков в период 8-15 месяцев, представленный в таблице 1, показывает, что в среднем на одну энергетическую кормовую единицу приходилось 76,53-78,66 г переваримого протеина, в 1 кг сухого вещества содержалось 9,58-10,43 МДж обменной энергии, уровень сырой клетчатки был в пределах рекомендуемых норм, а соотношение кальция и фосфора превышало рекомендуемые нормы со средним соотношением 2,87:1, при этом уровень крахмала составил 213,68-263,04 г/кг сухого вещества.

Таблица 1 – Рационы кормления племенных бычков
Table 1 – Feed rations for breeding bulls

№ п/п	Показатели / Indicators	Возраст, мес. / Age, month			
		8-9	10-11	12-13	14-15
1	сено разнотравное, кг / mixed grass hay, kg	2,5	3	3,5	3,5
2	силос кукурузный, кг / corn silage, kg	11	12	14	8
3	сенаж разнотравный, кг / mixed grass haylage, kg	-	-	-	6
4	дерть ячменная, кг / barley, kg	3,5	3,7	3,7	4
5	мел, г / chalk, g	50	50	50	50
6	соль, г / salt, g	35	35	45	50
В рационе содержится / The diet contains					
7	ЭКЕ / EKE	8,2	9,0	9,8	10,6
8	ОЭ, МДж / ОЕ, MJ	82,4	90,2	97,9	106,3
9	сухого вещества, кг / dry matter, kg	7,9	8,8	9,7	11,1
10	сырого протеина, г / crude protein, g	1024,0	1121,8	1213,8	1344,0
11	переваримого протеина, г / digestible protein, g	645,0	701,7	750,2	820,7
12	сырой клетчатки, г / crude fiber, g	1515,0	1713,0	1980,0	2458,2
13	крахмала, г / starch, g	2078,0	2204,0	2226,0	2371,8
14	сырого жира, г / crude fat, g	227,5	253,5	286,5	294,6
15	кальция, г / calcium, g	71,6	76,5	82,7	74,5
16	фосфора, г / phosphorus, g	19,2	21,0	22,7	26,0

Современные условия рыночной экономики в животноводстве существенно повышают роль таких показателей как себестоимость производства продукции и уровень рентабельности, которые характеризуют выгодность племенного животноводства (таблица 2).

Таблица 2 – Экономическая эффективность и рентабельность производства
Table 2 – Economic efficiency and profitability of production

№ п/п	Показатель / Indicator	Единица измерения / Unit of measurement	Опытная / Experimental	Контрольная / Control
1	Живая масса в 8 месяцев / Live weight at 8 months	кг / kg	228,47 ± 2,56	220,87 ± 1,96
2	Живая масса в 15 месяцев / Live weight at 15 months	кг / kg	408,87 ± 3,85	386,74 ± 6,23
3	Себестоимость выращивания 1 головы / The cost of growing 1 head	тенге / tenge	456 353	456 353
		рубль* / ruble*	91 270,6	91 270,6
4	Затраты на подтверждение отцовства и оценку племенной ценности / Costs of proof of paternity and assessment of breeding value	тенге / tenge	10 000	10 000
		рубль / ruble	2 000,00	2 000,00
5	Всего затрат на выращивание 1 головы / Total cost of growing 1 head	тенге / tenge	466 353	466 353
		рубль / ruble	93 270,6	93 270,6
6	Рыночная цена реализации за 1 кг живой массы / Market selling price per 1 kg of live weight	тенге / tenge	1 800	1 800
		рубль / ruble	360	360
7	Выручка от реализации 1 головы / Proceeds from the sale of 1 head	тенге / tenge	735 966	696 132
		рубль / ruble	147 193	139 226
8	Чистая прибыль от реализации одной головы / Net profit from the sale of one head	тенге / tenge	269 613	229 779
		рубль / ruble	53 922,6	45 955,8
9	Рентабельность / Profitability	%	57,8	49,3

* средний курс рубль-тенге: 5 тг/руб. (курс Национального банка Республики Казахстан на март 2022 года)

* average ruble-tenge exchange rate: 5 tenge/RUB (exchange rate of the National Bank of the Republic of Kazakhstan as of March 2022)

Анализ экономической эффективности и рентабельности выращивания племенных бычков, представленный в таблице 2, показал различие генетического потенциала племенных бычков линии «Ветеран 7880» над сверстниками, где разница чистой прибыли составила 7 966,8 рублей, а рентабельность опытной группы превышала контрольную группу на 8,5 % при одинаковых условиях содержания и кормления.

Закключение. Одинаковые условия содержания и кормления исследуемых животных оказали существенное влияние на проявление генотипов племенных бычков линии «Ветеран 7880» над сверстниками, где при силосно-сенажно-концентратном типе кормления, покрывавшем основные потребности в питательных веществах, в среднем на 1 кг сухого вещества приходилось переваримого протеина – 81,65 г, сырой клетчатки – до 221,46 г, крахмала – до 263 г и сырого жира – до 28,8 г.

Установлено превосходство племенных бычков линии «Ветеран 7880» в возрасте от 8 до 15 месяцев, где племенные бычки опытной группы превышали сверстников казахской белоголовой породы на 7 966,8 рублей чистой прибыли, или на 8,5 % рентабельности.

Conclusion. Identical conditions of keeping and feeding the studied animals had a significant effect on the manifestation of genotypes of breeding bulls of the Veteran 7880 line over their peers, where with a silage-hay-concentrate type of feeding, covering the basic nutritional needs, on average, 1 kg of dry matter contained 81.65 g of digestible protein, up to 221.46 g of crude fiber, up to 263 g of starch, and up to 28.8 g of crude fat.

The superiority of breeding bulls of the Veteran 7880 line aged 8 to 15 months was established, where the breeding bulls of the experimental group exceeded their peers of the Kazakh white-headed breed by 7,966.8 rubles in net profit or 8.5 % in profitability.

Библиографический список

1. Kazambayeva A., Tarshilova L., Zhangaliyeva Y. Beef cattle breeding of the West Kazakhstan region: justification of optimal parameters. *Problems of AgriMarket*. 2022. No 3. Pp. 145-154.
2. Dalimunthe R. M., Suwardi Lubis, Sinar Indra Kesuma S. I. Strategic Development of Beef Cattle Farming Based on Regional Potential to Enhance Food Security: Evidence from Deli Serdang Regency, Indonesia. *South Asian Journal of Social Studies and Economics*. 2025. No 22 (7). Pp. 125-134.
3. Beishova I. et al. Population Analysis and Genetic Structure of Two Kazakh Cattle Breeds Using 150K SNP. *HAYATI Journal of Biosciences*, 2022. No 29 (3). Pp. 301-309.
4. Хайруллина Н. И., Фенченко Н. Г., Шамсутдинов Д. Х., Шагалиев Ф. М. Эффективность использования генетического потенциала быков-производителей различных линий. *Молочное и мясное скотоводство*. 2020. № 6. С. 24-26.
5. Сулейменова З., Нұрғазы, К., Нұрғазы В., Бисенов У., Мукаш Г. Биологическая ценность и технологические показатели мяса у бычков мясных пород разных генотипов в условиях агрохолдинга «БАЙСЕРКЕ-АГРО». *Experimental Biology*. 2022. № 93 (4). С. 96-106.
6. Калашников А. П. и др. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. М.: 2015.
7. Калмагамбетов М. Б., Баймуханов А. Б., Шералиева Ж. Е. Влияние оптимального рациона кормления на выращивание молодняка крупного рогатого скота. *Проблемы агробизнеса*. 2021. № 2. С. 100-107.
8. Arthur P. F., Herd R. M. Genetic improvement of feed efficiency of beef cattle: what lessons can be learnt from other species? *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 2001.
9. Bourdon R. M. Understanding Animal Breeding. Pearson. 1997. <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/understanding-animal-breeding/P200000003.html>
10. Basarab J. A. et al. Residual feed intake and body composition in beef cattle. *Journal of Animal Science*. 2003.
11. Ojo A. O., Mulim H. A., Campos G. S., Junqueira V. S., Lemenager R. P., Schoonmaker J. P., Oliveira H. R. Exploring Feed Efficiency in Beef Cattle: From Data Collection to Genetic and Nutritional Modeling. *Animals*. 2024. No 14 (24). 3633.
12. Волкова Е. А., Бондарев Н. С. Кормопроизводство и кормоиспользование - основные факторы повышения экономической эффективности скотоводства. *Экономика и предпринимательство*. 2024. № 8 (169). С. 351-358.
13. Гумеров М., Горелик О., Найманов Д., Бисембаев А. Рост и развитие ремонтного молодняка казахской белоголовой породы крупного рогатого скота. *Главный зоотехник*. 2018. № 9.

References

1. Kazambayeva A., Tarshilova L., Zhangaliyeva Y. Beef cattle breeding of the West Kazakhstan region: justification of optimal parameters. *Problems of AgriMarket*. 2022. No 3. Pp. 145-154.
2. Dalimunthe R. M., Suwardi Lubis, Sinar Indra Kesuma S. I. Strategic Development of Beef Cattle Farming Based on Regional Potential to Enhance Food Security: Evidence from Deli Serdang Regency, Indonesia. *South Asian Journal of Social Studies and Economics*. 2025. No 22 (7). Pp. 125-134.
3. Beishova I. et al. Population Analysis and Genetic Structure of Two Kazakh Cattle Breeds Using 150K SNP. *HAYATI Journal of Biosciences*, 2022. No 29 (3). Pp. 301-309.
4. Khairullina N. I., Fenchenko N. G., Shamsutdinov D. Kh., Shagaliev F. M. Efficiency of using the genetic potential of breeding bulls of various lines. *Dairy and beef cattle breeding*. 2020. No. 6. Pp. 24-26.
5. Suleimenova Z., Nurgazy, K., Nurgazy B., Bisenov U., Mukash G. Biological value and technological parameters of meat from beef cattle of different genotypes in the conditions of the BAISERKE-AGRO agricultural holding. *Experimental Biology*. 2022. No. 93 (4). Pp. 96-106.

6. Kalashnikov A. P. et al. Norms and rations of feeding farm animals. Moscow: 2015.
7. Kalmagambetov M. B., Baymukhanov A. B., Sheralieva Zh. E. The influence of optimal feeding ration on the rearing of young cattle. Problems of the agricultural market. 2021. No. 2. Pp. 100-107.
8. Arthur P. F., Herd R. M. Genetic improvement of feed efficiency of beef cattle: what lessons can be learnt from other species? Australian Journal of Experimental Agriculture. 2001.
9. Bourdon R. M. Understanding Animal Breeding. Pearson. 1997. <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/understanding-animal-breeding/P200000003.html>
10. Basarab J. A. et al. Residual feed intake and body composition in beef cattle. Journal of Animal Science. 2003.
11. Ojo A. O., Mulim H. A., Campos G. S., Junqueira V. S., Lemenager R. P., Schoonmaker J. P., Oliveira H. R. Exploring Feed Efficiency in Beef Cattle: From Data Collection to Genetic and Nutritional Modeling. Animals. 2024. No 14 (24). 3633.
12. Volkova E. A., Bondarev N. S. Feed production and feed use are the main factors in increasing the economic efficiency of cattle breeding. Economics and entrepreneurship. 2024. No. 8 (169). Pp. 351-358.
13. Gumerov M., Gorelik O., Naimanov D., Bisembayev A. Growth and development of the repair young of the Kazakh white-headed cattle breed. The chief zootechnician. 2018. № 9.

Информация об авторах

Тлеуленов Жумадия Муратбекович, аспирант, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (Российская Федерация, г. Москва, Пасечная улица, 2), e-mail: t_zhumadiya@mail.ru

Author's Information

Tleulenov Zhumadiya Muratbekovich, postgraduate student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Russian Federation, Moscow, Pasechnaya Street, 2), e-mail: t_zhumadiya@mail.ru

**АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ /
AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES**

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-47

**THE DEVELOPMENT OF THE DIGITAL AUTOMATED MOTION SYSTEM FOR THE ROBOTIC
COMPLEX OF MACHINES FOR STORING POTATOES AND VEGETABLE CROPS****Dorokhov A. S., Sibiryov A. V., Mosyakov M. A.***Federal Scientific Agroengineering Center VIM
Moscow, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: bozhkova@mail.ru

Received 30.09.2025

Submitted 15.11.2025

Abstract

Introduction. To ensure the proper quality of the main technological operations for the production of planting material, it is necessary to develop machine-technological work complexes in accordance with the strategy of scientific and technological development of the Russian Federation in terms of the development of digital systems of automated movement of a robotic complex of machines for storing potatoes and vegetable crops. **Object.** The object of the study is a robotic complex of machines for storing potatoes and vegetable crops. **Materials and methods.** The study utilized numerical methods for solving analytical dependencies and automated image processing algorithms for detecting biological objects - potato tubers. In solving the identified problems, the basic approach is theoretical research of the operation of a robotic complex of machines for storing potatoes and vegetable crops. **Results and conclusions.** A robotic complex of machines for storing potatoes and vegetable crops and the main elements of the machine's digital system have been developed, and analytical patterns of the functioning of the digital system of automated movement of a robotic complex of machines for storing potatoes and vegetable crops have been obtained. The function of minimizing the movement of the tuber-bearing heap across the storage area, the transfer functions of the digital system of automated movement of the conveyor-picker W_{ψ} and W_s according to the control action relative to the heading angle and distance have been established.

Keywords: potato storage, vegetable storages, automation of vegetable storages, pick-up transporters.

Citation. Dorokhov A. S., Sibiryov A. V., Mosyakov M. A. The development of the digital automated motion system for the robotic complex of machines for storing potatoes and vegetable crops. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 441-448 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-47.

Authors' contribution. A. S. Dorokhov – conceptualization, A. V. Sibirev – methodology, M. A. Mosyakov – writing – original draft preparation, formal (literature and patent) analysis. The authors carried out theoretical studies and prepared a manuscript based on the results obtained. Dorokhov A. S., Sibirev A. V., Aksenov A. G., Mosyakov M. A. have copyright on the article and are responsible for plagiarism

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.532.2+631.331.072.3

**РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ДВИЖЕНИЯ
РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА МАШИН ДЛЯ ЗАКЛАДКИ НА ХРАНЕНИЕ
КАРТОФЕЛЯ И ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР**

Дорохов А. С., академик РАН, доктор технических наук, главный научный сотрудник
Сибирёв А. В., доктор технических наук, главный научный сотрудник
Мосяков М. А., кандидат технических наук, старший научный сотрудник

*Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ
г. Москва, Российская Федерация*

Актуальность. Для обеспечения надлежащего качества выполнения основных технологических операций по производству посадочного материала необходимо обеспечить разработку машинно-технологических комплексов работ в соответствии со стратегией научно-технологического развития РФ в части разработки цифровой системы автоматизированного движения роботизированного комплекса машин для закладки на хранение картофеля и овощных культур. **Объект.** Объектом исследований является роботизированный комплекс машин для закладки на хранение картофеля и овощных культур. **Материалы и методы.** При проведении исследований использованы численные методы решения аналитических зависимостей, автоматизированные алгоритмы обработки изображений для обнаружения биологических объектов – клубней картофеля. При решении намеченных задач базовым подходом являются теоретические исследования процесса работы роботизированного комплекса машин для закладки на хранение картофеля и овощных культур. **Результаты и выводы.**

Разработаны роботизированный комплекс машин для закладки на хранение картофеля и овощных культур, основные элементы цифровой системы машины, получены аналитические закономерности функционирования цифровой системы автоматизированного движения роботизированного комплекса машин для закладки на хранение картофеля и овощных культур. Установлена функция минимизации перемещения клубненоносного вороха по площади хранилища, передаточные функции цифровой системы автоматизированного движения транспортера-подборщика W_{ψ} и W_s по управляющему воздействию относительно курсового угла и расстояния.

Ключевые слова: хранение картофеля, овощехранилища, автоматизация овощехранилищ, транспортеры-подборщики.

Цитирование. Дорохов А. С., Сибирев А. В., Мосяков М. А. Разработка цифровой системы автоматизированного движения роботизированного комплекса машин для закладки на хранение картофеля и овощных культур. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 441-448. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-47.

Авторский вклад. А. С. Дорохов – формулирование основной концепции исследования, А. В. Сибирев – разработка методологии исследования, М. А. Мосяков – подготовка начального варианта текста, формирование выводов, литературный и патентный анализ. Авторы выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов подготовили рукопись. А. С. Дорохов, А. В. Сибирев, М. А. Мосяков имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Технологический суверенитет Российской Федерации неразрывно связан с обретением продовольственной безопасности страны, что в современных условиях сельскохозяйственного производства невозможно обеспечить без широкого внедрения в конструкции машинно-технологических комплексов автоматизированных систем контроля и управления технологического процесса работы машин [1-3].

В связи с тем, что наиболее энергоемкой технологической операцией производства любой сельскохозяйственной культуры являются операции уборки и послеуборочной обработки урожая в последнее время наблюдается тенденция оснащения данных машин системами цифрового контроля и управления без использования труда оператора. Кроме того, следует отметить то обстоятельство, что в отличие от сельскохозяйственных культур с надземным плодоношением, уборка продукции, например картофеля, приводит к подъёму, помимо товарной продукции, также и больших объемов почвы, которую при дальнейшем выполнении процесса производства картофеля необходимо также обработать до состояния, исключающего ее транспортировку с поля непосредственно на уборочной машине [4, 5].

Аналогичная тенденция прослеживается также и при послеуборочной обработке картофеля и закладке на хранение, от качества выполнения которых зависит сохранность клубней картофеля и последующая урожайность продукции.

Решение данной проблемы невозможно обеспечить без модернизации технологических процессов и их совершенствования в соответствии со стратегией научно-технологического развития РФ, в части разработки цифровой системы автоматизированного движения машин производства картофеля [4-6].

Цель исследований – разработка цифровой системы движения автоматизированной машины для закладки на хранение картофеля и овощных культур.

Материалы и методы. При проведении исследований использованы численные методы решения аналитических зависимостей, автоматизированных алгоритмов обработки изображений для обнаружения вредителей и болезней на растениях картофеля.

При решении намеченных задач базовым подходом являются теоретические исследования процесса работы роботизированного комплекса машин для закладки на хранение картофеля и овощных культур.

Результаты и обсуждение. Процесс движения машины для загрузки картофеля и овощных культур в хранилище определяется зависимостью:

$$T_i = \frac{\sum_j l_k}{v_i} + \sum_j \frac{V_j}{W_{ij}}, \quad (1)$$

где l_k – объем перемещений машины для загрузки хранилища, м³; v_i – поступательная скорость движения машины для загрузки хранилища, м/с; V_j – объем работ на технологической операции, м³; W_{ij} – производительность машины для загрузки хранилища на текущей операции, м³/ч; i – номер рабочего органа машины для загрузки хранилища; j – номер операции выполняемой машиной для загрузки хранилища.

Отличительной особенностью роботизированного комплекса машин для закладки на хранение, состоящего из автоматизированного подборщика 1 и системы транспортеров 2 с электрофизическими методами воздействия, реализующее УФ-излучение товарной продукции является автоматическая система поворота подборщика, а именно, регулировка ограничения угла поворота производится с помощью датчиков, которые серийно расположены справа и слева на головной части погрузчика, а при дополнительном оснащении – на ходовой части.

Электрический привод колес обеспечивает бесступенчатую регулировку скорости поворота без создающих помехи колебательных движений, что способствует решению проблемы неравномерного заполнения хранилища по причине отсутствия возможности регулировки (рисунок 1).



1 – подборщик автоматизированный; 2 – система транспортеров
1 – automated picker; 2 – conveyor system

Рисунок 1 – Общий вид роботизированного комплекса машин для закладки на хранение картофеля и овощных культур

Figure 1 – General view of a robotic complex of machines for storing potatoes and vegetable crops

Кинематическая схема роботизированного комплекса машин для закладки на хранение картофеля и овощных культур представлена на рисунке 2.

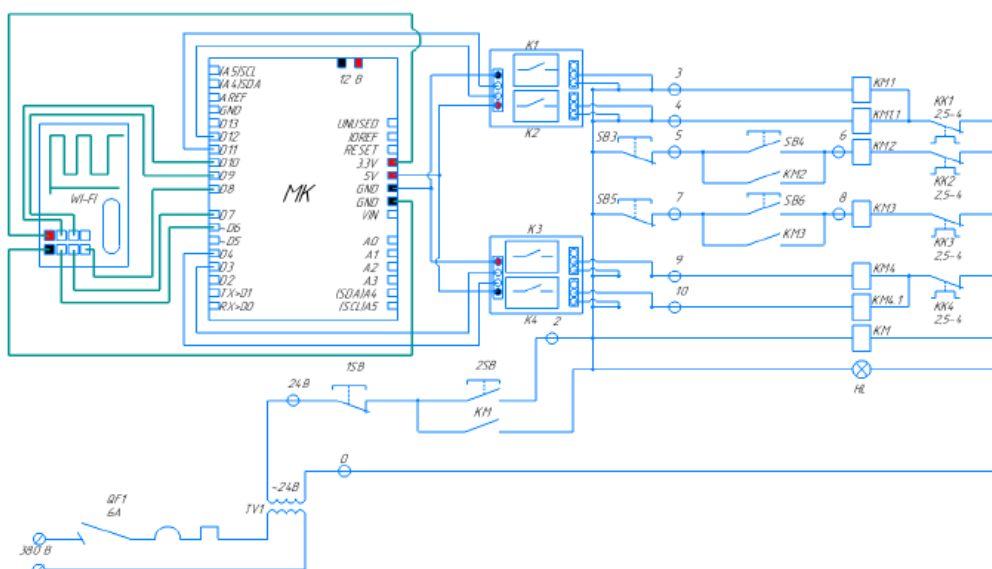


Рисунок 2 – Принципиальная схема управления приводными колесами
Figure 2 – Schematic diagram of the drive wheel control

Привод автоматизированного подборщика осуществляется электродвигателем 5 через редуктор от сети переменного тока. При перемещении материала по системе транспортеров 6 и уменьшении объема насыпи в хранилище выполняется включение электродвигателя привода движения подборщика и дальнейшего его перемещения в ворох корнеплодов с последующим распределением по объему хранилища.

Важным показателем работы автоматических и полуавтоматических механизмов является точность позиционирования устройства [7-9].

Этапом совершенствования системы автоматического вождения транспортера-подборщика для закладки на хранение картофеля и овощных культур является осуществление релейно-импульсного принципа управления, который в сочетании со схемой форсированного включения и отключения электромагнитного распределителя позволяет получать высокую и стабильную во времени точность управления положением управляемых колес: от 0,15 до 0,3 градусов.

Если рассматривать самоходную машину как твердое тело, ее движение относительно фиксированной в пространстве системы координат x_0, y_0, z_0 можно описать следующими векторными уравнениями:

$$\begin{cases} \vec{F} = m \frac{d\vec{v}_c}{dt}, \\ \vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt}, \end{cases} \quad (2)$$

где $\vec{F}$ и $\vec{M}$ – соответственно главный вектор и главный момент всех внешних сил, действующих на систему; m – масса машины, кг; $\vec{v}_c$ – скорость центра масс, м/с; $\vec{L}$ – момент количества движения машины относительно центра масс, Н/м.

Для того чтобы записать систему уравнений (4) в новой системе координат, заметим, что производная вектора во вращающейся системе координат равна его производной относительно системы координат плюс скорость конца вектора, вызванная вращением координат. Определим производную вектора $\vec{N}$ во вращающейся с угловой скоростью $\vec{\omega}$ системе координат XYZ. Для этого разложим вектор $\vec{N}$ по ортам:

$$\vec{N} = iN_x + jN_y + kN_z, \quad (3)$$

Обозначив через:

$$\frac{\delta \vec{N}}{\delta t} = i \frac{dN_x}{dt} + j \frac{dN_y}{dt} + k \frac{dN_z}{dt}. \quad (4)$$

производную вектора $\vec{N}$ относительно системы координат, связанной с машиной, и учитывая, что:

$$\frac{di}{dt} = \vec{\omega} \cdot i; \frac{dj}{dt} = \vec{\omega} \cdot j; \frac{dk}{dt} = \vec{\omega} \cdot k, \quad (5)$$

Получим:

$$\frac{d\vec{N}}{dt} = \frac{\delta \vec{N}}{\delta t} + (\vec{\omega} \cdot \vec{N}), \quad (6)$$

где $(\vec{\omega} \cdot \vec{N})$ – скорость конца вектора, вызванная вращением системы координат, м/с.

Учитывая выражения (5) и (6) имеем, что:

$$\begin{cases} \vec{F} = m \frac{\delta \vec{v}_c}{\delta t} + m \vec{\omega} \cdot \vec{v}_c, \\ \vec{M} = \frac{\delta \vec{L}}{\delta t} + \vec{\omega} \cdot \vec{L}. \end{cases} \quad (7)$$

Конструкции датчиков – копиров и других устройств ориентации систем автоматического вождения выполняют так, чтобы они реагировали главным образом на изменения положения машины в горизонтальной плоскости [10].

Поэтому движение самоходной машины в качестве объекта в этих системах можно рассматривать как бы происходящим на плоскости и начало координат выбрать так, чтобы ось вращения была главной. Для задач вождения на рабочем гоне можно считать, что управляющее воздействие создает только момент M_p , вращающий машину относительно центра координат, то есть величина возникающей при этом силы, не приводимой к моменту, пренебрежимо мала. Это позволяет полагать, что скорость центра масс неизменна:

$$|\vec{v}_c| = \text{const, или } \frac{\delta \vec{v}_c}{\delta t} = 0. \quad (8)$$

Сделанные допущения позволяют значительно упростить уравнения (10), приведя их к виду:

$$\begin{cases} \vec{F} = \frac{mv_c^2}{p} \vec{n}, \\ \vec{M} = I \frac{d\vec{\omega}}{dt}. \end{cases} \quad (9)$$

где I – момент инерции машины относительно оси, перпендикулярной плоскости движения и проходящей через начало координат, кг/м^2 ; $\vec{n}$ – единичный вектор, направленный вдоль нормали к траектории движения центра координат; p – радиус кривизны этой траектории, м.

Если при движении транспортера-подборщика направление силы тяги $\vec{P}$ совпадает с направлением вектора скорости $\vec{v}$, то есть $\beta = 0$, то уравнения (8) и (9) примут соответственно следующий вид:

$$\frac{I}{b_3} \ddot{\psi} + \dot{\psi} = \frac{b_1}{b_3} \delta. \quad (10)$$

$$\frac{I}{b_3} \ddot{S} + \dot{S} = v \frac{b_1}{b_3} \delta, \quad (11)$$

а передаточные функции транспортера-подборщика в этом случае будут иметь значения:

$$\begin{cases} W_\psi = \frac{K_1}{(T_0 p + 1)p}, \\ W_S = \frac{K_2}{(T_0 p + 1)p^2}, \end{cases} \quad (12)$$

где $K_1 = \frac{b_1}{b_3} [\text{с}^{-1}]$; $K_2 = \frac{vb_1}{b_3} [\text{м} \cdot \text{с}^{-2}]$; $T_0 = \frac{I}{b_3} [\text{с}]$.

Передаточные функции, представленные выражением (19) справедливы для различных самоходных машин: гусеничных и колесных (с жесткой и шарнирно-сочлененной рамами), которые рассматриваются в виде твердого тела, движущегося на плоскости. В нашем случае угол поворота грабельной решетки датчика определяется величиной смещения оси валка относительно середины подборщика. Возникающее изменение положения валка относительно середины подборщика ликвидируется за счет смещения последнего на величину λ , которое достигается изменением направления движения комбайна в результате соответствующего поворота управляемых колес. Величина λ пропорциональна изменению курсового угла ψ (угол поворота комбайна относительно центра тяжести) и изменению расстояния S (боковое смещение комбайна), т.е.:

$$\lambda = K_3 \psi + S. \quad (13)$$

Учитывая, что ψ и S связаны с углом поворота δ управляемых колес передаточными функциями W_ψ и W_S , равенство можно записать так:

$$\lambda = (K_3 W_\psi + W_S) \delta. \quad (14)$$

Отсюда передаточная функция самоходного транспортера-подборщика как объекта в копирующей системе автовождения определяется выражением:

$$W_{\lambda} = \frac{\lambda(p)}{\delta(p)} = K_3 W_{\psi} + W_s, \quad (15)$$

или, пользуясь выражениями (13),

$$W_{\lambda} = \frac{K_1 K_3 p + K_2^*}{(T_0 p + 1)p^2}. \quad (16)$$

На управляемость самоходного транспортера-подборщика существенно влияет расположенный перед передними колесами заглубленный в ворох корнеплодов питатель.

Поэтому динамические характеристики самоходного транспортера-подборщика как объекта вождения определяются уравнениями (15) и (16).

На основании этого для самоходного транспортера-подборщика передаточная функция цифровой системы автоматизированного движения определяется выражением:

$$W_{\lambda} = \frac{k_2(T_4 p^2 + T_5 p + 1)}{(T_2 p^2 + T_1 p + 1)p^2}, \quad (17)$$

где $T_4 = \frac{K_3}{k_2} T_3 [c^2]$; $T_5 = \frac{K_3 k_1}{k_2} [c]$.

На основе проведенного математического моделирования можно предположить, что в базовом варианте систему навигации и управления роботизированным комплексом машин для закладки на хранение картофеля и овощных культур необходимо оборудовать спутниковой и инерциальной системами навигации.

Программное обеспечение цифровой системы автоматизированного движения роботизированного комплекса машин (РКМ) состоит из двух частей - операторской и бортовой (рисунок 3).

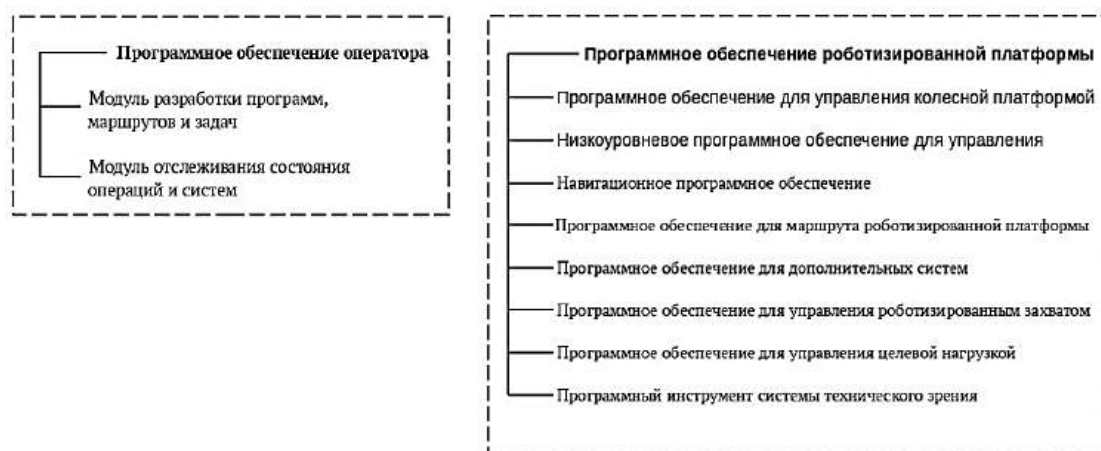


Рисунок 3 – Элементы программного обеспечения цифровой системы автоматизированного движения роботизированного комплекса машин (РКМ) для закладки на хранение картофеля и овощных культур

Figure 3 – Software elements of the digital automated motion system of the robotic machine complex (RKM) for storing potatoes and vegetable crops

Программное обеспечение роботизированного комплекса машин (РКМ) для закладки на хранение картофеля и овощных культур в соответствии с архитектурой было построено по модульному принципу и состояло из следующих основных элементов, представленных на рисунке 3 [11-12] и реализованных в конструкции роботизированного комплекса машин для закладки на хранение картофеля и овощных культур (рисунок 4).

Для проверки разработанных аналитических закономерностей функционирования цифровой системы автоматизированного движения роботизированного комплекса машин для закладки на хранение картофеля и овощных культур необходимо проведение экспериментальных исследований в производственных условиях выполнения технологического процесса движения по хранилищу с определением основных показателей оценки качества и работоспособности машины.

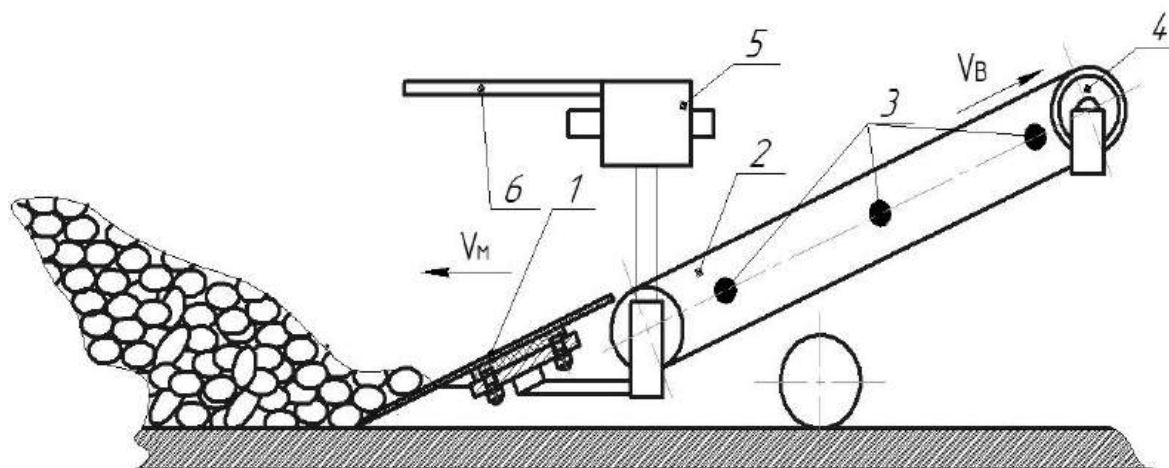


Рисунок 4 – Схема технологического процесса работы роботизированного комплекса машин для закладки на хранение картофеля и овощных культур

1 – питатель подпорный; 2 – транспортер выгрузной; 3 – датчик инерционный;
4 – ролик обводной; 5 – видеокамера; 6 – источник лазерный (диод)

Figure 4 – Diagram of the technological process of the robotic complex of machines for storing potatoes and vegetable crops

1 – back-up feeder; 2 – discharge conveyor; 3 – inertia sensor; 4 – bypass roller; 5 – video camera;
6 – laser source (diode)

Выводы. Разработаны функциональная и электрическая схемы автоматической системы контроля режимных и технологических параметров роботизированного комплекса машин для закладки на хранение картофеля и овощных культур. Разработанное программное обеспечение цифровой системы автоматизированного движения роботизированного комплекса машин (РКМ) состоит из двух частей – операторской и бортовой.

Установлена функция минимизации перемещения клубненосного вороха по площади хранилища, передаточные функции цифровой системы автоматизированного движения транспортера-подборщика W_ψ и W_s по управляющему воздействию относительно курсового угла и расстояния.

Установлено, что амплитуда полезного сигнала контроллера управления положением манипулятора составляет $\varphi_{\max} = 10^\circ$ при частоте $\omega_\varphi = 10^{-2}\text{с}^{-1}$, амплитуда помехи составляет $\gamma_{\max} = 5^\circ$ с частотой $\omega_\gamma = 8\text{с}^{-1}$. Полученное значение перемещения гидроцилиндров T_s соответствует максимальной скорости поворота исполнительного механизма извлекающего устройства относительно опорного бруса, соответствующее 3,15 град/с.

Conclusions. Functional and electrical circuits of an automatic control system for operating and technological parameters of a robotic complex of machines for storing potatoes and vegetable crops have been developed. The developed software of the digital automated motion system of the robotic complex of machines (RKM) consists of two parts – operator and on-board.

The function of minimizing the movement of the tuber-bearing pile over the storage area, the transfer functions of the digital automated motion system of the conveyor-picker W_ψ and W_s by control action relative to the heading angle and distance are established.

It was found that the amplitude of the useful signal of the manipulator position control controller is $\varphi_{\max} = 10^\circ$ at a frequency of $\omega_\varphi = 10^{-2}\text{с}^{-1}$ the interference amplitude is $\gamma_{\max} = 5^\circ$ with a frequency of $\omega_\gamma = 8\text{с}^{-1}$. The obtained displacement value of the hydraulic cylinders T_s corresponds to the maximum rotation speed of the actuator of the extraction device relative to the support bar, corresponding to 3.15 degrees/s.

Библиографический список

1. Петухов С. Н. Состояние технического и технологического обеспечения селекции и оригинального семеноводства картофеля. Агротехника и энергообеспечение. 2018. № 4. С. 76-84.
2. Лобачевский Я. П., Ценч Ю. С. Принципы формирования систем машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации технологических процессов в растениеводстве. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. № 16 (4). С. 4-12.
3. Лобачевский Я. П., Дорохов А. С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. № 15 (4). С. 6-10.

4. Федоренко В. Ф., Мишуков Н. П., Неменуца Л. А. Анализ состояния и перспективы развития селекции и семеноводства овощных культур: науч. анализ. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 96 с.
5. Лобачевский Я. П., Бейлис В. М., Ценч Ю. С. Аспекты цифровизации системы технологий и машин. Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2019. № 36. С. 40-45.
6. Казаков С. С., Живаев О. В., Никулин А. В. Конструкционные пути снижения повреждаемости клубней посадочного картофеля при работе цепочно-ложечного высаживающего аппарата. Тракторы и сельхозмашины. 2019. № 3. С. 29-34.
7. Гарист А. В. и др. Отчет Отделения сельскохозяйственных наук РАН о выполнении фундаментальных и поисковых научных исследований в 2017 г. М.: ОСХН РАН, 2018. 412 с.
8. Azizi P., Dehkordi N. S., Farhadi R. Design, Construction and Evaluation of Potato Digger with Rotary Blade. Cercetari Agronomice in Moldova. 2014. V. 47. Pp. 5-13.
9. Abd El-Rahman M. M. A. Development and Performance Evaluation of a Simple Grading Machine Suitable for Onion Sets. Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering. 2014. V. 2. Pp. 213-226.
10. Dandekar I. et al. Review Paper Based on Design and Development of an Onion Harvesting Machine. Journal of Information and Computational Science. 2019. V. 9. I. 12. Pp. 333-337.
11. Jothi Shanmugam C., Senthilkumar G. Indigenous Development of Low Cost Harvesting Machine. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. V. 12. I. 5. Pp. 4489-4490.
12. Bachche S. Deliberation on Design Strategies of Automatic Harvesting Systems: A Survey. Robotics. 2015. V. 4. I. 2. Pp. 194-222.

References

1. Petukhov S. N. The state of technical and technological support of potato breeding and original seed production. Agricultural machinery and energy supply. 2018. No 4. Pp. 76-84.
2. Lobachevsky Ya. P., Tsench Yu. S. Principles of formation of machine systems and technologies for complex mechanization and automation of technological processes in crop production. Agricultural machinery and technology. 2022. No 16 (4). Pp. 4-12.
3. Lobachevsky Ya. P., Dorokhov A. S. Digital technologies and robotic technical means for agriculture Agricultural machines and technologies. 2021. No 15 (4). Pp. 6-10.
4. Fedorenko V. F., Mishurov N. P., Nemenushaya L. A. Analysis of the state and prospects of development of breeding and seed production of vegetable crops: scientific review. Moscow: FSBI "Rosinformagrotech", 2019. 96 p.
5. Lobachevsky Ya. P., Beilis V. M., Tsench Yu. S. Aspects of digitalization of a system of technologies and machines. Electrical technologies and electrical equipment in the agro-industrial complex. 2019. No 36. Pp. 40-45.
6. Kazakov S. S., Zhivaev O. V., Nikulin A.V. Constructive ways to reduce damage to tubers of planting potatoes during operation of the chain-spoon planting apparatus. Tractors and agricultural machines. 2019. No 3. Pp. 29-34.
7. Garist A. V. and others. Report of the Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences on the implementation of fundamental and exploratory scientific research in 2017. Moscow: OSKHN RAS, 2018. 412 p.
8. Azizi P., Dehkordi N. S., Farhadi R. Design, Construction and Evaluation of Potato Digger with Rotary Blade. Cercetari Agronomice in Moldova. 2014. V. 47. Pp. 5-13.
9. Abd El-Rahman M. M. A. Development and Performance Evaluation of a Simple Grading Machine Suitable for Onion Sets. Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering. 2014. V. 2. Pp. 213-226.
10. Dandekar I. et al. Review Paper Based on Design and Development of an Onion Harvesting Machine. Journal of Information and Computational Science. 2019. V. 9. I. 12. Pp. 333-337.
11. Jothi Shanmugam C., Senthilkumar G. Indigenous Development of Low Cost Harvesting Machine. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. V. 12. I. 5. Pp. 4489-4490.
12. Bachche S. Deliberation on Design Strategies of Automatic Harvesting Systems: A Survey. Robotics. 2015. V. 4. I. 2. Pp. 194-222.

Информация об авторах

Дорохов Алексей Семенович, академик РАН, доктор технических наук, главный научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5), <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>; Researcher ID: H-4089-2018, e-mail: dorokhov@rgau-msha.ru

Сибирев Алексей Викторович, доктор технических наук, главный научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5), <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>; Researcher ID: M-6230-2016, e-mail: sibirev2011@yandex.ru

Мосяков Максим Александрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5), <https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>; ResearcherID: A-8482-2019, e-mail: Maks.Mosyakov@yandex.ru

Authors' Information

Dorokhov Aleksey Semenovich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Engineering Sciences, Chief Researcher, Federal Scientific Agro-engineering Center VIM (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutskiy Proezd, 5), <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>; Researcher ID: H-4089-2018, e-mail: dorokhov@rgau-msha.ru

Sibirev Aleksey Viktorovich, Doctor of Engineering Sciences, Chief Researcher, Federal Scientific Agro-engineering Center VIM (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutskiy Proezd, 5), <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>; Researcher ID: M-6230-2016, e-mail: sibirev2011@yandex.ru

Mosyakov Maksim Aleksandrovich, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher, Federal Scientific Agro-engineering Center VIM (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutskiy Proezd, 5), <https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>; ResearcherID: A-8482-2019, e-mail: Maks.Mosyakov@yandex.ru

**THE ANALYSIS OF THE AGRO-VOLTAIC SYSTEM STRUCTURAL STABILITY
IN THE CONDITIONS OF THE INDUSTRIAL HOP GROWING**^{1,2}Vasilev S. A., ¹Tarasov V. S., ¹Maksimov E. A., ¹Alekseev V. V., ¹Filippov V. P., ¹Pavlov V. V.¹Chuvash state University named after I. N. Ulyanov
Cheboksary, Russian Federation²Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics
Knyaginino, Russian Federation

Corresponding author E-mail: vsa_21@mail.ru

Received 28.11.2025

Submitted 15.01.2026

Abstract

Introduction. The article is devoted to the urgent problem of ensuring the constructive stability of agro-voltaic systems in the conditions of industrial hop growing. The research is aimed at solving the problem of the safe integration of photovoltaic installations into the existing infrastructure of hop planting, taking into account the specific wind loads. **Materials and methods.** A comprehensive methodology has been developed that combines theoretical calculations of wind loads according to the ASCE 7-16 standard with experimental monitoring using inertial measurement systems. The research was carried out at an industrial hop planting in the Chuvash Republic using Hevel HVL 330 solar panels. **Results.** The critical parameters of the wind impact on the supporting structures are revealed: the predominant load direction at an angle of -27.69° to the Ox axis and the characteristic oscillation frequencies of $1/0,000518 \text{ sec}^{-1}$ and $1/0,000273 \text{ sec}^{-1}$. The daily frequency of wind loads with maximum values of the autocorrelation coefficient with a lag of one day was found. **Conclusion.** The developed technique allows for continuous monitoring of the condition of structures in real-world operating conditions. The results obtained are of practical importance for the development of a regulatory framework and optimization of constructive solutions for agro-voltaic systems for special crops.

Keywords: agro-voltaics, hop farming, wind loads, structural stability, inertial monitoring systems, ASCE 7-16, structural fluctuations.

Citation. Vasilev S. A., Tarasov V. S., Maksimov E. A., Alekseev V. V., Filippov V. P., Pavlov V. V. The analysis of the agro-voltaic system structural stability in the conditions of the industrial hop growing. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 449-457 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-48.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 620.91+633.791

**АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АГРОВОЛЬТАИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ХМЕЛЕВОДСТВА**^{1,2}Васильев С. А., доктор технических наук¹Тарасов В. С., аспирант¹Максимов Е. А., кандидат технических наук¹Алексеев В. В., доктор технических наук¹Филиппов В. П., кандидат физико-математических наук¹Павлов В. В., кандидат сельскохозяйственных наук¹Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова
г. Чебоксары, Чувашская Республика, Российская Федерация²Нижегородский государственный инженерно-экономический университет,
г. Княгинино, Российская Федерация

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме обеспечения конструктивной устойчивости агровольтаических систем (АВС) в условиях промышленного хмелеводства. Исследование направлено на решение задачи безопасной интеграции фотоэлектрических установок в существующую инфраструктуру хмельников с учетом специфических ветровых нагрузок. **Материалы и методы.** Разработана комплексная методика, сочетающая теоретические расчеты ветровых нагрузок по стандарту ASCE 7-16 с экспериментальным мониторингом с использованием инерциальных измерительных систем. Исследования проводились на промышленном хмельнике в Чувашской Республике с применением солнечных панелей Hevel HVL 330. **Результаты.** Выявлены критические параметры ветрового воздействия на опорные конструкции: преимущественное направление нагрузки под углом $-27,69^\circ$ к оси Ox и характерные частоты колебаний $1/0,000518 \text{ сек}^{-1}$ и $1/0,000273 \text{ сек}^{-1}$. Об-

нарушена суточная периодичность ветровых нагрузок с максимальными значениями коэффициента автокорреляции при лаге в одни сутки. **Заключение.** Разработанная методика позволяет осуществлять непрерывный контроль состояния конструкций в реальных эксплуатационных условиях. Полученные результаты имеют практическое значение для разработки нормативной базы и оптимизации конструктивных решений агроvoltaических систем для специальных сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: агроvoltaика, хмелеводство, ветровые нагрузки, конструктивная устойчивость, инерциальные системы мониторинга, ASCE 7-16, колебания конструкций, солнечная энергия, солнечные панели, возобновляемые источники энергии.

Цитирование. Васильев С. А., Тарасов В. С., Максимов Е. А., Алексеев В. В., Филиппов В. П., Павлов В. В. Анализ конструктивной устойчивости агроvoltaической системы в условиях промышленного хмелеводства. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 449-457. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-48.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Системы возобновляемой энергии внедряются для борьбы с изменением климата и достижения углеродной нейтральности, а фотоэлектрические технологии являются наиболее широко используемой технологией в этой области [1]. Однако для размещения фотоэлектрических установок требуются большие площади земли, что может привести к сокращению площади сельскохозяйственных угодий в АПК [2]. Чтобы преодолеть эту проблему, все больше внимания в мире привлекают агроvoltaические системы, которые повышают эффективность использования территорий за счет объединения направлений применения – сельского хозяйства и производства энергии [3]. Солнечная радиация, один из основных факторов выращивания, уменьшается в условиях агроvoltaической системы из-за фотоэлектрических модулей, что положительно сказывается в жаркие периоды вегетации растений [4]. Поскольку инсоляция превышает точку светового насыщения, снижается эффективность фотосинтеза сельскохозяйственных культур и происходит испарение влаги, это может помочь росту урожая, когда солнечные модули установлены оптимальным образом [5]. Более того, эти модули могут принести пользу сельскому хозяйству [6], частично блокируя сильные осадки, сильный снег и холодные ветры [7].

Агроvoltaические системы активно внедряются в Японии, Германии, Франции, Италии, США и Китае [8]. Большинство из них ограничиваются строительством пилотных комплексов и простым мониторингом роста сельскохозяйственных культур [9], из-за таких проблем, как высокие капитальные затраты на установку, ограничения законов и негативное восприятие фермеров. В то же время, агроvoltaические исследования в первую очередь сосредоточены на сочетании фотоэлектрических модулей с пахотными землями, которые также составляют наибольшую часть сельскохозяйственных угодий. Исследования в области агроvoltaики, для систем земледелия в садах или виноградниках, встречаются реже, а с хмелем вообще не найдены в литературе [10]. Таким образом, для распространения этого направления в хмелеводстве необходима разработка стандартной модели агроvoltaической системы.

Типы солнечных модулей и конструкций, необходимых для создания агроvoltaической системы, разнообразны [11]. Поэтому стандарты, связанные с этими конструкциями, не установлены, и, таким образом, проблемы безопасности и надежности конструкций могут возникать по различным причинам. В дополнение к общим конструкциям, необходимо тщательно проанализировать природно-климатические условия промышленного хмельника [12]. Несколько исследователей провели структурный анализ и оценку конструкции и безопасности типичных наземных фотоэлектрических систем [13].

Цель исследования: Комплексный анализ конструктивной устойчивости агроvoltaической системы в условиях промышленного хмелеводства.

Объект исследования. Агроvoltaическая система на столбах промышленного хмельника, подверженная специфическим ветровым нагрузкам.

Материалы и методы. Система ABC имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционным выращиванием влаголюбивого хмеля, поскольку позволяет одновременно выращивать урожай и вырабатывать солнечную энергию на одном и том же участке (рисунок 1). Это устойчивая технология, которая может повысить эффективность использования земли и воды и производить возобновляемую энергию для обеспечения электроэнергией, необ-

ходимой для сельского хозяйства [6]. Однако необходимо учитывать возможное снижение безопасности объекта из-за установки фотоэлектрических модулей и структурных объектов.



Рисунок 1 – Проект агровольтаической системы на хмельнике в Чувашской Республике
Figure 1 – The project of the agro-voltaic system in the hop planting of the Chuvash Republic

Полевые испытания проводились в течение вегетационного сезона 2025 года на промышленном хмельнике в поселке Опытный Цивильского района Чувашской Республики, на территории землепользования Чувашского НИИ сельского хозяйства. Климатические условия района исследования характеризуются как умеренно континентальные с чётко выраженной сезонностью. Среднегодовая температура воздуха составляет $+3^{\circ}\text{C}$. Наиболее тёплым месяцем является июль (средняя температура $+18,8^{\circ}\text{C}$), наиболее холодным – январь (средняя температура $-12,8^{\circ}\text{C}$). Годовое количество осадков достигает 446 мм, что является минимальным показателем для территории Чувашской Республики. В режиме ветров преобладают северо-западные, западные и юго-западные направления. Средняя скорость ветра летом в Цивильске составляет 4 м/с, или 14.4 км/ч.

Для создания агровольтаической системы на столб хмельника устанавливалась солнечная панель Nevel HVL 330. Технические характеристики солнечных панелей «Хевел»: мощность 330 Вт, изготовлена по технологии – монокристаллический кремний. Такие панели обладают высоким КПД (16-18 %) и лучше работают в условиях низкой освещенности (например, облачность) и мороза.

Для теоретического расчета ветровой нагрузки на солнечные панели по стандарту ASCE 7-16 используется методика, которая рассматривает панели как отдельно стоящие конструкции на столбах мельника в декартовой системе координат (рисунок 2). Расчет ведется через определение скоростного и результирующего ветрового давления.

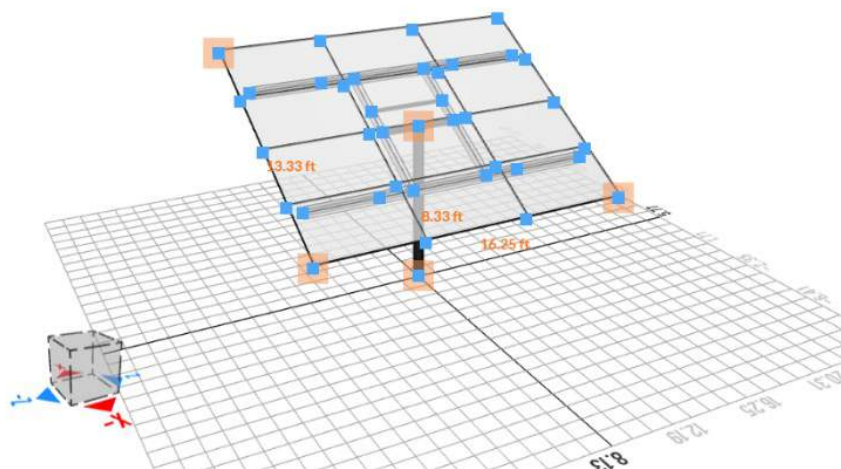


Рисунок 2 – Расположение солнечной панели в декартовой системе координат
Figure 2 – Location of the solar panel in the Cartesian coordinate system

Скоростное давление (скоростной напор) характеризует кинетическую энергию ветра на заданной высоте и рассчитывается по формуле:

$$h_b = k_h k_t k_v k_y v^2, \quad (1)$$

где k_h – коэффициент высоты и экспозиции, учитывающий изменение скорости ветра в зависимости от высоты над землей и типа местности (рельеф, препятствия); k_t – топографический фактор, учитывающий усиление ветра на холмах, гребнях и склонах, для ровной местности принимается равным 1,0; k_v – коэффициент направленности ветра, учитывающий статистическую вероятность максимальной нагрузки при различном направлении ветра, для солнечных панелей обычно 0,85; k_y – коэффициент высоты над уровнем моря, корректирующий плотность воздуха на высоте над уровнем моря; v – базовая скорость ветра, принимается максимальная 3-секундная скорость порыва ветра для данного географического региона.

Скоростной напор можно определять, используя приближенную базовую физическую формулу в метрической системе (кПа):

$$W = \frac{\rho v^2}{2}, \quad (2)$$

где ρ – плотность воздуха (примерно 1,225 кг/м³).

Расчетное давление, используемое для проектирования конструкции, определяется по одной из двух формул в зависимости от угла наклона панели: 1) если угол наклона $\leq 45^\circ$, то модуль рассматривается как открытое здание с односкатной крышей:

$$p = c_n k_{\pi} h_b, \quad (3)$$

где c_n – аэродинамический коэффициент ветровой нагрузки для наклоненного модуля, k_{π} – коэффициент порыва ветра, для жестких конструкций обычно 0,85;

2) если угол наклона $> 45^\circ$, тогда модуль рассматривается как сплошной вертикальный элемент:

$$p = c_f k_{\pi} h_b, \quad (4)$$

где c_f – аэродинамический коэффициент ветровой нагрузки для вертикально расположенного модуля, который зависит от отношения его сторон.

После определения давления p , результирующая ветровая сила на модуле вычисляется по формуле:

$$F = pA, \quad (5)$$

где A – расчетная площадь панели, м², для угла более 45° принимается площадь вертикальной проекции панели.

Для проведения исследований ветровой нагрузки на столб хмельника с солнечной панелью была установлена система датчиков (рисунок 2).



Рисунок 3 – Система мониторинга ветровой нагрузки на столб агровольтаического модуля:
а – общий вид, б – измерительный блок

Figure 3 – Wind load monitoring system for the column of the agro-voltaic module:
a – general view, b – measuring unit

Для экспериментального измерения ветровой нагрузки используется инерциальный измерительный блок, содержащий:

1. Трехосевой акселерометр (диапазон $\pm 2 \text{ g}/\pm 16 \text{ g}$).
2. Трехосевой гироскоп (диапазон $\pm 250/\pm 2000^\circ/\text{сек}$).
3. Микроконтроллер для обработки данных (например, STM32).
4. Система записи данных (SD-карта или беспроводная передача).

Инерциальный измерительный блок устанавливается в верхней части столба, учитывая направление ряда панелей и основное направление ветра. Было выполнено жесткое крепление через монтажную пластину с виброизоляцией для исключения паразитных вибраций. Выполнялась непрерывная запись с частотой дискретизации 100 Гц, что достаточно для низкочастотных конструкционных вибраций. Азимут расположения солнечной панели (измеряется в градусах, при ориентировании точно на юг – 0 градусов) составил 5,3 градуса.

Результаты и обсуждение. За довольно большой промежуток времени показания акселерометра стабильно колебались ($1,0214 \div 1,0217 \text{ g}$) с периодом 0,0005 сек. При этом периодически (с периодом $0,0092 \pm 0,0012 \text{ сек}$) фиксировались «пики» с опять же стабильными значениями $1,0210 \div 1,0208 \text{ g}$. Поэтому было решено в первую очередь проанализировать показания гироскопа.

Данные, полученные от гироскопа, оказались более информативными. В таблице приведены величины средних значений и средних квадратичных отклонений абсолютных значений показаний гироскопа и их проекций на горизонтальную плоскость (xOy). Согласно статистике с учетом линейной аппроксимации показаний гироскопа (рисунок 4) наибольший разброс показания прибора имеют в направлении φ к оси Oх:

$$\varphi = \text{Arctg}(-0,5248) = -27,69^\circ.$$

Тогда с учетом расположения солнечной панели (+ 5,3 градуса) можно определить направления ветра по азимуту, которое составит – 22,39 градуса и соответствует северо-западному направлению.

Таблица – Статистический анализ данных гироскопа
Table – Statistical analysis of gyroscope data

Наименование величины / Name of value	На ось x / On the x-axis	На ось y / On the y-axis	На ось z / On the z-axis	Абсолютная величина / Absolute value
Ср. значение / The average value	-1,15019	1,681645	0,852383	2,213881
Ср. квадр. отклонение / The average square deviation	0,161253	0,06177	0,062896	0,099524

Поскольку панели установлены в направлении юга, то это позволяет судить о неравномерности ветровой нагрузки, приходящейся на столб с панелью.

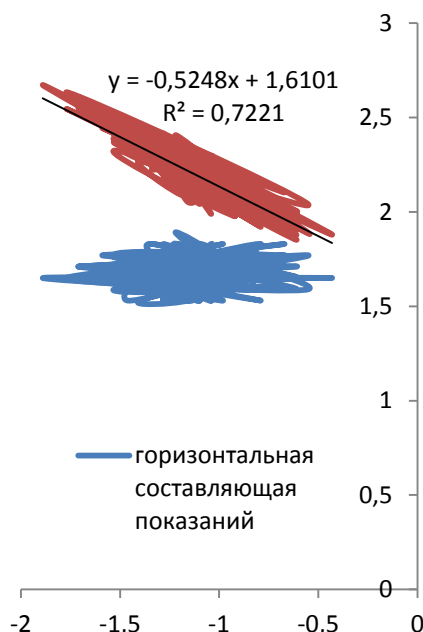


Рисунок 4 – Разброс показаний гироскопа с указанием и их проекция на горизонтальную плоскость
Figure 4 – Gyroscope readings spread and their projection onto a horizontal plane

При анализе колебаний (рисунок 5) можно выделить две частоты: 1931 Гц и 3663 Гц. Если для частоты 3663 Гц период близок к удвоенному периоду опроса сенсоров, то есть получения данных, то для частоты 1931 Гц такой закономерности нет.

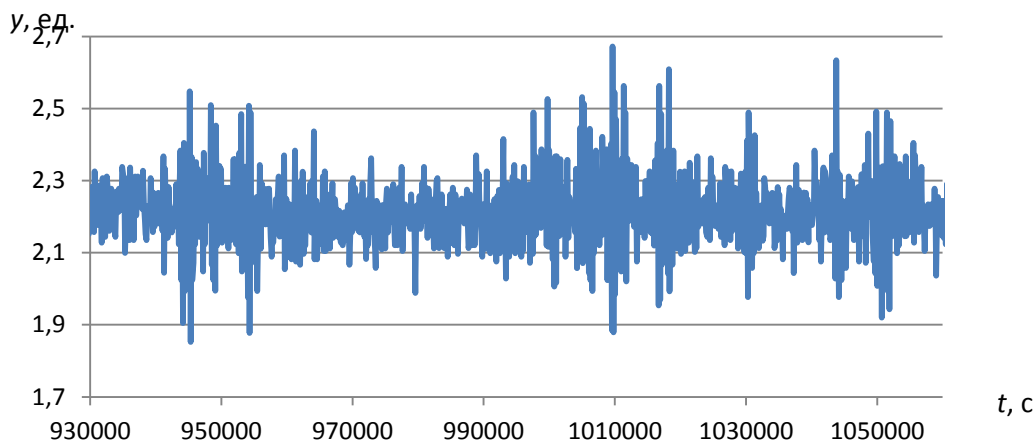


Рисунок 5 – Фрагмент данных гироскопа по колебаниям y во времени
Figure 5 – Fragment of gyroscope data on y oscillations over time

Рассмотрим последовательность значений абсолютной величины данных, получаемых с гироскопа. Они обозначаются y_t ($t=1,2,\dots,n$). Возможно, что каждое y_t формируется под совместным влиянием длительных, кратковременных и случайных факторов. Прояснить структуру полученных данных можно рассчитывая поочередно коэффициенты автокорреляции. Для этого нужно определить такой лаг τ , при котором автокорреляция $r(\tau)$ наиболее высокая. Попробуем определить, по полученным данным, имеет ли место некоторое длительное, постоянно действующее влияние на столб. И придать ему количественное выражение. При наличии в данных какой-либо тенденции или длительных колебаний значения каждой рассматриваемой последовательности зависят от предыдущих. Степень тесноты связи между последовательностями наблюдений $y_1, y_2, \dots, y_{n-\tau}$ и $y_{1+\tau}, y_{2+\tau}, \dots, y_n$, сдвинутых относительно друг друга на τ единиц, определяется с помощью коэффициента корреляции:

$$r(\tau) = \frac{\overline{y_t \cdot y_{t-\tau}} - \overline{y_t} \cdot \overline{y_{t-\tau}}}{S_t \cdot S_{t-\tau}},$$

где $\overline{y_t} = \frac{\sum_{i=1+\tau}^n y_i}{n-\tau}$ – среднее значение последовательности $y_{1+\tau}, y_{2+\tau}, \dots, y_n$; $\overline{y_{t-\tau}} = \frac{\sum_{i=1}^n y_{i-\tau}}{n-\tau}$ – среднее значение последовательности $y_1, y_2, \dots, y_{n-\tau}$; $S_t, S_{t-\tau}$ – соответственно их средние квадратические отклонения.

Рассчитанные значения коэффициентов $r(\tau)$ показывают, что максимальными являются значения, соответствующие $\tau = 1$. Если наиболее высоким оказывается значение $r(1)$, то исследуемые данные содержат только тенденцию и незначительную случайную компоненту – длительных периодических колебаний нет.

Попытки выделить/определить долгосрочные колебания (с большим периодом) дали отрицательный результат автокорреляции. Максимальные значения коэффициента автокорреляции принимают между соседними измерениями. Это говорит о том, что прогнозируемых длительных «сезонных» колебаний нет, а последовательные данные случайны. Поскольку изучались большие массивы данных, то в итоге корреляция между последовательными группами измерений была найдена, однако ее значения были максимальными для лага, соответствующего одним суткам. Это говорит о том, что имеют место периодически повторяющиеся воздействия на столб, связанные со временем суток: ветер, туманы и прочее.

Выводы. Таким образом, выполнен анализ конструктивной устойчивости агровольтаической системы в условиях промышленного хмелеводства. Разработана и апробирована комплексная методика оценки ветровых нагрузок на агровольтаические конструкции в условиях промышленного хмельника, сочетающая теоретические расчеты по стандарту ASCE 7-16 с экспериментальным мониторингом, используя инерциальные измерительные системы. Установлены критические параметры ветрового воздействия на опорные конструкции, выявлено преимущественное направление ветровой нагрузки под углом - 22,39 ° к оси Ох, что соответствует северо-западному направлению и требует особого внимания при проектировании систем крепления. Выявлены характерные частоты колебаний конструкций – 1/0,000518 сек⁻¹ и 1/0,000273 сек⁻¹, что свидетельствует о наличии резонансных явлений, которые необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации агровольтаических систем. Обнаружена суточная периодичность ветровых нагрузок с максимальными значениями коэффициента автокорреляции при лаге в одни сутки, что указывает на циклический характер воздействий, связанных с временем суток (ветры, туманы).

Заключение. Проведенное исследование демонстрирует принципиальную возможность безопасной интеграции агровольтаических систем в инфраструктуру промышленных хмельников при условии тщательного учета ветровых нагрузок и конструктивных особенностей.

Разработанная методика мониторинга с применением инерциальных измерительных систем показала высокую эффективность в выявлении динамических характеристик конструкций и позволяет осуществлять непрерывный контроль их состояния в реальных эксплуатационных условиях.

Полученные результаты имеют важное практическое значение для:

- разработки нормативной базы по проектированию агровольтаических систем для специальных сельскохозяйственных культур;
- оптимизации конструктивных решений опорных элементов с учетом выявленных резонансных частот и преимущественных направлений ветровых нагрузок;
- создания систем прогнозирования и предотвращения аварийных ситуаций.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на долгосрочный мониторинг конструктивной устойчивости в различных сезонных условиях хмельника, а также на разработку адаптивных систем управления, учитывающих выявленные циклические закономерности ветровых воздействий.

Conclusions. The conducted research demonstrates the fundamental possibility of safely integrating agro-voltaic systems into the infrastructure of industrial hoppers, provided that wind loads and design features are carefully taken into account. The developed monitoring technique using inertial measurement systems has shown high efficiency in identifying the dynamic characteristics of structures and allows continuous monitoring of their condition in real-world operating conditions. The results obtained are of great practical importance for:

- development of a regulatory framework for the design of agro-voltaic systems for special crops;
- optimization of the structural solutions of the support elements, taking into account the identified resonant frequencies and the preferred directions of wind loads;
- creation of forecasting and emergency prevention systems.

Further research should be aimed at long-term monitoring of structural stability in various seasonal conditions of the khmelnik, as well as the development of adaptive control systems that take into account the identified cyclical patterns of wind impacts.

Библиографический список

1. Olabi A. G., Abdelkareem M. A. Renewable energy and climate change. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2022. V. 158. No 112111.
2. Lee S., Choi J., Sung S., Lee S., Lee J., Choi W. Simulation and Analysis of Solar Radiation Change Resulted from Solar-sharing for Agricultural Solar Photovoltaic System. Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers. 2020. No 62 (5). Pp. 63-72.
3. Закиров А. Ю. Солнечная энергия в сельском хозяйстве. Тенденции развития науки и образования. 2024. № 106-11. С. 193-195.
4. Odysseas A. K., Hesani Z., Olindo I. Integration of bifacial photovoltaics in agrivoltaic systems: A synergistic design approach. Applied Energy. 2022. V. 309. No 118475.
5. Jung J. H. Current status and prospect of agro-voltaics system. Bull Korea Photovoltaic Soc. 2020. V. 6. Pp. 25-33.
6. Дубенок Н. Н. и др. Моделирование режимов возникновения "солевой каймы" при капельном орошении. Российская сельскохозяйственная наука. 2023. № 5. С. 49-53.
7. Wang D., Zhang Y., Sun Y. A Criterion of Crop Selection Based on the Novel Concept of an Agrivoltaic Unit and M-matrix for Agrivoltaic Systems. IEEE 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC). USA, 2018. Pp. 1491-1496.
8. Lee S. et al. Agrivoltaic system designing for sustainability and smart farming: Agronomic aspects and design criteria with safety assessment. Applied Energy. 2023. V. 341. No 121130.
9. Kumar Ch. M. S. et al. Solar energy: A promising renewable source for meeting energy demand in Indian agriculture applications. Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2023. Vol. 55. No 102905.
10. Nikolić D. et al. Sustainable Design in Agriculture – Energy Optimization of Solar Greenhouses with Renewable Energy Technologies. Energies. 2025. V. 18. No. 2. P. 416.
11. Deep Learning with IoT-Based Solar Energy System for Future Smart Agriculture System. International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 2024. V. 15. No. 9.
12. Васильев С. А., Чучкалов С. И., Александров Р. И., Алексеев Е. П. Исследование изменения природно-климатических условий и физических свойств почвы на агроландшафтной катене склоновых земель. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 4 (56). С. 26-35.
13. Curioni M., Galli N., Manzolini G., Rulli M. C. Global Land-Water Competition and Synergy Between Solar Energy and Agriculture. Earth's Future. 2025. V. 13. No. 2.

References

1. Olabi A. G., Abdelkareem M. A. Renewable energy and climate change. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2022. V. 158. No 112111.
2. Lee S., Choi J., Sung S., Lee S., Lee J., Choi W. Simulation and Analysis of Solar Radiation Change Resulted from Solar-sharing for Agricultural Solar Photovoltaic System. Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers. 2020. No 62 (5). Pp. 63-72.
3. Zakirov A. Y. Solar energy in agriculture. Trends in the development of science and education. 2024. No. 106-11. Pp. 193-195.
4. Odysseas A. K., Hesani Z., Olindo I. Integration of bifacial photovoltaics in agrivoltaic systems: A synergistic design approach. Applied Energy. 2022. V. 309. No 118475.
5. Jung J. H. Current status and prospect of agro-voltaics system. Bull Korea Photovol-taic Soc. 2020. V. 6. Pp. 25-33.
6. Dubenok N. N. et al. Modeling of the modes of occurrence of a "salt rim" during drip irrigation. Russian agricultural science. 2023. No. 5. Pp. 49-53.
7. Wang D., Zhang Y., Sun Y. A Criterion of Crop Selection Based on the Novel Concept of an Agrivoltaic Unit and M-matrix for Agrivoltaic Systems. IEEE 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC). USA, 2018. Pp. 1491-1496.
8. Lee S. et al. Agrivoltaic system designing for sustainability and smart farming: Agro-nomic aspects and design criteria with safety assessment. Applied Energy. 2023. V. 341. No 121130.

9. Kumar Ch. M. S. et al. Solar energy: A promising renewable source for meeting en-ergy demand in Indian agriculture applications. *Sustainable Energy Technologies and As-sessments*. 2023. Vol. 55. No 102905.
10. Nikolić D. et al. Sustainable Design in Agriculture – Energy Optimization of Solar Greenhouses with Renewable Energy Technologies. *Energies*. 2025. V. 18. No. 2. P. 416.
11. Deep Learning with IoT-Based Solar Energy System for Future Smart Agriculture System. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2024. V. 15. No. 9.
12. Vasiliev S. A., Chuchkalov S. I., Aleksandrov R. I., Alekseev E. P. Investigation of changes in natural and climatic conditions and physical properties of soil in the agro-landscape catena of sloping lands. *Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and Higher professional education*. 2019. No. 4 (56). Pp. 26-35.
13. Curioni M., Galli N., Manzolini G., Rulli M. C. Global Land-Water Competition and Synergy Between Solar Energy and Agriculture. *Earth's Future*. 2025. V. 13. No. 2.

Информация об авторах

Васильев Сергей Анатольевич, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой, Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова (Российская Федерация, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский проспект, 15); профессор, Нижегородский государственный инженерно-экономический университет (Российская Федерация, Нижегородская область, г. Княгинино, ул. Октябрьская, 22а), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3346-7347>, e-mail: vsa_21@mail.ru

Тарасов Виктор Сергеевич, аспирант, Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова (Российская Федерация, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский проспект, 15).

Максимов Евгений Альбертович, кандидат технических наук, доцент, Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова (Российская Федерация, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский проспект, 15).

Алексеев Виктор Васильевич, доктор технических наук, доцент, профессор, Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова (Российская Федерация, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский проспект, 15).

Филиппов Владимир Петрович, кандидат физико-математических наук, доцент, Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова (Российская Федерация, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский проспект, 15).

Павлов Вячеслав Валериевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова (Российская Федерация, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский проспект, 15).

Authors' Information

Vasiliev Sergey Anatolyevich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of Department, Chuvash State University named after I. N. Ulyanov (Russian Federation, Chuvash Republic, Cheboksary, Moskovsky Ave., 15), Professor, Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics (Russian Federation, Nizhny Novgorod region, Knyaginino, Oktyabrskaya str., 22a), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3346-7347>, e-mail: vsa_21@mail.ru

Tarasov Viktor Sergeevich, postgraduate student, Chuvash State University named after I. N. Ulyanov (Russian Federation, Chuvash Republic, Cheboksary, Moskovsky Ave., 15).

Maksimov Evgeny Albertovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department, Chuvash State University named after I. N. Ulyanov (Russian Federation, Chuvash Republic, Cheboksary, Moskovsky Ave., 15).

Alekseev Viktor Vasilyevich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department, Chuvash State University named after I. N. Ulyanov (Russian Federation, Chuvash Republic, Cheboksary, Moskovsky Ave., 15).

Filippov Vladimir Petrovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department, Chuvash State University named after I. N. Ulyanov (Russian Federation, Chuvash Republic, Cheboksary, Moskovsky Ave., 15).

Pavlov Vyacheslav Valerievich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department, Chuvash State University named after I. N. Ulyanov (Russian Federation, Chuvash Republic, Cheboksary, Moskovsky Ave., 15).

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-49

THE TRACTION FIELD TESTS OF THE WORKING BODY WITH STANDARD CHISELS AND CHISELS WITH LATERAL SEGMENTATION¹Gapich D. S., ¹Borisenko I. B., ¹Galansky K. V., ¹Subbotin S. I., ²Byshov D. N.¹*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*²*Ryazan Agrotechnological University named after P. A. Kostychev
Ryazan, Russian Federation*Corresponding author E-mail: gds-08@mail.ru

Received 10.11.2025

Submitted 26.12.2025

Abstract

Introduction. The optimal geometry of the chisel bit improves the quality of soil cultivation and reduces the required traction force (energy consumption), which in turn leads to increased productivity of the machine-tractor unit (MTU), reduced fuel consumption, and lower costs of cultivated crops. **Object.** The object of the study is the chisel bit for the resource-saving "anti-zero" chisel body "Rancho", which is part of the OCHO series of plows (chisel-and-share plow), and is intended for ploughing and non-ploughing soil treatments, loosening and deepening the arable horizon, and improving meadows and pastures. **Materials and methods.** Experimental research methods were used. Field traction tests of a chisel working body with standard chisels and chisels with lateral segmentation were conducted using an experimental setup consisting of a chisel rack mounted on an adapted garden cultivator frame, a software and hardware complex designed for recording and processing experimental data, and a tractor. **Results and conclusions.** The results of the experiments showed that during the traction field tests of the chisel working body, there is an increase in the traction force both when using a standard chisel bit and when using a bit with lateral segmentation. This

indicates a general trend towards an increase in dynamic loads as the speed of the MTA increases. The experiment also showed that the use of experimental bits with lateral segmentation can reduce the average traction resistance of the chisel tool compared to the standard ones.

Keywords: *chisel, chisel plows, working bodies, methods of tillage.*

Citation. Gapich D. S., Borisenko I. B., Galansky K. V., Subbotin S. I., Byshov D. N. The traction field tests of the working body with standard chisels and chisels with lateral segmentation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 457-470 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-49.

Authors' contribution. The authors represented in this publication actively participated in the development of the study concept, its implementation, and the subsequent analysis of the obtained data. Each of the authors has reviewed the final version of the paper and has expressed their consent with its content.

Conflict of Interest. The authors declare no conflicts of interest.

УДК 631.316.22

ТЯГОВЫЕ ПОЛЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЧИЗЕЛЬНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА СО СТАНДАРТНЫМИ ДОЛОТАМИ И ДОЛОТАМИ С БОКОВЫМ СЕГМЕНТИРОВАНИЕМ

¹Гапич Д. С., доктор технических наук, профессор
¹Борисенко И. Б., доктор технических наук, профессор
¹Галанский К. В., аспирант
¹Субботин С. И., аспирант
²Бышов Д. Н., доктор технических наук, доцент

¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская федерация

²ФГБОУ ВО «Рязанский агротехнологический университет имени П. А. Костычева»
г. Рязань, Российская Федерация

Актуальность. Оптимальная геометрия чизельного долота способствует улучшению качества обработки почвы и снижению требуемого тягового усилия (энергетических затрат), а это, в свою очередь, приводит к повышению производительности машинно-тракторного агрегата (МТА), снижению расхода топлива и снижению себестоимости выращиваемых сельскохозяйственных культур. **Объект.** Объектом исследования является чизельное долото к ресурсосберегающему «анти-нулевому» чизельному органу «РАНЧО», который в составе плугов серии ОЧО (орудие чизельно-отвальное), предназначен для отвальной и безотвальной обработок почвы, разуплотнения и углубления пахотного горизонта, коренного улучшения лугов и пастбищ. **Материалы и методы.** Применялись экспериментальные методы исследований. Тяговые полевые испытания чизельного рабочего органа со стандартными долотами и долотами с боковым сегментированием проводились при помощи экспериментальной установки, состоящей из чизельной стойки, закрепленной на адаптированной раме садового культиватора, программно-аппаратного комплекса, предназначенного для регистрации и обработки экспериментальных данных, и трактора. **Результаты и выводы.** Результаты экспериментов показали, что при проведении тяговых полевых испытаний чизельного рабочего органа наблюдается увеличение тягового усилия как при использовании стандартного чизельного долота, так и при использовании долот с боковым сегментированием. Это свидетельствует об общей тенденции к увеличению динамических нагрузок при увеличении скорости движения МТА. Также эксперимент показал, что применение экспериментальных долот с боковым сегментированием позволяет снизить среднее значение тягового сопротивления чизельного орудия по сравнению с серийными.

Ключевые слова: *чизельное долото, чизельные плуги, рабочие органы, способы обработки почвы.*

Цитирование. Гапич Д. С., Борисенко И. Б., Галанский К. В., Субботин С. И., Бышов Д. Н. Тяговые полевые испытания чизельного рабочего органа со стандартными долотами и долотами с боковым сегментированием. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 457-470. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-49.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Введение. Обработка почвы в производстве сельскохозяйственной продукции является одним из наиболее значимых технологических этапов, который требует значительных временных и энергетических затрат.

Чизельная обработка (чизелевание) сельскохозяйственных полей, как один из видов безотвальной обработки, широко применяется в регионах с засушливым климатом и на почвах различной механической структуры (переуплотненные, тяжелые, эродированные и

т. д.). Такой вид обработки почвы обеспечивает разрушение уплотненной плужной подошвы, что стимулирует вертикальный рост корней растений, большее накопление осенне-зимних осадков, поступление воды и питательных веществ в верхние слои из нижних и обеспечивает лучший воздухообмен. Также чизельная вспашка способствует рыхлению почвы и, при ее выполнении, на поверхности сохраняется значительное количество растительных остатков, повышаются инфильтрационные свойства обрабатываемого слоя, минимизируя эрозионные процессы [1].

Одним из ключевых факторов, влияющих на эффективность чизельной обработки почвы, являются конструктивные особенности рабочего органа – чизельного долота и его геометрические характеристики. Форма долота влияет на качественные показатели обработки почвы, на энергозатраты на агротехнологическую операцию, а также на долговечность самого рабочего органа.

Оптимальная геометрия чизельного долота способствует улучшению качества обработки почвы и снижению требуемого тягового усилия (энергетических затрат), а это, в свою очередь, приводит к повышению производительности машинно-тракторного агрегата (МТА), снижению расхода топлива и снижению себестоимости выращиваемых сельскохозяйственных культур.

Конструкция и геометрическая форма чизельного долота может быть разной и по данным [2-7] определяет 80-95 % энергетических затрат на проведение агротехнической операции по чизелеванию почвы.

Для снижения тягового сопротивления рабочего органа чизельного орудия при чизельной обработке полей, а также для улучшения качества крошения тяжелой почвы по механическому составу при малой влажности, нами были предложены экспериментальные долота с боковым сегментированием (патент РФ № 2824796 «Рабочий орган глубокорыхлителя», патент № 2831055 РФ «Рабочий орган глубокорыхлителя»).

Боковое сегментирование образуют разгрузочные вырезы, которые при определенных условиях работы позволяют дополнительно деформировать пласт почвы.

В рамках данного исследования рассмотрим организацию, проведение и анализ полевых тяговых испытаний чизельного рабочего органа с долотами со стандартной конфигурацией и долотами с боковым сегментированием.

Целью данного исследования является оценка влияния разных геометрических параметров долот на необходимое тяговое усилие для выполнения агротехнической операции по чизелеванию почвы.

Материалы и методы. Объектом исследования является серийно выпускаемое чизельное долото (поз. 4, на рисунке 1) к ресурсосберегающему «анти-нулевому» чизельному органу «РАНЧО», который в составе плугов серии ОЧО (орудие чизельно-отвальное), предназначен для отвальной и безотвальной обработок почвы, разуплотнения и углубления пахотного горизонта, коренного улучшения лугов и пастбищ (Стойка «РАНЧО» // URL: https://agroptm.ru/produkciya_i_uslugi/proizvodstvo_s_h_mashin/stojka_rancho/ (дата обращения: 30.11.2025) [8].

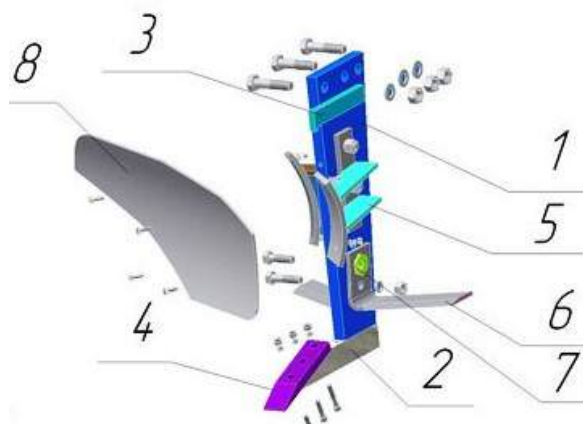


Рисунок 1 – Чизельная стойка «РАНЧО»

1 – стойка; 2 – башмак; 3 – горизонтальный упор; 4 – чизельное долото; 5 – опоры;
6 – нож подрезающий; 7 – эксцентрик; 8 – отвал

Figure 1 – "Rancho" chisel stand

1 – stand; 2 – shoe; 3 – horizontal stop; 4 – chisel bit; 5 – supports; 6 – undercutting knife;
7 – eccentric; 8 – blade

С целью практического исследования влияние геометрических параметров рабочего органа на тяговые характеристики отдельно взятой секции чизельной стойки «РАНЧО» были изготовлены экспериментальные долота с различными вариантами бокового сегментирования (рисунок 2).

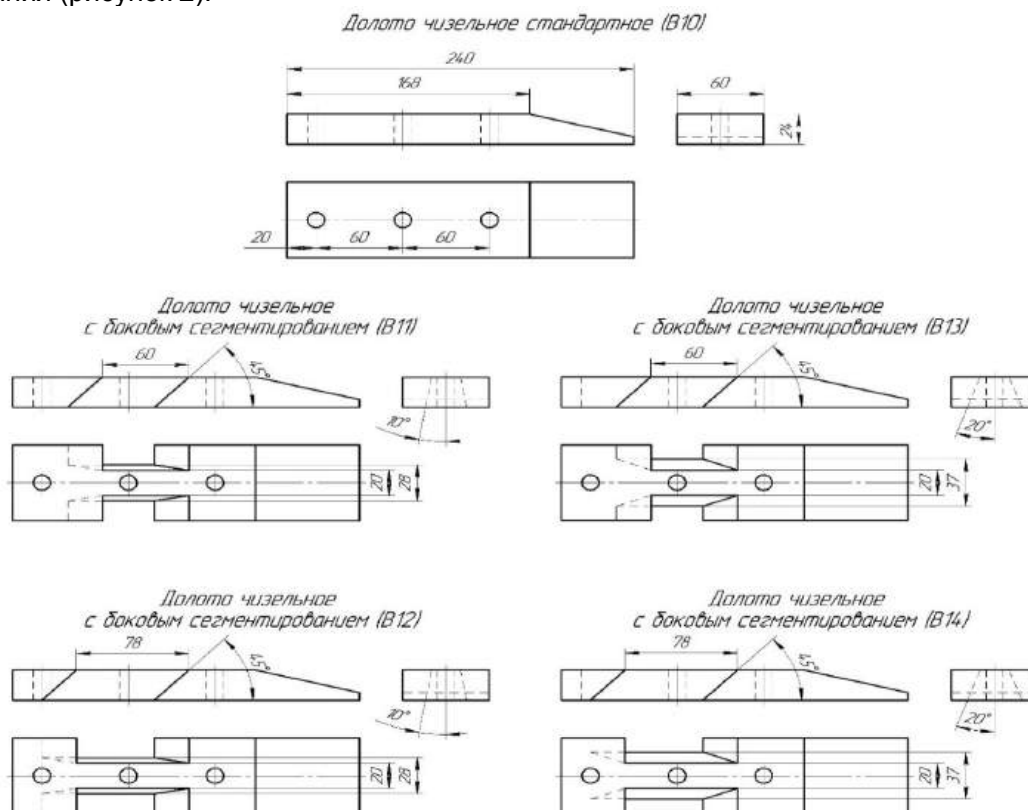


Рисунок 2 – Стандартное чизельное долото (B10) и чизельные долота с боковым сегментированием (B11, B12, B13, B14)

Figure 2 – Standard chisel bit (B10) and chisel bits with lateral segmentation (B11, B12, B13, B14)

Для оценки влияния различных геометрических параметров чизельных долот на тяговые усилия, при проведении экспериментальных полевых исследований, изучался параметр – площадь экспериментального сечения, который равен площади проекции поверхности долота, непосредственно воздействующего на почву (рисунок 3).

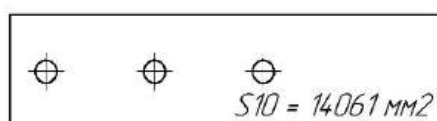
Коэффициент геометрической формы долота – это коэффициент, характеризующий геометрическую форму долота и равный отношению площади экспериментального сечения долота с боковым сегментированием к площади экспериментального сечения стандартного долота.

Изготовление экспериментальных долот с боковым сегментированием осуществлялось по чертежам (рисунок 2) на заводе-изготовителе (ИП Кондаков С. Ю., г Волжский, Волгоградской области) плугов серии ОЧО и чизельной стойки «РАНЧО» и стандартными долотами к ним.

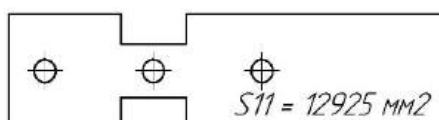
Процесс изготовления экспериментальных долот с боковым сегментированием соответствовал изготовлению стандартных серийно выпускаемых чизельных долот и происходил следующим образом:

1. Раскрой при помощи плазменной резки листа стали марки 65Г, обеспечивающей необходимую долговечность и износостойкость, на заготовки;
2. Изготовление заготовки долота нужной геометрической формы, при помощи фрезеровки;
3. Сверление крепежных отверстий и нарезания резьбы в них;
4. В процессе термической обработки (закалки и отпуска) происходило достижение необходимой твердости 52-54 HRC по методу Роквелла).
5. Финишная шлифовка изделий и прогонка крепежных резьб.

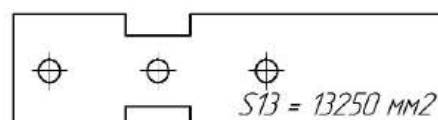
Долото чизельное стандартное (В10)



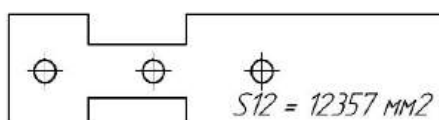
*Долото чизельное
с боковым сегментированием (В11)*



*Долото чизельное
с боковым сегментированием (В13)*



*Долото чизельное
с боковым сегментированием (В12)*



*Долото чизельное
с боковым сегментированием (В14)*

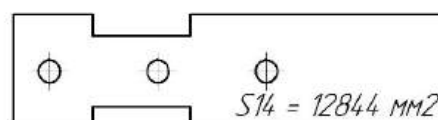


Рисунок 3 – Площади экспериментальных сечений стандартного долота
и долот с боковым сегментированием
Figure 3 – Areas of experimental sections of a standard bit and bits with lateral segmentation



Рисунок 4 – Экспериментальные чизельные долота с боковым сегментированием
Figure 4 – Experimental side-segmented chisels

Для полевых испытаний был подготовлен МТА (рисунок 5), который состоял из трактора МТЗ-80 «Беларус» и экспериментальной установки. Экспериментальная установка, в свою очередь, состояла из рамы садового культиватора, к которому через специализированные силовые переходники была закреплена одна чизельная стойка «РАНЧО» [9, 10].



Рисунок 5 – Экспериментальный МТА
Figure 5 – Experimental MTA

Для исследования влияния разных геометрических параметров чизельных долот на тяговое усилие в процессе чизелевания почвы, со стойки «РАНЧО» были демонтированы все дополнительные элементы (отвал, крылья, ножи и т. д.), как показано на рисунке 6 и 7.



Рисунок 6 – Стойка «РАНЧО»
со стандартным чизельным долотом
и тензодатчиками
Figure 6 – The "Rancho" rack
with a standard chisel bit
and load cells



Рисунок 7 – Стойка «РАНЧО»
с экспериментальным чизельным долотом
с боковым сегментированием
Figure 7 – The "Rancho" stand
with an experimental chisel bit
with lateral segmentation

В процессе проведения полевых экспериментов чизельной обработки почвы со стандартными долотами и долотами с боковым сегментированием, при помощи специального программно-аппаратного комплекса, велась непрерывная регистрация параметров работы МТА:

1. Скорость перемещения по полю экспериментального МТА.

2. Тяговое сопротивление, создаваемой экспериментальной стойкой «РАНЧО» с разными долотами.

3. Горизонтальная составляющая тягового сопротивления рамы садового культиватора с закрепленной на ней стойкой «РАНЧО» с разными долотами.

В состав программно-аппаратного комплекса (рисунок 8), для измерения и регистрации параметров работы экспериментального МТА входило следующее оборудование и программное обеспечение:

1. Проволочные тензодатчики, предназначенные для регистрации усилий на чизельной стойке.

2. Усилитель сигналов ТОПАЗ-3-01, предназначенный для усиления сигналов от датчиков.

3. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) Е14-140, которые преобразовывал аналоговые сигналы от датчиков в цифровые сигналы.

4. ПК с установленным на нем ПО PowerGraph. На ПК происходила регистрация и запись экспериментальных данных.

5. Автомобильная аккумуляторная батарея 12 В для питания программно-аппаратного комплекта.

6. Комплект соединительных кабелей и разъемов.

Измерительное и регистрирующее оборудование для свободного доступа и его механической сохранности было смонтировано под сидением водителя трактора.



Рисунок 8 – Комплекс для измерения регистрируемых экспериментальных параметров
Figure 8 – Complex for measuring recorded experimental parameters

Для измерения и фиксации фактической скорости движения МТА по полю в процессе экспериментального чизелевания использовалось «пятое колесо», показанное на рисунке 9. Колесо к трактору было закреплено через плавающее крепление, при помощи которого оно перекачивалось по полю без скольжения во время движения (Панчишкин, А. П. Технологическая адаптация тракторов в составе почвообрабатывающих агрегатов к зональным условиям эксплуатации: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Панчишкин Андрей Петрович, 2024. – 173 с).

В процессе проведения эксперимента фактическая скорость передвижения МТА определялась через количество оборотов «пятого колеса» с известным диаметром (длины окружности) за определенный промежуток времени. Каждый оборот колеса регистрировался и фиксировался в ПО PowerGraph в виде импульса при помощи геркона, установленного на вилке и магнита, закрепленного на диске «пятого колеса».

Измерение тягового сопротивления, создаваемого экспериментальной стойкой «РАНЧО» с разными долотами, осуществлялось при помощи тензодатчиков (рисунок 6), закреплённых на стойке рабочего органа (Патент РФ № 2801775 «Способ и устройство для определения точки приложения равнодействующей продольной силы, действующей на рабочий орган почвообрабатывающей машины»). Проволочные тензодатчики закреплялись к

стойке при помощи клея. Соединение датчиков осуществлялось по двухполумостовой схеме: один «полумост» был закреплён на внешней стороне чизельной стойки, а другой – на внутренней. Работа измерительного устройства основана на измерении и регистрации сопротивления установленных тензодатчиков из-за деформации стойки при ее врезании в пласт грунта.



Рисунок 9 – Измерение фактической скорости МТА по полю при помощи «пятого колеса»
Figure 9 – Measuring the actual speed of the MTA in the field using the "fifth wheel"

Измерение и регистрация горизонтальной составляющей тягового сопротивления (крюкового усилия) рамы садового культиватора, с закрепленной на ней стойкой «РАНЧО» с разными долотами, осуществлялось при помощи специального запатентованного устройства (Патент РФ № 2776191 «Устройство для измерения горизонтального усилия от сельскохозяйственной машины, навешиваемой на трактор») [9].

Для перевода электрических сигналов от датчиков в необходимые физические величины (кН, м/с и др.) на базе кафедры «Технические системы в АПК» Волгоградского ГАУ было произведено тарирование измерительного программно-аппаратного комплекса. Для тарирования тензодатчиков, фиксирующих горизонтальную составляющую тягового сопротивления (крюкового усилия) экспериментальной установки, трактор, с измеряющим крюковое усилие устройством, был установлен напротив неподвижного заанкеренного к полу кронштейна и зафиксирован противооткатными колодками. Далее трактор был зацеплен за кронштейн через динамометр при помощи стального троса и талрепа. Для тарирования был использован динамометр с пределом измерений 1 кН. С помощью талрепа было устранено провисание натяжной системы, установлен 0 на динамометре и произведена фиксация показаний в ПО PowerGraph. Далее этапы тарирования производились ступенчатым изменением нагрузки шагом с 200Н до 900Н.

Тарирование тензодатчиков, закрепленных на чизельной стойке «РАНЧО», производилось аналогичным образом на специализированном стенде.

Экспериментальные исследования чизельного рабочего органа «РАНЧО» со стандартными долотами и долотами с боковым сегментированием проводились на полях, расположенных в непосредственной близости от п. Горный Советского района г. Волгограда. Экспериментальное чизелевание выполнялось на поле, где ранее было произведено дискование озимой стерни для сохранения почвенной влаги и борьбы с сорняками.

Режимы работы экспериментального МТА выбирались в соответствии с требованиями, указанных в таблице 1. Во время проведения полевых экспериментов производился постоянный контроль фактической скорости движения МТА, глубины обработки и забивание (залипание) рабочих органов.

Таблица 1 – Требование к показателям назначения и надёжности чизельных плугов (СТО АИСТ 4.6. – 2018 Испытание сельскохозяйственной техники. Машины почвообрабатывающие. Показатели назначения. Общие требования)

Table 1 – Requirements for the purpose and reliability of chisel plows (STS AIST 4.6. – 2018 Testing of agricultural machinery. Tillage machines. Appointment indicators. General requirements)

Наименование показателя / Name of the indicator	Значение показателя / Value of the indicator
Рабочая скорость движения, м/с (км/ч), не более / Operating speed, km/h, no more than	2,78 (10)
Отклонение рабочей ширины захвата от конструкционной, % / Deviation of the working width from the design width, %	±10
Глубина обработки, см, не более / Processing depth, cm, no more	45
Отклонение глубины обработки от заданной, %, не более / Deviation of the processing depth from the specified one, %, no more than	10
Крошение почвы, % комков размеров до 50 мм включ., не менее: / Soil crumbling, % of lumps up to 50 mm in size, not less than:	
- на вспаханных полях / in plowed fields	40
- на не вспаханных / on unplowed	25
св. 100 мм / over 100 mm	Не допускается / Not allowed
Сохранение стерни (для борьбы с ветровой эрозией), %, не менее / Preservation of stubble (to combat wind erosion), %, not less than	60
Забивание, залипание рабочих органов / Clogging and sticking of working parts	Не допускается / Not allowed
Коэффициент использования сменного времени / Shift time utilization rate	0,75±0,05
Наработка на отказ единичного изделия, ч, не менее / Operating time for failure of a single product, hours, not less	80
Коэффициент готовности с учетом организационного времени, не менее / Availability factor, taking into account organizational time, not less than	0,98

Результаты. В результате проведения сравнительных полевых испытаний чизельного рабочего органа со стандартными долотами и долотами с боковым сегментированием получен достаточно большой массив экспериментальных данных. Для обработки массива данных использовался функционал ПО PowerGraph и MS Excel.

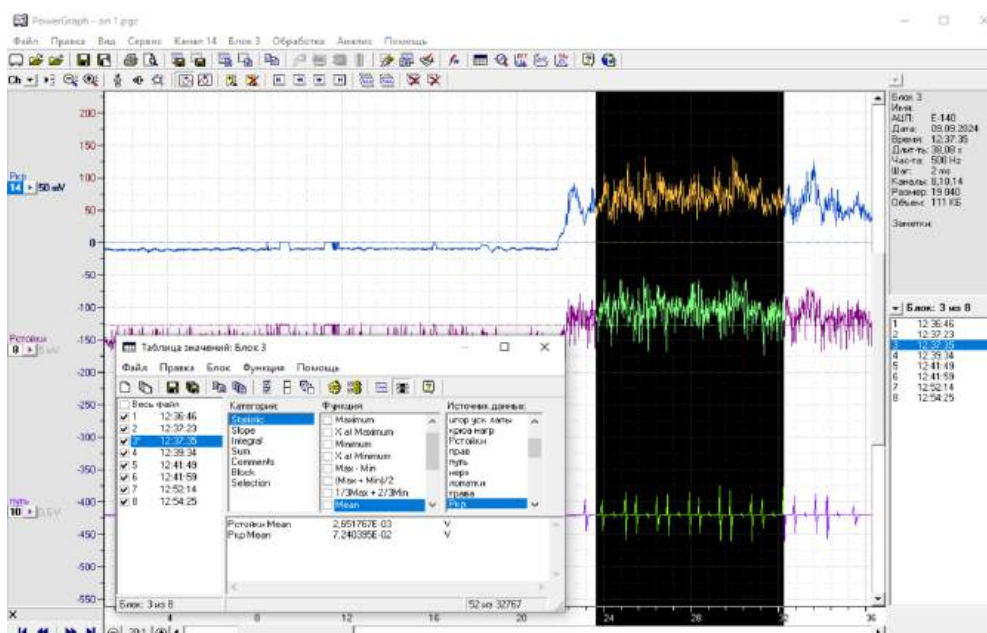


Рисунок 10 – Обработка экспериментальных данных в ПО PowerGraph
Figure 10 – Processing of experimental data in PowerGraph software

С помощью ПО PowerGraph (рисунок 10) и данных, полученных при тарировке датчиков, а также с учетом информации об относительной погрешности приборов измерительного программно-аппаратного комплекса, выполнили калибровку осциллограмм с последующей выгрузкой данных. Далее свод и анализ данных выполнялся в MS Excel.

По результатам анализа сравнительных тяговых полевых испытаний чизельного рабочего органа со стандартными долотами и долотами с боковым сегментированием все данные сводим в таблицу 2.

Таблица 2 – Экспериментальные данные проведения сравнительных полевых испытаний чизельного рабочего органа со стандартными долотами и долотами с боковым сегментированием

Table 2 – Experimental data from comparative field tests of a chisel working body with standard bits and side-segmented bits

Вид долота / Chisel type			Экспериментальные данные / Experimental data	
Наименование долота / Name of the chisel	Площадь экспериментального сечения, мм ² / Experimental cross-sectional area, mm ²	Коэффициент геометрической формы долота K / Bit geometric shape coefficient K	Фактическая скорость чизелевания V, м/с / Actual chiseling speed V, m/s	Тяговое сопротивление R, кН / Traction resistance R, kN
Долото чизельное стандартное (B10) / Chisel bit, standard (B10)	14061	1	1,14	2,30
			1,75	2,52
			2,69	2,86
Долото чизельное с боковым сегментированием (B11) / Chisel bit with side segmentation (B11)	12925	0,919	1,17	1,94
			1,78	2,16
			2,75	2,59
Долото чизельное с боковым сегментированием (B12) / Chisel bit with side segmentation (B12)	12358	0,879	1,19	1,98
			1,81	2,16
			2,72	2,56
Долото чизельное с боковым сегментированием (B13) / Chisel bit with side segmentation (B13)	13250	0,942	1,19	2,01
			1,81	2,20
			2,72	2,56
Долото чизельное с боковым сегментированием (B14) / Chisel bit with side segmentation (B14)	12844	0,913	1,17	2,04
			1,78	2,20
			2,72	2,61

Далее для анализа и интерпретации экспериментальных данных отобразим на одном графике (рисунок 11) полученные зависимости тяговых сопротивлений рабочего органа с разными долотами от фактической скорости передвижения МТА.

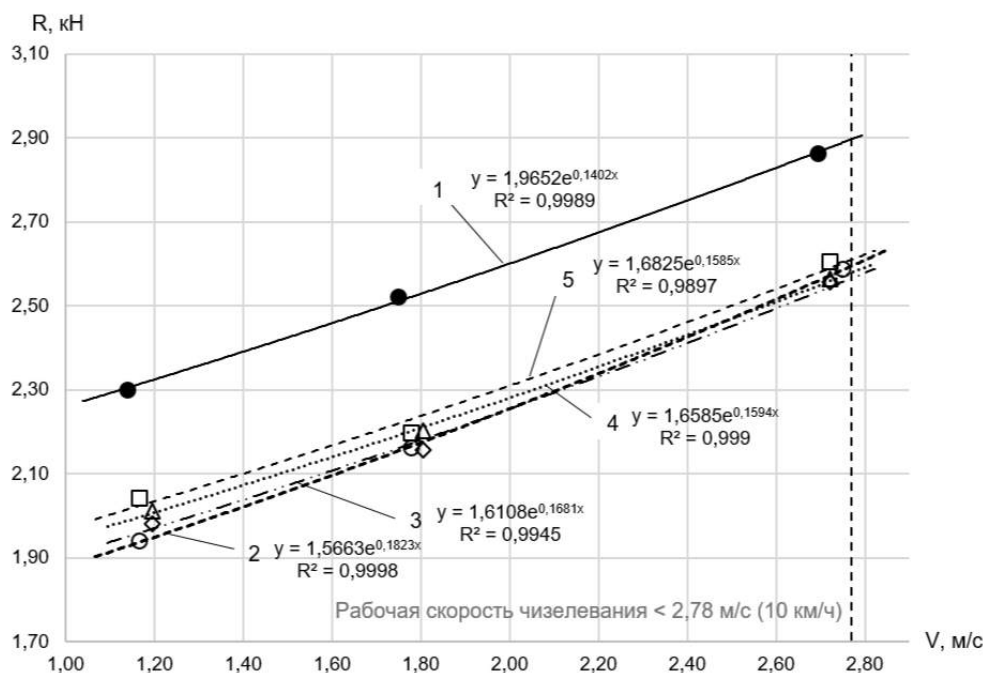


Рисунок 11 – Зависимость тягового сопротивления от скорости долот с разными геометрическими параметрами:

1 – долото чизельное стандартное (B10); 2 – долото чизельное с боковым сегментированием (B11); 3 – долото чизельное с боковым сегментированием (B12); 4 – долото чизельное с боковым сегментированием (B13); 5 – долото чизельное с боковым сегментированием (B14)

Figure 11 – Dependence of traction resistance on the speed of bits with different geometric parameters:

1 – chisel bit standard (B10); 2 – chisel bit with lateral segmentation (B11); 3 – chisel bit with lateral segmentation (B12); 4 – chisel bit with lateral segmentation (B13); 5 – chisel bit with lateral segmentation (B14)

Также для оценки влияния разных геометрических параметров долот на необходимое тяговое усилие для выполнения агротехнической операции по чизелеванию почвы на одном графике сведем зависимости тягового сопротивления рабочего органа от коэффициента, характеризующего форму чизельных долот (рисунок 12).

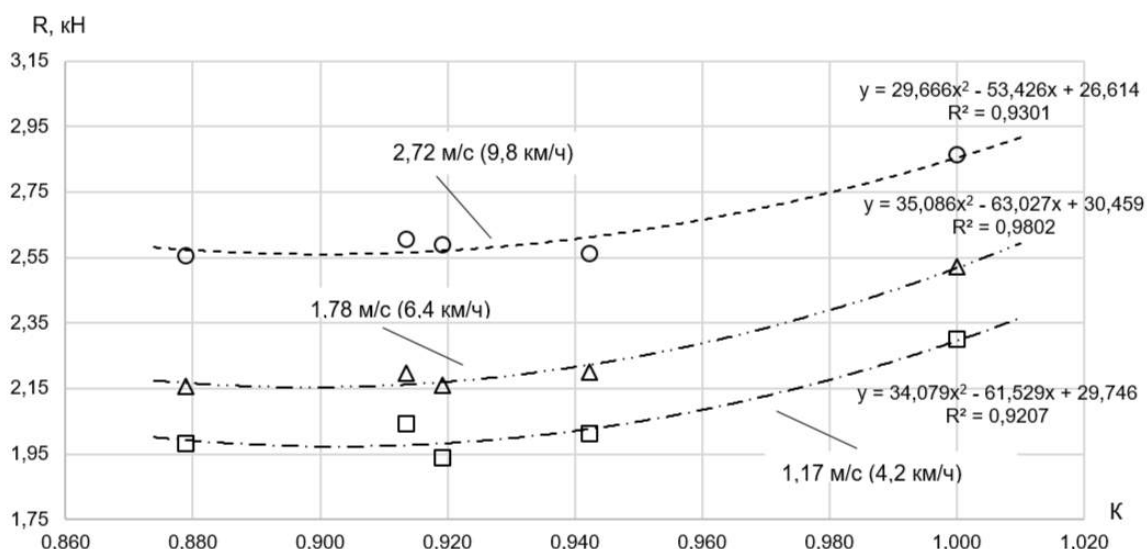


Рисунок 12 – Зависимость тягового сопротивления от коэффициента геометрической формы долота при разных скоростях экспериментального чизелевания

Figure 12 – Dependence of traction resistance on the coefficient of the bit geometric shape at different speeds of experimental chiseling

Из-за неудовлетворительных прочностных характеристик и повышенной сложности изготовления экспериментальные чизельные долота с боковым сегментированием с коэффициентом геометрической формы долот $K < 0,86$ не использовались в исследовании.

Обсуждение. Анализ экспериментальных данных (рисунок 11), полученных при проведении тяговых полевых испытаний чизельного рабочего органа со стандартными долотами и долотами с боковым сегментированием, показывает, что при увеличении фактической скорости движения МТА наблюдается практически линейное увеличение тягового сопротивления чизельной стойки. Увеличение тягового усилия было зафиксировано как при использовании стандартного чизельного долота, так и при использовании долот с боковым сегментированием. Это свидетельствует об общей тенденции к увеличению динамических нагрузок при увеличении скорости движения МТА.

Как видно на графике (рисунок 11), применение экспериментальных долот с боковым сегментированием позволяет снизить среднее значение тягового сопротивления чизельного орудия. На скорости 1,14 м/с (4,1 км/ч) видно, что максимальное снижение тягового усилия на 11 % наблюдается при использовании чизельного долота с боковым сегментированием (В11), а минимальное – на 9 %, при использовании чизельного долота с боковым сегментированием (В14).

Так же на графике (рисунок 11) видно, что при достижении практически максимальной скорости обработки 2,78 м/с (10 км/ч) (таблица 1), снижение значений тягового усилия всех экспериментальных долот с боковым сегментированием находится в пределах 9-11 %.

Как видно на графике зависимостей тягового сопротивления от коэффициента геометрической формы долота при снижении коэффициента K происходит снижение тягового сопротивления при любой скорости движения МТА. При этом наибольший эффект достигается при малой скорости 1,17 м/с (4,2 км/ч).

Заключение. 1. Разработана программа экспериментальных исследований влияния геометрических параметров долот на тяговое усилие при выполнении агротехнической операции по чизелеванию почвы.

2. В качестве объекта исследований была выбрана чизельная стойка «РАНЧО» со стандартными и экспериментальными долотами с боковым сегментированием.

3. Для проведения исследований были изготовлены экспериментальные долота с боковым сегментированием.

4. Для измерения и регистрации экспериментальных данных был подобран программно-аппаратный комплекс и проведена тарировка всех измерительных устройств.

5. В процессе проведения полевых испытаний регистрировались следующие параметры: фактическая скорость движения МТА, тяговое сопротивление, создаваемое экспериментальной стойкой «РАНЧО» и горизонтальная составляющая тягового сопротивления рамы садового культиватора с закрепленной на ней стойкой «РАНЧО» с долотами с разными геометрическими параметрами.

6. В процессе проведения полевых испытаний постоянно отслеживалась глубина обработки почвы и отсутствие забивания и залипания почвой стойки и чизельных долот.

7. При проведении экспериментальных исследований был получен массив экспериментальных данных, который затем был переработан в табличный и графический вид.

8. На основе полученных экспериментальных данных были сделаны выводы об эффективности чизельных долот с боковым сегментированием по сравнению с серийными стандартными долотами.

Conclusion. 1. A program of experimental studies of the influence of the geometric parameters of the chisels on the traction force during the agrotechnical operation of soil chiseling has been developed.

2. The "Rancho" chisel rack with standard and experimental chisels with lateral segmentation was selected as the object of research.

3. Experimental chisels with lateral segmentation were manufactured for the research.

4. A software and hardware complex was selected for measuring and recording experimental data, and all measuring devices were calibrated.

5. During the field tests, the following parameters were recorded: the actual speed of the MTA, the traction resistance created by the experimental Rancho rack, and the horizontal component of the traction resistance of the garden cultivator frame with the Rancho rack and chisel bits with different geometric parameters.

6. During the field tests, the depth of soil cultivation and the absence of clogging and sticking of the rack and chisel bits were constantly monitored.

7. During the experimental studies, an array of experimental data was obtained, which was then processed into a tabular and graphical form.

8. Based on the obtained experimental data, conclusions were drawn about the effectiveness of side-segmented chisel bits compared to standard chisel bits.

Библиографический список

1. Борисенко И. Б., Доценко А. Е. Технические и технологические особенности комбинированного рабочего органа. Нива Поволжья. 2015. № 3 (36). С. 89-96.
2. Борисенко И. Б., Шапоров М. Н., Борисенко П. И. Агротехнические подходы при проектировании рабочего органа минимальной обработки почвы с полосным углублением. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 4 (32). С. 193-197.
3. Борисенко И. Б., Пындак В. И., Новиков А. Е. Развитие чизельных почвообрабатывающих орудий и их теоретическое обоснование. Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2021. № 2. С. 12-19.
4. Борисенко И. Б., Губина Л. В., Осипов Б. И. Сравнительная оценка систем основной обработки почвы в условиях засушливого земледелия. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 3 (81). С. 418-426.
5. Гапич Д. С. и др. Снижение тягового сопротивления чизельных орудий. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 4 (72). С. 398-409.
6. Фомин С. Д. и др. Тяговое сопротивление секции чизельного плуга с рабочими органами различной геометрической формы. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 2 (74). С. 358-367.
7. Борисенко И. Б., Соколова М. В. Технологическая схема рабочего органа для полосной глубокой обработки почвы. Нива Поволжья. 2014. № 3 (32). С. 44-48.
8. Борисенко И. Б., Новиков А. Е., Садовников М. А. Основная обработка почв модернизированными чизельными орудиями. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. № 5. С. 27-32.
9. Швабауэр Ю. А. и др. Экспериментальная установка для исследования чизельного агрегата, оборудованного рабочими органами с улучшенными геометрическими характеристиками. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 2 (74). С. 394-406.
10. Субботин С. И., Гапич Д. С., Фомин С. Д. Экспериментальные исследования чизельного агрегата, оборудованного рабочими органами с улучшенными геометрическими характеристиками. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 4 (76). С. 355-364.

References

1. Borisenko I. B., Dotsenko A. E. Technical and technological features of a combined working body. The field of the Volga region. 2015. No 3 (36). Pp. 89-96.
2. Borisenko I. B., Shaprov M. N., Borisenko P. I. Agro-technical approaches in the design of the working body of minimal tillage with a strip recess. News of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2013. No 4 (32). Pp. 193-197.
3. Borisenko I. B., Pyndak V. I., Novikov A. E. Development of chisel tillage implements and their theoretical justification. Agricultural machinery: maintenance and repair. 2021. No 2. Pp. 12-19.
4. Borisenko I. B., Gubina L. V., Osipov B. I. Comparative assessment of basic tillage systems in arid agriculture. News of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional education. 2025. No 3 (81). Pp. 418-426.
5. Gapich D. S. et al. Reducing the traction resistance of chisel guns. News of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and Higher professional education. 2023. No 4 (72). Pp. 398-409.
6. Fomin S. D. et al. Traction resistance of a chisel plow section with working valves of various geometric shapes. News of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2024. No 2 (74). Pp. 358-367.
7. Borisenko I. B., Sokolova M. V. Technological scheme of the working body for continuous deep tillage. The field of the Volga region. 2014. No 3 (32). Pp. 44-48.
8. Borisenko I. B., Novikov A. E., Sadovnikov M. A. Basic soil treatment with modernized chisel tools. Agricultural machinery and technology. 2017. No 5. Pp. 27-32.
9. Shvabauer Yu. A. et al. An experimental installation for the study of a chisel unit equipped with working bodies with improved geometric characteristics. News of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and higher professional education. 2024. No 2 (74). Pp. 394-406.
10. Subbotin S. I., Gapich D. S., Fomin S. D. Experimental studies of a complete unit equipped with working bodies with improved geometric characteristics. News of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2024. No 4 (76). Pp. 355-364.

Информация об авторах

Гапич Дмитрий Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Борисенко Иван Борисович, доктор технических наук, главный научный сотрудник, профессор кафедры, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: borisenivan@yandex.ru

Галанский Константин Владимирович, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: k.galanskii@mail.ru

Субботин Станислав Игоревич, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Бышов Дмитрий Николаевич, доктор технических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева, г. Рязань, (РФ, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: university@rgatu.ru

Authors' Information

Gapich Dmitry Sergeevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department, Head of the Department of Power Supply and Energy Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Borisenko Ivan Borisovich, Doctor of Engineering Sciences, Chief Researcher, Professor of the Department, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: borisenivan@yandex.ru

Galansky Konstantin Vladimirovich, Postgraduate Student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: k.galanskii@mail.ru

Subbotin Stanislav Igorevich, Postgraduate Student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Бышов Дмитрий Николаевич, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department, Ryazan Agro-technological University named after P. A. Kostychev, (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev str., 1), e-mail: university@rgatu.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-50

THE OPERATIONAL MONITORING OF THE FAILURE TIME OF K 27-145 TURBOCHARGERS ENGINES OF THE KAMAZ VEHICLES UPGRADED WITH AN AUTONOMOUS LUBRICATION SYSTEM

^{1,2}Gritsenko A. V., ^{1,2}Lukin A. A., ³Burtsev A. Yu., ⁴Fomin S. D., ²Patov A. G.

¹South Ural State University (SUSU NRU)
Chelyabinsk, Russian Federation

²South Ural State Agrarian University (SUSU)
Chelyabinsk, Russian Federation

³Branch of T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University
Belovo, Russian Federation

⁴Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: lukin3415@gmail.com

Received 03.10.2025

Submitted 22.01.2026

Summary

The study aims to increase the service life of KAMAZ vehicle turbochargers by upgrading the lubrication system, including the installation of an autonomous lubrication system. The use of an autonomous lubrication system significantly improves the reliability and durability of KAMAZ vehicle turbochargers, confirming its practical feasibility.

Abstract

Introduction. In the modern automotive and tractor operating conditions, it is essential to ensure increased service life for basic components and systems. Turbocharger supercharging is a particularly critical system, accounting for up to 20 % of engine failures. During operation, it is necessary to ensure a continuous positive balance of oil supply to friction pairs and heat transfer through active oil circulation. To this end, a working design of an autonomous lubrication system is proposed. A unit has been manufactured and offered for production. The operational unit is adapted for the lubrication system of KAMAZ trucks. Methods for monitoring the mileage of KAMAZ vehicles before turbocharger failure have been developed. **Object.** The object of the study is an operational unit adapted for the lubrication system of KAMAZ trucks. **Materials and methods.** SPSS Statistics was selected as the primary data processing program. During operational studies, 15 observations were obtained that met the normality criterion. A test for the reproducibility of the experimental data yielded positive results. **Results and conclusions.** The necessary methods for processing and presenting the data have been selected. The average mileage before turbocharger failure was 180,960 km. The coefficient of variation does not exceed 5 %. The radial clearances of three KAMAZ engine turbochargers were assessed, and graphs of their change over mileage were obtained. Calculation of the mileage increase coefficient shows a significant increase of 2.36 times compared to the standard lubrication system. The obtained statistical indicators suggest the high efficiency of using an autonomous lubrication system in operation. The obtained results will be useful to specialists in the design, development, and operation of automotive and tractor vehicles.

Keywords: lubrication systems for trucks, diesel engines, autonomous lubrication systems, automotive and tractor systems.

Citation. Gritsenko A. V., Lukin A. A., Burtsev A. Yu., Fomin S. D., Patov A. G. The operational monitoring of the failure time of K 27-145 turbochargers engines of the KAMAZ vehicles upgraded with an autonomous lubrication system. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 470-484 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-50.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 621.436+629.351

**ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ НАРАБОТКИ НА ОТКАЗ ТУРБОКОМПРЕССОРОВ
К 27-145 ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ КАМАЗ, МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ
АВТОНОМНОЙ СИСТЕМОЙ СМАЗКИ**^{1,2}Гриценко А. В., доктор технических наук, профессор^{1,2}Лукин А. А., кандидат технических наук, доцент³Бурцев А. Ю., кандидат технических наук, доцент⁴Фомин С. Д., доктор технических наук, доцент²Патов А. Г., аспирант¹ ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет» (ЮУрГУ НИУ)
г. Челябинск, Российская Федерация²ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет» (ЮУрГАУ)
г. Челябинск, Российская Федерация³Филиал Кузбасского государственного технического университета им. Т. Ф. Горбачева
г. Белово, Российская Федерация⁴ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет»
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. В современных условиях эксплуатации автотракторных средств важно обеспечить повышенные ресурсные параметры базовых узлов и систем. Особо важной системой является турбокомпрессорный наддув, на долю которого приходится до 20 % отказов всего двигателя. В процессе эксплуатации необходимо обеспечить непрерывный положительный баланс поступления масла к парам трения и теплоотдачу за счет активной циркуляции масла. С этой целью предлагается рабочая конструкция автономной смазочной системы. Изготовлена и предложена производству установка. Эксплуатационная установка адаптирована под систему смазки грузовых автомобилей КамАЗ. Разработаны методики контроля параметров пробега автомобилей КамАЗ до наступления отказов турбокомпрессоров. **Объект.** Объектом исследования является эксплуатационная установка адаптирована под систему смазки грузовых автомобилей КамАЗ. **Материалы и методы.** В качестве основной программы обработки данных выбрано приложение SPSS Statistics. В ходе эксплуатационных исследований были получены 15 наблюдений, которые соответствуют критерию нормальности. Проверка на воспроизводимость данных эксперимента дала положительный результат. **Результаты и выводы.** Выбраны необходимые методики обработки и представления данных. Среднее значения пробега до отказа турбокомпрессора составило – 180960 км. Коэффициент вариации не превышает 5 %. Произведена оценка радиальных зазоров трех турбокомпрессоров ДВС КамАЗ и получены графики их изменения от пробега. Расчет коэффициента увеличения пробега показывает на весомый его рост по сравнению с штатной системой смазки в 2,36 раза. Полученные статистические показатели позволяют сделать вывод о высокой эффективности использования автономной системы смазки в эксплуатации. Полученные результаты будут полезны специалистам в области проектирования, разработки и эксплуатации автотракторных средств.

Ключевые слова: системы смазки грузовых автомобилей, дизельные двигатели, автономные системы смазки, автотракторные системы.

Цитирование. Гриценко А. В., Лукин А. А., Бурцев А. Ю., Фомин С. Д., Патов А. Г. Эксплуатационный контроль наработки на отказ турбокомпрессоров К 27-145 двигателей автомобилей КамАЗ, модернизированных автономной системой смазки. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 470-484. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-50.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. На современном уровне развития машиностроения преобладают решения, направленные на продление срока службы различных автотракторных систем [1, 2, 3]. Среди них первое место занимают те системы, на которые приходится наибольшее число отказов [4, 5]. Турбонаддув современных автотракторных средств является наиболее чувствительным узлом к внезапным отказам [6, 7]. Достаточно непродолжительных нарушений режимов эксплуатации, чтобы был утрачен ресурс турбокомпрессора [8, 9, 10]. Использование загрязненных топливно-смазочных материалов, несоблюдение сроков регламентированной замены масел, различные нарушения операций ТО – значительно уменьшают ресурс турбокомпрессора [11, 12, 13]. Наибольшее число отказов связано со стохастическими нагрузками со стороны двигателя и силовых агрегатов при выполнении работ

[14, 15]. Преодолеть их колебания позволяют дополнительные системы, устанавливаемые в составе штатных узлов турбокомпрессорного наддува. Так, значительный эффект может быть достигнут при использовании автономных смазочных устройств с независимым приводом. С учетом сказанного, целью исследования является повышение надежности турбокомпрессоров современных автотракторных средств за счет применения автономного смазочного устройства.

Вопросами разработки конструктивных решений, направленных на совершенствование процесса смазки подшипников турбокомпрессора занимались такие ученые как: Рождественский Ю. В., Задорожная Е. А., Кулаков А. Т., Денисов А. С., Галиев И. Г., Карминский В. Д., Леванов И. Г., Худяков В. С., Бурцев А. Ю., Редреев Г. В., Гаврилов К. В., Адигамов Н. Р., Курбаков И. И., Иншаков И. И., Калимуллин Р. Ф. Несмотря на их значительный вклад в разработку и совершенствование смазочного процесса подшипников турбокомпрессора, остается нерешенным вопрос, связанный с непрерывной адаптивностью процесса маслоподачи и охлаждения узлов трения турбокомпрессора при варьировании критических условий и режимов работы турбокомпрессора и ДВС в целом. Дальнейшая исследовательская работа может быть направлена на разработку адаптивных автономных маслоподающих систем с электроприводом и частотным его регулированием под возможные критические режимы работы турбокомпрессора. Кроме того, приоритетным направлением является разработка электронной системы управления автономным маслоподающим устройством при возможных критических режимах работы турбокомпрессора.

Материалы и методы. Перед проведением эксплуатационных исследований усовершенствованной системы турбонаддува была спроектирована и разработана экспериментальная версия автономной смазочной станции (рисунок 1).



Рисунок 1 – Комбинация элементов, входящих в состав автономной смазочной станции
Figure 1 – Combination of elements included in the autonomous lubrication station

Автономная смазочная станция представляет собой систему, состоящую из металлического масляного бака, закрепленного на нем электрического двигателя, масляного насоса. В масляный бак заливается 1,5-2 литра масла. Внутри масляного бака размещены встроенные ТЭНы для нагрева масла до рабочих значений температур от 0 до 140°C. Соединительные масляные магистрали связывают гидравлические элементы автономной смазочной станции. Кроме того, на масляном баке расположен масляный фильтр, совмещенный с манометром для контроля величины давления, создаваемого масляным насосом (рисунок 1).

Перед проведением эксплуатационных исследований была поставлена задача, заключающаяся в контроле наработки на отказ двух вариантов систем смазки ДВС: 1. Штатной; 2 Модернизированной автономной системой смазки. После проведенных эксплуатационных наблюдений по выбранным объектам производится фиксация результатов в виде таблицы 1.

Таблица 1 – Пример таблицы фиксации пробега до наступления отказа и выявление причины отказа для турбокомпрессоров со штатной системой смазки (или модернизированной)

Table 1 – Example of a table for recording the mileage before failure and identifying the cause of failure for turbochargers with a standard lubrication system (or a modernized one)

№ объекта наблюдения / No of the object of observation	Пробег до отказа, км / Mileage to failure, km	Причина или последствие отказа турбокомпрессора / Cause or consequence of turbocharger failure

Как видно из таблицы 1, фиксируется номер объекта наблюдения, пробег до отказа и причины, следствия отказа ТКР. Данные сводятся в отдельные таблицы 1 как для штатной системы смазки, так и для модернизированной. Эксплуатационные испытания проводятся по принципу: один турбокомпрессор питался от штатной системы смазки ДВС, а второй отсоединялся от штатной магистрали и подсоединялся к разработанной автономной системе смазки, которая запитывалась от аккумулятора бортовой системы автомобиля. На всех испытуемых ДВС используются турбокомпрессоры с нулевым пробегом. В случае более раннего отказа турбокомпрессора, питающегося от штатной системы смазки, фиксировался отказ (по величине пробега до отказа) и на его место ставился новый турбокомпрессор с эталонными параметрами. Отказом считались случаи, когда наблюдались следующие признаки: касание лопастей колес о корпус; забрасывание масла во впускной или выпускной коллектор ДВС (заметное подгорание масла и образование дымного выхлопа); потеря мощности ДВС более чем на 15 %, недопустимое снижение времени разгона турбокомпрессора и неустойчивость режимов работы. Основным признаком отказа являлось – недопустимое снижение эксплуатационных показателей турбокомпрессора или разрушение его отдельных элементов.

Следующим шагом является статистическая обработка результатов эксплуатационных исследований. Производится расчет значений среднеарифметических и среднеквадратических значений наработки на отказ (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты эксплуатационного контроля ДВС со штатной (или автономной) системой смазки до наступления отказа турбокомпрессоров
Table 2 – Results of operational control of an internal combustion engine with a standard (or autonomous) lubrication system before the failure of turbochargers

V, км															
X															
X ²															

Проведем обработку полученных эксплуатационных наблюдений (таблица 2) на предмет возможности воспроизведения полученных результатов. Оценочным показателем принят критерий Кохрена, используемый при контроле однородности посчитанных значений дисперсий. Условие воспроизводимости запишем в следующем виде:

$$G = \frac{S_{v\max}^2}{\sum_{v=1}^n S_v^2} \quad (1)$$

где G – критерий для оценки степени однородности дисперсий; $S_{v\max}$ – максимальное значение дисперсии единичного наблюдения в v-й точке; n – число эксплуатационных наблюдений; $\sum_{v=1}^n S_v^2$ – сумма квадратов всех вычисленных значений дисперсий.

Сумма квадратов всех вычисленных значений дисперсий определяется простым суммированием рядовых строк X2 в таблице 2.

Для определения величины среднего арифметического воспользуемся общеизвестным уравнением:

$$X_{cp} = \frac{\sum L}{n} \quad (2)$$

где X_{cp} – искомая величина среднего арифметического; $\sum L$ – сумма значений всех наблюдений пробегов до наступления отказа ТКР.

Определим значение среднего квадратического отклонения по следующему уравнению:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum X^2}{n-1}} \quad (3)$$

где σ – величина среднего квадратического отклонения пробега до отказа ТКР; $\sum X^2$ – сумма квадратов отклонений всех единичных эксплуатационных наблюдений пробега до отказа от среднего арифметического (возьмем расчетные значения из таблицы 2).

Важно вычислить вариативность исследуемой величины пробега до наступления отказа ТКР. Для этого вычислим коэффициент вариации:

$$V = \frac{100\sigma}{X_{cp}} \quad (4)$$

Определим величину стандартной ошибки при проведении 15 эксплуатационных измерений:

$$m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

Значение точности контроля величины пробега до отказа турбокомпрессора можно определить из выражения:

$$p = \frac{100 \cdot m}{X_{cp}}, \quad (6)$$

Следующим шагом идет контроль радиального зазора в подшипнике турбокомпрессора.

Для ровности интервалов контроля изменения радиального зазора необходимо было выдерживать точный межпроверочный интервал. Перед проведением контроля автомобиль выводился из эксплуатации. Контроль производился без снятия турбокомпрессоров с ДВС, доступ обеспечивался без разборки путем микрометрического контроля радиального зазора турбокомпрессора. Радиальный зазор вала ротора турбокомпрессора КамАЗ измеряется при помощи щупа или индикатора часового типа, установленного на корпусе турбины. Радиальный зазор может достигать до 1,00 мм на некоторых марках турбокомпрессора (рисунок 2).



Рисунок 2 – Контроль радиального зазора подшипника турбокомпрессора
 Figure 2 – Checking the radial clearance of the turbocharger bearing

Контроль величины радиального зазора очень важен в эксплуатации (рисунок 2). Его избыточное значение указывает на чрезмерный износ и является причиной последующего разрушения вращающихся элементов турбокомпрессора.

При измерении радиального зазора рекомендуется следующий порядок контрольных действий (рисунок 2): 1. Подготовительные действия: для обеспечения доступа к валу ротора турбокомпрессора необходимо снять его выпускной патрубок. 2. Операции по подготовке измерительного инструмента к работе и его установке на турбокомпрессор: необходимо подготовить индикатор часового типа к работе и разместить его на корпусе турбокомпрессора. Индикаторная головка должна касаться его вала. В качестве средства контроля может быть использован специальный щуп. Его применение основано на контроле в области между валом и корпусом турбинного колеса. 3. Непосредственное проведение измерения радиального зазора.

Процесс контроля измерительным щупом заключается в прижатии вала ротора к внутренней поверхности подшипника и одновременном введении измерительного щупа в зазор. Наборы щупов подбираются с учетом реальных значений радиальных зазоров и уровня их варьирования. Процесс контроля индикатором состоит в операции прижатия вала ротора вниз (первичного касания индикатора), после чего вверх до выбора зазора (смещения ножки индикатора на величину диаметрального зазора). Стрелка индикатора покажет полный диаметральный зазор, который нужно разделить пополам. Округление нужно сделать с точностью до 0,001 м, так как индикатор не позволяет проводить контроль с точностью 0,0001 м. После проведения 5-кратных измерений значение радиального зазора заносится в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты 5-кратных измерений радиального зазора в подшипнике турбокомпрессора К 27-145 ДВС КамАЗ с автономной системой смазки (штатной системой смазки) и его средняя величина

Table 3 – Results of 5-fold measurements of the radial clearance in the turbocharger bearing of the K 27-145 KamAZ ICE with an autonomous lubrication system (standard lubrication system) and its average value

Пробег до наступления отказа, км / Mileage before failure, km	Турбокомпрессор КамАЗ № 4, радиальный зазор, мкм / Turbocharger KamAZ No. 4, radial clearance, microns		Турбокомпрессор КамАЗ № 5, радиальный зазор, мкм / Turbocharger KamAZ No. 5, radial clearance, microns		Турбокомпрессор КамАЗ № 6, радиальный зазор, мкм / Turbocharger KamAZ No. 6, radial clearance, microns	
	Данные единичных измерений / Single measurement data	Среднее / Average	Данные единичных измерений / Single measurement data	Среднее / Average	Данные единичных измерений / Single measurement data	Среднее / Average

После фиксации результатов контроля радиального зазора для штатной и модернизированной систем смазки ТКР увеличение надежности выражаем в виде коэффициента увеличения пробега:

$$K_p = \frac{L_{ABT}}{L_{ШТ}} \quad (7)$$

где L_{ABT} – средняя величина пробега автомобиля КамАЗ до наступления отказа ТКР с автономной системой смазки, км; $L_{ШТ}$ – средняя величина пробега автомобиля КамАЗ до наступления отказа ТКР с штатной системой смазки, км.

Проведем необходимые эксплуатационные наблюдения и в соответствии с выбранной методикой обработаем полученные данные.

Результаты и обсуждение. После проведения эксплуатационных наблюдений по 15 объектам с установкой автономной системы смазки были зафиксированы следующие результаты (таблица 4).

Таблица 4 – Фиксация пробега до наступления отказа и выявление причины отказа
(при установке автономной системы смазки)Table 4 – Recording the mileage before failure and identifying the cause of failure
(when installing an autonomous lubrication system)

№ объекта наблюдения / No of the object of observation	Пробег до отказа, км / Mileage to failure, km	Причина или последствие отказа турбокомпрессора / The cause or consequence of turbocharger failure
1	170300	Недопустимые утечки масла / Unacceptable oil leaks
2	182200	Коксование рабочих каналов и заедание вала ротора турбокомпрессора, низкая прокачиваемость масла / Coking of the working channels and jamming of the turbocharger rotor shaft, low oil pumpability
3	175500	Повышенные утечки масла / Increased oil leaks
4	193700	Повышенный расход масла через неплотности турбокомпрессора / Increased oil consumption due to turbocharger leaks
5	181300	Недопустимый люфт и задевание вращающихся деталей турбокомпрессора / Unacceptable backlash and touching of rotating parts of the turbocharger
6	185600	Недопустимый уровень люфта ротора турбокомпрессора и повышенные утечки масла / Unacceptable turbocharger rotor backlash and increased oil leaks
7	191300	Заклинивание вала ротора турбокомпрессора / Jamming of the turbocharger rotor shaft
8	183500	Задевание лопастей колес из-за повышенного люфта / Brushing of the wheel blades due to increased backlash
9	187300	Разрушение лопастей турбинного колеса и задевание корпуса / Destruction of turbine wheel blades and hull damage
10	168000	Повышенные утечки масла / Increased oil leaks
11	173700	Значительные утечки масла во впускной и выпускной коллекторы / Significant oil leaks in the intake and exhaust manifolds
12	182300	Задевание лопастей колес из-за повышенного люфта / Brushing of the wheel blades due to increased backlash
13	178800	Повышенные утечки масла / Increased oil leaks
14	175400	Длительный разгон турбокомпрессора и снижение мощности ДВС выше 15 % / Prolonged acceleration of the turbocharger and reduction of internal combustion engine power above 15 %
15	185500	Длительный разгон турбокомпрессора и снижение мощности ДВС выше 15 % / Prolonged acceleration of the turbocharger and reduction of internal combustion engine power above 15 %

Проведем статистическую обработку результатов эксплуатационных наблюдений по 15 объектам наблюдения (таблица 4), рассчитаем значения среднеарифметических и среднеквадратических значений наработки на отказ (таблица 5).

Таблица 5 – Результаты эксплуатационного контроля ДВС с автономной системой смазки до наступления отказа турбокомпрессора

Table 5 – Results of operational control of an internal combustion engine with an autonomous lubrication system before the onset of turbocharger failure

V, км	170300	182200	175500	193700	181300	185600	191300	183500	187300	168000	173700	182300	178800	175400	185500
X	-8326	+3574	-3126	+15074	+2674	+6974	+12674	+4874	+8674	-10626	-4926	+3674	+174	-3226	+6874
X ²	69322276	12773476	9771876	227225476	7150276	48636676	160630276	23755876	75238276	112911876	24265476	13498276	30276	10407076	47251876

Проверим полученные данные наблюдений (таблица 5) на условие воспроизводимости однородности дисперсий (по критерию Кохрена): $S_{2v \max}$ – максимальная величина дисперсии отклонения в v -й точке, соответствует значению – 227225476.

Сумма квадратов всех вычисленных значений дисперсий соответствует значению:

$$\sum_{v=1}^n S_v^2 = 950734209$$

По уравнению (1) вычислим значение критерия Кохрена:

$$G = \frac{227225476}{950734209} = 0,239$$

Для проверки уровня однородности дисперсий необходимо определить табличное значение критерия Кохрена. Для этой цели необходимо знать степень свободы $V_{1\max}$, которая определяется числом эксплуатационных наблюдений и равна 15. Для уровня значимости $g = 0,05$ % при степени свободы $V_2 = 5 - 1 = 4$ выбираем критическое значение критерия Кохрена, которое равно – $G_{кр} = 0,24$. Расчетное значение $G = 0,239$ критерия меньше табличного. Гипотеза однородности дисперсий принимается.

Определим значение среднего арифметического:

$$X_{cp} = \frac{2714400}{15} = 180960 \text{ км.}$$

Рассчитаем значение среднего квадратического отклонения:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{950734209}{14}} = \pm 8240,7 \text{ км.}$$

Определим значение коэффициента вариации:

$$V = \frac{100 \cdot 8240,7}{180960} = 4,55 \text{ \%}.$$

Определим величину стандартной ошибки при проведении 15 эксплуатационных измерений по формуле (5):

$$m = \pm \frac{8240,7}{\sqrt{15}} = \pm 2128,2 \text{ км.}$$

Вычислим значение точности контроля величины пробега до отказа ТКР при использовании автономной системы смазки по формуле (6):

$$p = \frac{100 \cdot m}{X_{cp}} = \frac{100 \cdot 2128,2}{180960} = 1,17 \text{ \%}.$$

Таким образом, точность контроля величины пробега до отказа турбокомпрессоров составила – 1,17 % при стандартной ошибке измерения – 2128,2 км.

Все полученные данные эксплуатационных наблюдений (при питании автономной системой смазки) были проверены на предмет соответствия нормальному закону распределения данных в программе SPSS Statistics. Полученный сводный отчет представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Сводный отчет по эксплуатационным наблюдениям
Table 6 – Summary report on operational observations

Сводный отчет по наблюдениям / Summary report on observations						
	Наблюдения / Observations					
	Допустимо / Acceptable		Пропущенные / Missed ones		Всего / Total	
	n	Проценты / Percentages	n	Проценты / Percentages	n	Проценты / Percentages
VAR00002	15	100,0 %	0	0,0 %	15	100,0 %

В программе SPSS Statistics была применена вкладка «Описательные статистики» и получена таблица 7.

Таблица 7 – Результаты статистической обработки данных в SPSS Statistics
Table 7 – Results of statistical data processing in SPSS Statistics

Описательные статистики / Descriptive statistics				
			Статистика / Statistics	Стандартная ошибка / The standard error
VAR00002	Среднее / Average		180960,0000	1903,82572
	95 % Доверительный интервал для среднего / 95 % Confidence interval for the mean	Нижняя граница / The lower limit	176876,6999	
		Верхняя граница / The upper limit	185043,3001	
	Среднее по выборке, усеченной на 5 % / The average of the sample, truncated by 5 %		180972,2222	
	Медиана / The median		182200,0000	
	Дисперсия / Variance		54368285,714	
	Стандартные отклонения / Standard deviations		7373,48532	
	Минимум / Minimum		168000,00	
	Максимум / Maximum		193700,00	
	Диапазон / Range		25700,00	
	Межквартильный диапазон / Interquartile range		10200,00	
	Асимметрия / Asymmetry		-,097	0,580
	Экссесс / Excess		-,569	1,121

Кроме того, в программе SPSS Statistics были получены проценты распределения единичных наблюдений эксплуатационных данных (таблица 8).

Таблица 8 – Проценты распределения единичных наблюдений эксплуатационных данных
(с автономной системой смазки)

Table 8 – Percentiles of the distribution of single observations of operating data
(with an autonomous lubrication system)

		Проценты / Percentiles						
		5	10	25	50	75	90	95
Взвешенное среднее (Определение 1) / Weighted Average (Definition 1)	VAR00002	168000	169380	175400	182200	185600	192260	.
Сгибы Тьюки / Tuki folds	VAR00002			175450	182200	185550		

В программе SPSS Statistics была получена таблица 9 значений экстремумов единичных наблюдений эксплуатационных данных.

Таблица 9 – Значения экстремумов единичных наблюдений эксплуатационных данных
(с автономной системой смазки)

Table 9 – Values of extremes of individual observations of operating data
(with an autonomous lubrication system)

Значения экстремумов / Values of extremes				
			Номер наблюдения / Observation number	Значение / Meaning
VAR00002	Наибольшее / The largest	1	4	193700
		2	7	191300
		3	9	187300
		4	6	185600
		5	15	185500
	Наименьшее / The smallest	1	10	168000
		2	1	170300
		3	11	173700
		4	14	175400
		5	3	175500

Эксплуатационные данные проверялись на соответствие критерию нормальности. Полученные результаты представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Проверка эксплуатационных данных на соответствие критерию нормального распределения (с автономной системой смазки)

Table 10 – Verification of operational data for compliance with the criterion of normal distribution (with an autonomous lubrication system)

Критерии нормального распределения / Criteria for normal distribution						
	Колмогорова-Смирнова ^a / Kolmogorova-Smirnova ^a			Критерий Шапиро-Уилка / The Shapiro-Wilk criterion		
	Статистика / Statistics	ст.св.	знач. / p-value	Статистика / Statistics	ст.св.	знач. / p-value
VAR00002	0,118	15	0,200 [*]	0,979	15	0,963
*. Это нижняя граница истинной значимости / *. This is the lower limit of true significance						
a. Коррекция значимости Лиллиефорса / a. Correction of the significance of Lilyfors						

Проведем анализ по критерию Колмогорова-Смирнова (таблица 10): значимость (p-value) = 0,200. Поскольку p-value > 0,05, нет оснований отвергать H_0 – распределение можно считать нормальным. Анализ по критерию Шапиро-Уилка показывает следующее (таблица 6): значимость (p-value) = 0,963. p-value = 0,963 >> 0,05, значит, данные соответствуют нормальному распределению. Эксплуатационные данные VAR00002 статистически значимо не отличаются от нормального распределения (p > 0,05 в обоих тестах).

По полученным эксплуатационным данным в программе SPSS Statistics была построена гистограмма (рисунок 3).

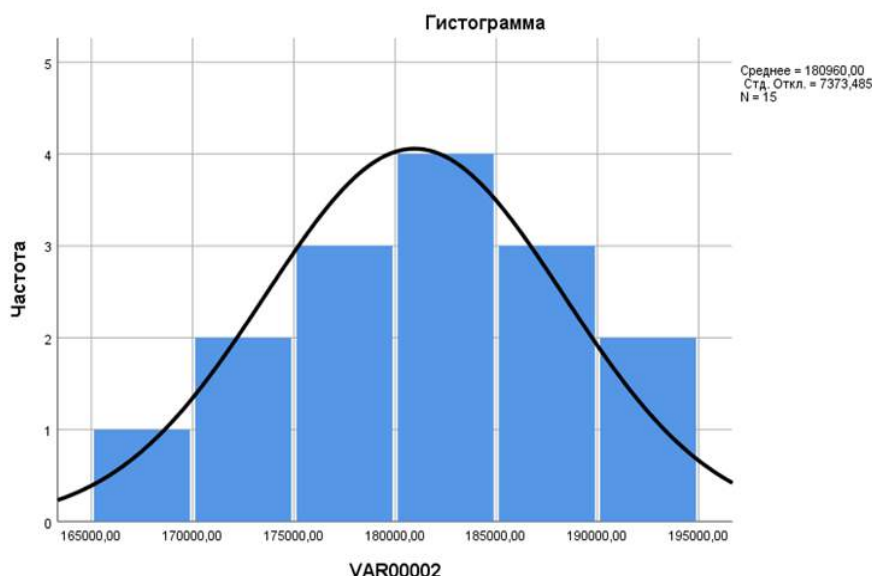


Рисунок 3 – Гистограмма распределения частоты отказов исследуемого турбокомпрессора (оцениваемых по величине пробега до отказа) с автономной системой смазки
Figure 3 – Histogram of the failure rate distribution of the studied turbocharger (estimated by the mileage before failure) with an autonomous lubrication system

Как видно из гистограммы распределения, представленной на рисунке 3, все точечные наблюдения отказов турбокомпрессора были разбиты на пять интервалов. Гистограмма по форме соответствует распределению наблюдений по нормальному закону. Полученные эксплуатационные данные были проверены на предмет соответствия нормальности по критерию – ожидаемой нормальности (рисунок 4).

Как видно из графика, показанного на рисунке 4, разброс точек наблюдения находится вблизи прямой линии. Малый разброс указывает на существенную близость к нормальному закону распределения данных.

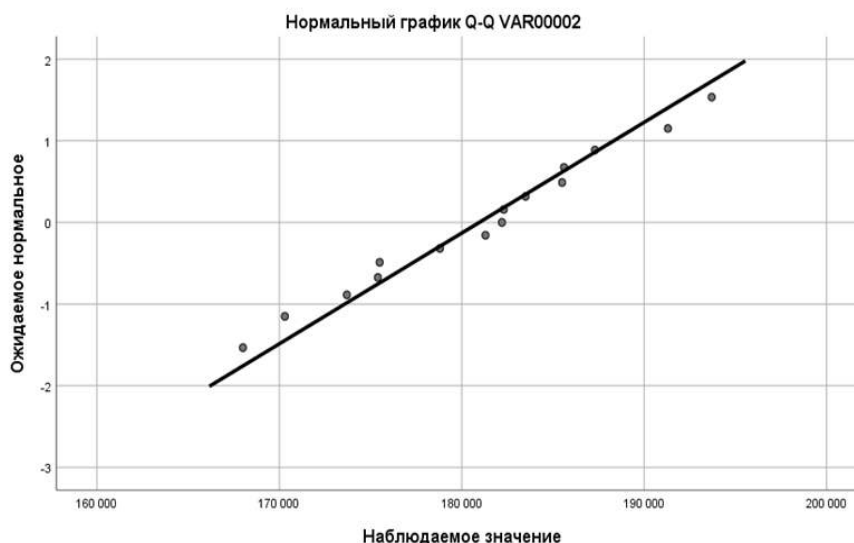


Рисунок 4 – Вероятностный график ожидаемого нормального (квантили) распределения полученных эксплуатационных данных от величины наблюдаемого значения пробега до наступления отказа ТКР (с автономной системой смазки)

Figure 4 – Probability graph of the expected normal (quantile) distribution of the obtained operational data from the observed mileage value until the failure of the turbocharger (with an autonomous lubrication system)

При использовании программы SPSS Statistics построим вероятностный график отклонения от нормального (квантили) полученных эксплуатационных данных от величины наблюдаемого значения пробега до наступления отказа ТКР с удаленным трендом распределения (с штатной системой смазки) (рисунок 5).

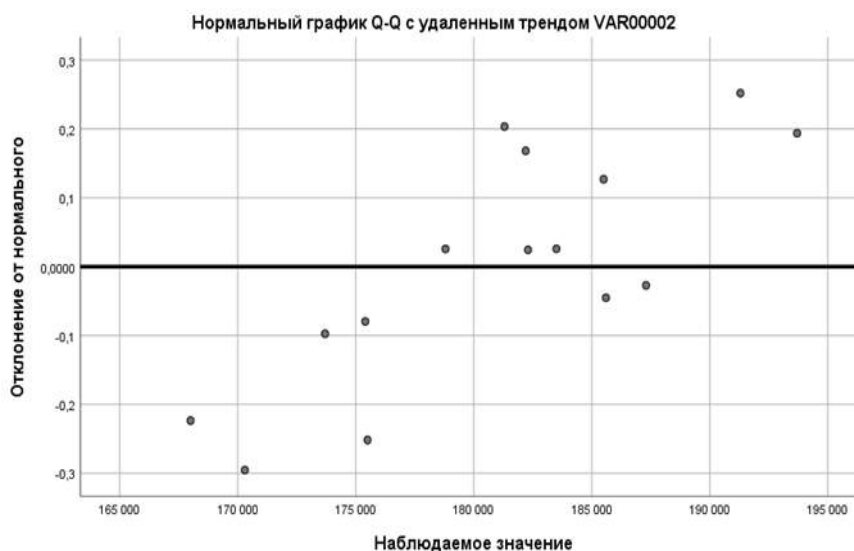


Рисунок 5 – Вероятностный график отклонения от нормального (квантили) полученных эксплуатационных данных от величины наблюдаемого значения пробега до наступления отказа ТКР с удаленным трендом распределения (с автономной системой смазки)

Figure 5 – Probability graph of deviation from the normal (quantiles) of the obtained operating data from the value of the observed mileage before the failure of the turbocharger with a removed distribution trend (with an autonomous lubrication system)

Если данные рисунка 5 находятся в диапазоне $\pm 0,3$ с почти линейным Q-Q plot, это говорит о хорошем соответствии нормальному распределению. Небольшие отклонения требуют внимания, но не критичны для большинства статистических выводов. Проведем анализ остатков модели прогнозирования пробега до отказа турбокомпрессора (с автономной системой смазки) (рисунок 6).

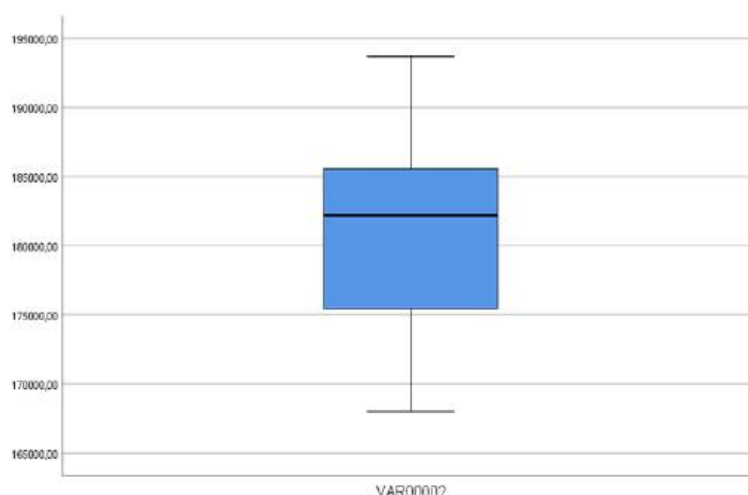


Рисунок 6 – Анализ остатков модели прогнозирования пробега до отказа турбокомпрессора (с автономной системой смазки)

Figure 6 – Analysis of the residuals of the model for predicting the mileage before failure of a turbocharger (with an autonomous lubrication system)

Box Plot подтверждает, что полученные данные наблюдений ($\pm 0,3$) имеют малый разброс и близки к нормальному распределению, что согласуется с предыдущими тестами (рисунок 6). После установки автономной системой смазки ДВС предварительно было замечено значительное уменьшение интенсивности износа подшипников турбокомпрессора. С учетом этого, была принята двойная периодичность контроля радиального зазора подшипника турбокомпрессора – 25000 км. При проведении эксплуатационного контроля были выбраны три грузовых автомобиля КамАЗ с нулевым пробегом. Кратность единичного контроля составляла – 5 измерений с округлением по средней величине. Полученные значения были сведены в таблицу 11.

Таблица 11 – Результаты 5-кратных измерений радиального зазора в подшипнике турбокомпрессора К 27-145 ДВС КамАЗ с автономной системой смазки

Table 11 – Results of 5-fold measurements of the radial clearance in the turbocharger bearing of the K 27-145 KamAZ ICE with an autonomous lubrication system

Пробег до наступления отказа, км / Mileage before failure, km	Турбокомпрессор КамАЗ № 4, радиальный зазор, мкм / Turbocharger KamAZ No. 4, radial clearance, microns		Турбокомпрессор КамАЗ № 5, радиальный зазор, мкм / Turbocharger KamAZ No. 5, radial clearance, microns		Турбокомпрессор КамАЗ № 6, радиальный зазор, мкм / Turbocharger KamAZ No. 6, radial clearance, microns	
25000	23, 24, 23, 23, 23	23	22, 22, 22, 23, 22	22	24, 24, 24, 25, 24	24
50000	24, 24, 24, 24, 25	24	24, 25, 24, 24, 24	24	25, 25, 25, 26, 25	25
75000	26, 27, 26, 26, 26	26	26, 26, 26, 26, 27	26	27, 28, 27, 27, 27	27
100000	29, 29, 29, 29, 29	29	28, 28, 28, 29, 28	28	29, 29, 30, 29, 29	29
125000	31, 31, 31, 31, 31	31	30, 30, 30, 30, 30	30	31, 31, 31, 31, 32	31
150000	32, 32, 32, 32, 32	32	33, 33, 34, 33, 33	33	33, 33, 33, 33, 33	33
175000	33, 34, 33, 33, 33	33	36, 36, 37, 36, 36	36	35, 35, 35, 36, 35	35
200000	35, 36, 35, 36, 35	35	37, 37, 38, 37, 37	37	38, 38, 38, 39, 38	38

Как видно из таблицы 11, при пятикратных измерениях радиального зазора имеются некоторые отклонения в пределах 0,001 м.

Для построения графика (рисунок 7) из таблицы 11 брались средние значения при каждом рядовом пробеге.

Как видно из рисунка 7, зависимость радиального зазора Z, мкм в подшипнике турбокомпрессора имеет линейный тренд изменения. Линейность графика на рисунке 7 говорит о более благоприятных условиях изменения долговечности турбокомпрессора (без резко выраженных изменений интенсивности износа).

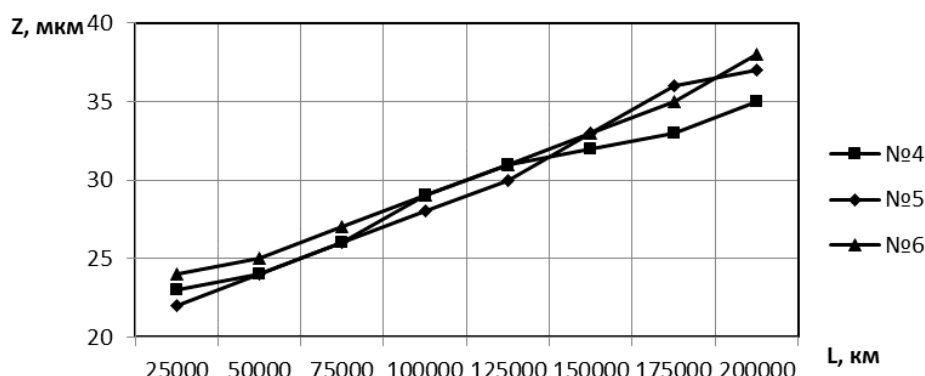


Рисунок 7 – Зависимость радиального зазора Z, мкм в подшипнике турбокомпрессора с автономной системой смазки от величины пробега до отказа L, км: 1. Турбокомпрессор КамАЗ № 4; 2.

Турбокомпрессор КамАЗ № 5; 3. Турбокомпрессор КамАЗ № 6

Figure 7 – Dependence of the radial clearance Z, μm, in the bearing of a turbocharger with an autonomous lubrication system on the mileage before failure L, km: 1. Turbocharger KAMAZ № 4; 2.

Turbocharger KAMAZ № 5; 3. Turbocharger KAMAZ № 6

После установки автономной системы смазки были получены результаты контроля пробега до отказа турбокомпрессоров, которые необходимо сопоставить с результатами контроля пробега при использовании штатной системы смазки. При этом увеличение пробега до отказа заметно превышает вариант штатной системы смазки. Данное превышение пробега до отказа можно выразить коэффициентом увеличения пробега:

$$K_p = \frac{180960}{76533,3} = 2,36.$$

Таким образом, внедрение инновационных мероприятий позволяет увеличить пробег до наступления отказа в среднем в 2,36 раза. Это подтверждает высокую техническую и технологическую эффективность предложенных решений.

Закключение. Произведенный анализ показал необходимость оснащения ДВС автотракторных средств узлами, обеспечивающими надежную их работу. В частности, в качестве подобного узла выступает автономная смазочная система. Была разработана ее конструкция и адаптирована под современные системы турбонаддува автомобилей КамАЗ. Автономная система смазки устанавливалась на 15 автомобилей КамАЗ. Были разработаны планы таблиц для контроля параметров надежности и выбраны критерии отказа систем турбонаддува. Для проведения обработки результатов выбраны: статистические методики и уравнения; методики контроля радиального зазора в подшипниках турбокомпрессора; методика контроля рабочих величин зазоров в подшипниках турбокомпрессора. В качестве оценочного критерия выбран коэффициент увеличения пробега. Анализ результатов обработки данных показывает на увеличение среднего арифметического пробега до 180960 км (при штатной системе смазки – 76533,3 км). Это говорит о том, что коэффициент увеличения пробега составил 2,36. Что указывает на повышенный эффект от внедрения новой разработки.

Conclusions. The analysis demonstrated the need to equip internal combustion engines of automotive and tractor vehicles with components that ensure reliable operation. Specifically, an autonomous lubrication system serves as such a component. Its design was developed and adapted for modern turbocharging systems of KAMAZ vehicles. The autonomous lubrication system was installed on 15 KAMAZ vehicles. Reliability parameter monitoring tables were developed, and turbocharging system failure criteria were selected. Statistical methods and equations were selected for processing the results. Methods for monitoring radial clearance in turbocharger bearings were selected. A method for monitoring the operating values of clearances in turbocharger bearings was selected. The mileage increase factor was chosen as the evaluation criterion. Analysis of the data processing results shows an increase in the arithmetic mean mileage to 180,960 km (with the standard lubrication system - 76,533.3 km). This indicates a mileage increase factor of 2.36, indicating an increased effect from the implementation of this new development.

Библиографический список

1. Gavrilo K., Hudyakov V., Rulevskiy A. The optimization of microgeometric parameters of hydrodynamic heavy loaded tribounits of a forced internal combustion engine. Tribology in Industry. 2021. V. 43. № 3. Pp. 413-419.
2. Zadorozhnaya E., Hudyakov V., Sibiryakov S. Theoretical and experimental investigations of the rotor vibration amplitude of the turbocharger and bearings temperature. Tribology in Industry. 2017. V. 39. № 4. Pp. 452-459.
3. Скрыбин В. А. Технология ремонта турбокомпрессоров. Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2022. № 8. С. 9-19.

4. Курбаков И. И., Иншаков А. П., Курбакова М. С., Гребенцов Г. С. Обоснование возможности диагностирования подшипникового узла турбокомпрессора по расходным характеристикам в среде MATLAB. Техника и оборудование для села. 2023. № 9 (315). С. 31-35.

5. Поварков И. Л., Рыжов В. А., Калугин М. Е., Журавлев А. Н. Совершенствование системы воздухо-снабжения тепловозных дизелей. Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2023. Т. 82. № 1. С. 25-35.

6. Редреев Г. В., Болтовский С. Н. Использование диагностической информации для повышения эффективности эксплуатации зерноуборочных комбайнов. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2018. № 4 (32). С. 85-92.

7. Redreev G. V., Podorvanov S. G., Laskin A. S., Skusanov I. V. Machine units as the objects of technical service. British Journal of Innovation in Science and Technology. 2017. V. 2. № 1. Pp. 33-40.

8. Ипатов А. Г., Иванов А. Г., Малинин А. В. Повышение эффективности работы турбокомпрессора модификацией подшипниковых сопряжений. Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 3 (71). С. 59-63.

9. Галиев И. Г., Парлюк Е. П., Зиганшин Б. Г. Модернизация смазочной системы подшипника турбокомпрессора дизельного двигателя. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 3 (63). С. 67-71.

10. Бродов Ю. М., Плотников Л. В., Десятов К. О. Тепломеханическое совершенствование системы воздухо-снабжения поршневого двигателя с турбонаддувом. Надежность и безопасность энергетики. 2021. Т. 14. № 2. С. 108-114.

11. Галиев И. Г., Кулаков А. Т., Галимов А. Р. Обоснование параметра работоспособности турбокомпрессора. Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. 2021. № 2 (72). С. 251-256.

12. Столяров А. С. Улучшение сходимости системы уравнений совместной работы дизеля и турбокомпрессора. Труды Крыловского государственного научного центра. 2021. № S1. С. 100-102.

13. Филинков Е. Л., Попов А. В., Волокушин Р. В., Ушаков М. М. Способ и устройство определения технического состояния турбокомпрессора дизеля. Военный инженер. 2021. № 1 (19).

14. Ipatov A. G., Ivanov A. G., Kharanzhevskii E. V. Modification of the Bearing Interfaces of a TKR7C-6 Turbocharger. Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2020. V. 49. № 6. Pp. 545-549.

15. Мошкин Н. И., Болоев П. А., Самбилов Д. Ж., Бадмаев С. С. Определение вероятности отказов агрегатов наддува двигателя КАМАЗ - 740.63.400. Вестник ВСГУТУ. 2018. № 3 (70). С. 37-42.

References

1. Gavrilov K., Hudyakov V., Rulevskiy A. The optimization of microgeometric parameters of hydrodynamic heavy loaded tribounits of a forced internal combustion engine. Tribology in Industry. 2021. V. 43. № 3. Pp. 413-419.

2. Zadorozhnaya E., Hudyakov V., Sibiryakov S. Theoretical and experimental investigations of the rotor vibration amplitude of the turbocharger and bearings temperature. Tribology in Industry. 2017. V. 39. № 4. Pp. 452-459.

3. Scriabin V. A. Turbocharger repair technology. Repair. Restoration. Modernization. 2022. № 8. Pp. 9-19.

4. Kurbaakov I. I., Inshakov A. P., Kurbaikova M. S., Grebentsov G. S. Justification of the Possibility of Diagnostics of a Turbocharger Bearing Assembly Based on Flow Characteristics in the MATLAB Environment. Machinery and Equipment for Rural Areas. 2023. № 9 (315). Pp. 31-35.

5. Povarkov I. L., Ryzhov V. A., Kalugin M. E., Zhuravlev A. N. Improving the Air Supply System of Diesel Locomotive Engines. Bulletin of the Research Institute of Railway Transport. 2023. Vol. 82. № 1. Pp. 25-35.

6. Redreev G. V., Boltovsky S. N. Using Diagnostic Information to Improve the Operating Efficiency of Grain Harvesters. Bulletin of Omsk State Agrarian University. 2018. № 4 (32). Pp. 85-92.

7. Redreev G. V., Podorvanov S. G., Laskin A. S., Skusanov I. V. Machine units as the objects of technical service. British Journal of Innovation in Science and Technology. 2017. V. 2. № 1. Pp. 33-40.

8. Ipatov A. G., Ivanov A. G., Malinin A. V. Improving the efficiency of a turbocharger by modifying bearing assemblies. Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy. 2022. № 3 (71). Pp. 59-63.

9. Galiev I. G., Parlyuk E. P., Ziganshin B. G. Modernization of the lubrication system of a diesel engine turbocharger bearing. Bulletin of the Kazan State Agrarian University. 2021. Vol. 16. № 3 (63). Pp. 67-71.

10. Brodov Yu. M., Plotnikov L. V., Desyatov K. O. Thermomechanical improvement of the air supply system of a turbocharged piston engine. Reliability and Safety of Power Engineering. 2021. Vol. 14. № 2. Pp. 108-114.

11. Galiev I. G., Kulakov A. T., Galimov A. R. Justification of the turbocharger performance parameter. Scientific Notes of the Crimean Engineering and Pedagogical University. 2021. № 2 (72). Pp. 251-256.

12. Stolyarov A. S. Improving the convergence of the system of equations for the joint operation of a diesel engine and a turbocharger. Proceedings of the Krylov State Research Center. 2021. № S1. Pp. 100-102.

13. Filinkov E. L., Popov A. V., Volokushin R. V., Ushakov M. M. Method and device for determining the technical condition of a diesel turbocharger. Military Engineer. 2021. № 1 (19).

14. Ipatov A. G., Ivanov A. G., Kharanzhevskii E. V. Modification of the Bearing Interfaces of a TKR7C-6 Turbocharger. Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2020. Vol. 49. № 6. Pp. 545-549.

15. Moshkin N. I., Boloev P. A., Sambilov D. Zh., Badmaev S. S. Determining the Probability of Failures of the KAMAZ-740.63.400 Engine Supercharging Units. VSGUTU Bulletin. 2018. № 3 (70). Pp. 37-42.

Информация об авторах

Гриценко Александр Владимирович, доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет» (ЮУрГУ НИУ); профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет» (ЮУрГАУ), e-mail: alexgrits13@mail.ru

Лукин Александр Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет» (ЮУрГУ НИУ); доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет» (ЮУрГАУ), e-mail: lukin3415@gmail.com

Бурцев Александр Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры, филиал Кузбасского государственного технического университета им. Т. Ф. Горбачева. e-mail: burzeval2009@vandex.ru;

Фомин Сергей Денисович, доктор технических наук, профессор кафедры, заведующий Центром наукометрического анализа и международных систем индексирования, ФГБОУ ВО Волгоградский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

Патов Артем Германович, аспирант, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет» (ЮУрГАУ), e-mail: patov98@mail.ru

Authors' Information

Aleksander Vladimirovich Gritsenko, Doctor of Engineering Sciences, Professor, South Ural State University (SUSU NRU); Professor, Department of Technical Service of Machines, Equipment, and Life Safety, South Ural State Agrarian University (SUSU), e-mail: alexgrits13@mail.ru

Lukin Aleksandr Anatolyevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, South Ural State University (SUSU NRU); Associate Professor, South Ural State Agrarian University (SUSU), e-mail: lukin3415@gmail.com

Burtsev Aleksandr Yuryevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Belovo Branch of T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, e-mail: burzeval2009@yandex.ru

Fomin Sergey Denisovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department, Head of the Center for Scientometric Analysis and International Indexing Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskij Avenue, 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

Patov Artem Germanovich, Postgraduate Student, South Ural State Agrarian University (SUSU), e-mail: patov98@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-51

THE STUDY OF THE POTATO TUBERS COMBINED CUTTING PROCESS

¹Lebed N. I., ¹Tseplyaev V. A., ²Tseplyaev A. N., ¹Fomin S. D., ¹Mulintsev A. I.¹Volgograd State Agrarian University²All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture –
branch of the "Federal Scientific Center VNIIGiM named after A. N. Kostyakov"
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: nik8872@yandex.ru

Received 08.10.2025

Submitted 12.01.2026

Abstract

Introduction. This paper examines the experimental results of potato tuber crushing to determine the efficiency of cutting with sawing using a zigzag knife wall, followed by the determination of the most significant adjustable parameter affecting the energy efficiency of the process. **Materials and Research Methods.** The experimental studies were carried out on a laboratory setup for studying the components of tuber crop cutting forces. The data were collected using a control, monitoring, and data storage unit developed on the basis of a programmable AVR-architecture microcontroller, using a half-bridge strain gauge force sensor with a measurement limit of 500 N, an ACS712 current sensor, and a Voltage Sensor (0...25 V). Lorkh forage potato tubers were chopped into equal slices 10 mm thick, which meets zootechnical requirements and recommendations for feeding cattle and pigs. **Research results and conclusions.** Processing the experimental data yielded graphical dependencies reflecting the impact of adjustable parameters within the given range on the efficiency of combined potato tuber cutting. Furthermore, indicators were obtained for the maximum applied force by the pusher and the reciprocating mechanism, as well as the work expended by each mechanism individually.

Keywords: potato tuber cutting, methods of cutting tubers, vegetable processing, tuber choppers.

Citation. Lebed N. I., Tseplyaev V. A., Tseplyaev A. N., Fomin S. D., Mulintsev A. I. The study of the potato tubers combined cutting process. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 484-495 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-51.

Authors' contribution. The authors of this study were directly involved in the formulation of the problem, planning the study, analysis, presentation of conclusions and preparation of proposals for production. The authors of this article have reviewed and approved the final version of the article.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.171+631.363.23

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОМБИНИРОВАННОГО РЕЗАНИЯ
КЛУБНЕПЛОДОВ КАРТОФЕЛЯ¹Лебедь Н. И., доктор технических наук, доцент¹Цепляев В. А., кандидат технических наук, доцент²Цепляев А. Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор¹Фомин С. Д., доктор технических наук, доцент¹Мулинцев А. И., аспирант¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ²Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия –
филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им А. Н. Костякова»
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Работа посвящена обработке результатов экспериментов по осуществлению измельчения клубнеплодов картофеля с целью определения эффективности применения резания с распиливанием посредством зигзагообразной ножевой стенки, с последующим определением наиболее значимого регулируемого параметра, влияющего на энергоэффективность технологиче-

ского процесса. **Материалы и методы исследований.** Проведение экспериментальных исследований осуществлялось на лабораторном стенде для исследования составляющих сил резания клубнеплодов, сбор полученных данных реализован посредством блока управления, мониторинга и хранения данных, разработанного на базе программируемого микроконтроллера AVR-архитектуры, с применением полумостового тензометрического датчика усилия с пределом измерения 500 Н, датчика тока ACS712 и напряжения «Voltage Sensor» (0...25 В). Измельчение клубней картофеля кормового сорта Лорх производилось на равные ломтики толщиной 10 мм, что соответствует зоотехническим требованиям, а также рекомендациям по кормлению КРС и свиней. **Результаты исследований и выводы.** В результате обработки экспериментальных данных были получены графические зависимости, отражающие влияние регулируемых параметров в рассматриваемом диапазоне на эффективность комбинированного резания клубнеплодов картофеля, кроме этого были получены показатели максимального прикладываемого усилия толкателем и механизм возвратно-поступательного перемещения, затраченной работы каждым механизмом в отдельности.

Ключевые слова: резание клубнеплодов картофеля, способы резания клубнеплодов, переработка овощей, измельчители клубнеплодов.

Цитирование. Лебедь Н. И., Цепляев В. А., Цепляев А. Н., Фомин С. Д., Мулинцев А. И. Исследование процесса комбинированного резания клубнеплодов картофеля. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 484-495. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-51.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования непосредственно участвовали в постановке проблемы, планировании исследования, анализе, в изложении выводов и подготовке предложений производству. Авторы настоящей статьи изучили и одобрили представленный в окончательном виде вариант статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Повышение эффективности технологического оборудования для обработки и переработки плодоовощного сырья является одной из приоритетных задач агропромышленного комплекса. Значимым является процесс измельчения корнеклубнеплодов, широко используемых как в пищевой промышленности, так и в животноводстве при производстве кормов [1, 9]. Качество получаемой продукции, а также энергетическая эффективность процесса измельчения прямо влияют на себестоимость конечной продукции, ресурсосбережение и итоговую производительность.

С точки зрения импортозамещения особое значение приобретает разработка и совершенствование отечественных машин и механизмов, способных обеспечить высокие эксплуатационные показатели при переработке пищевого сырья [3, 4, 10, 11, 12]. Также актуальной научно-практической задачей является снижение энергетических затрат и механических нагрузок на рабочие органы оборудования при сохранении требуемого качества измельчения, а также изучение и применение новых методов резания плодов и овощей.

Известно, что процесс резания корнеклубнеплодов сопровождается значительными колебаниями усилий и энергии, затрачиваемой на преодоление сопротивления материала [6, 8]. В рассматриваемом процессе резания путем проталкивания плода через возвратно-поступательно движущиеся под углом скольжения ножи существенное влияние на эффективность этого процесса оказывают регулируемые параметры режущего органа – средняя скорость движения $V_{ср}$, амплитуда перемещения A и угол α скольжения ножей. Исследование влияния этих параметров в дальнейшем позволит определить их оптимальные значения, за счет чего повысить энергетическую эффективность применения оборудования, снижая показатель затраченной работы и уменьшая значения максимальных нагрузок на приводные механизмы.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований процесса резания клубней картофеля сорта Лорх, являющегося в том числе кормовым по назначению и районированным для выращивания в Волгоградской области.

Анализ проводился с целью выявления закономерностей изменения показателей затраченной работы каждым механизмом при варьировании технологических и конструктивных параметров. Полученные данные могут быть использованы в дальнейшем при поиске оптимальных значений для наиболее эффективного их применения в измельчителе, а также при разработке и модернизации резательных машин для пищевого сырья и сочных кормов.

Материалы и методы исследований. Исследование проводилось на базе лабораторного стенда для исследования составляющих сил резания корнеклубнеплодов (рисунков 1, 2) [Патент на полезную модель № 226968 U1 Российская Федерация, МПК В02С 18/02, А01F 29/08. Измельчитель корнеклубнеплодов: № 2024109135: заявл. 04.04.2024; опубл. 28.06.2024 / Н. И. Лебедь, А. Н. Цепляев, В. А. Цепляев [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет»].

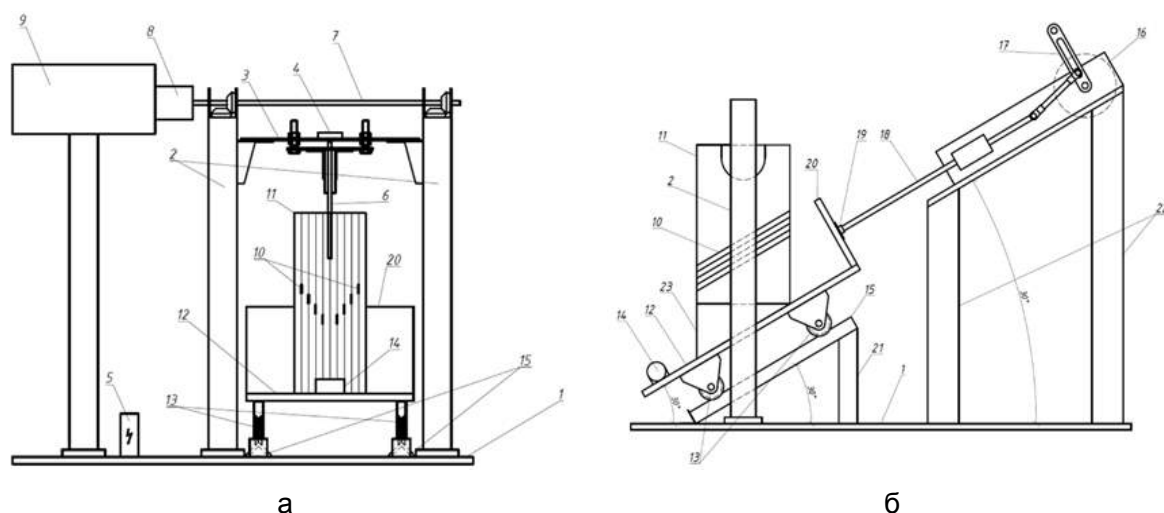


Рисунок 1 – Конструктивная схема лабораторного стенда для исследования составляющих сил резания корнеклубнеплодов

а – лабораторный стенд, общий вид;

б – лабораторный стенд, установленный под углом 30 градусов, вид сбоку

- 1 – станина; 2 – механизм вертикального перемещения; 3 – балка; 4 – тензометрический датчик; 5 – блок управления и сбора данных; 6 – толкатель; 7 – приводной вал; 8 – муфта; 9 – электродвигатель; 10 – ножи; 11 – ножевая камера; 12 – платформа; 13 – V-образный ролик; 14 – вибромотор; 15 – стальной уголок; 16 – электродвигатель; 17 – кривошипно-шатунный механизм; 18 – резьбовой шкив; 19 – опорная пластина; 20 – борт платформы; 21, 22, 23 – подпоры

Figure 1 – Structural diagram of the laboratory rig for studying the components of root crop cutting forces
а – General view of the laboratory rig installed at an angle of 30 degrees;

б – Side view of the laboratory rig

- 1 – Frame; 2 – Vertical movement mechanism; 3 – Beam; 4 – Strain gauge; 5 – Control and data acquisition unit; 6 – Pusher; 7 – Drive shaft; 8 – Coupling; 9 – Electric motor; 10 – Knives; 11 – Knife chamber; 12 – Platform; 13 – V-shaped roller; 14 – Vibration motor; 15 – Steel angle; 16 – Electric motor; 17 – Crank mechanism; 18 – Threaded pulley; 19 – Support plate; 20 – Platform side; 21, 22, 23 – Supports

Сбор полученных данных реализован посредством блока управления, мониторинга и хранения данных, разработанного на базе программируемого микроконтроллера AVR-архитектуры, с применением полумостового тензометрического датчика усилия с пределом измерения 500 Н, датчика тока ACS712 и напряжения «Voltage Sensor» (0...25 В).

Управление двигателем постоянного тока, создающего вращательное движение на валу редуктора с закрепленным кривошипно-шатунным механизмом, преобразующим вращательное движение в линейное возвратно-поступательное, осуществлялось при помощи полевых транзисторов. Регулировка скорости вращения вала двигателя производилась методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ) определенной скважности, предусмотренной планированием эксперимента [2, 5, 7]. Контроль работы электродвигателя, реализующего вращательное движение приводного вала механизма вертикального перемещения, производился посредством автоматизированного с обратной связью, программного и ручного способов управления.

Измельчение клубней картофеля кормового сорта Лорх производилось на равные ломтики толщиной 10 мм, что соответствует зоотехническим требованиям, а также рекомендациям по кормлению КРС и свиней, согласно которых корнеплоды перед скармливанием измельчаются по форме узких пластинок соответственно по толщине от 5 до 10 мм, по ширине от 10 до 30 мм и длине, равной длине продукта [Технологии и средства приготовления корнеклубнеплодов для скармливания крупному рогатому скоту: монография / А. В. Брусенков, В. П. Капустин. М.: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. 140 с.].

Лабораторный стенд содержит станину 1 с установленным механизмом вертикального перемещения 2, балку 3 с закрепленным тензометрическим датчиком 4, отправляющим измерения в блок управления и сбора данных 5, и толкателем 6. Механизм вертикального перемещения 2 приводится в движение посредством приводного вала 7, передающего вращение через муфту 8 от электродвигателя 9. Ножи 10 закреплены в ножевой ка-

мере 11, установленной на платформе 12, содержащей V-образные ролики 13 и вибромотор 14. Платформа 12 перемещается по стальным уголкам 15 посредством передачи крутящего момента через вал электродвигателя 16 с зафиксированным на нем кривошипно-шатунным механизмом 17, соединенным, в свою очередь, с резьбовым шкивом 18, вкрученным в опорную пластину 19, закрепленную на борту платформы 20. Для реализации угла скольжения ножей используются подпоры 21, 22, 23.

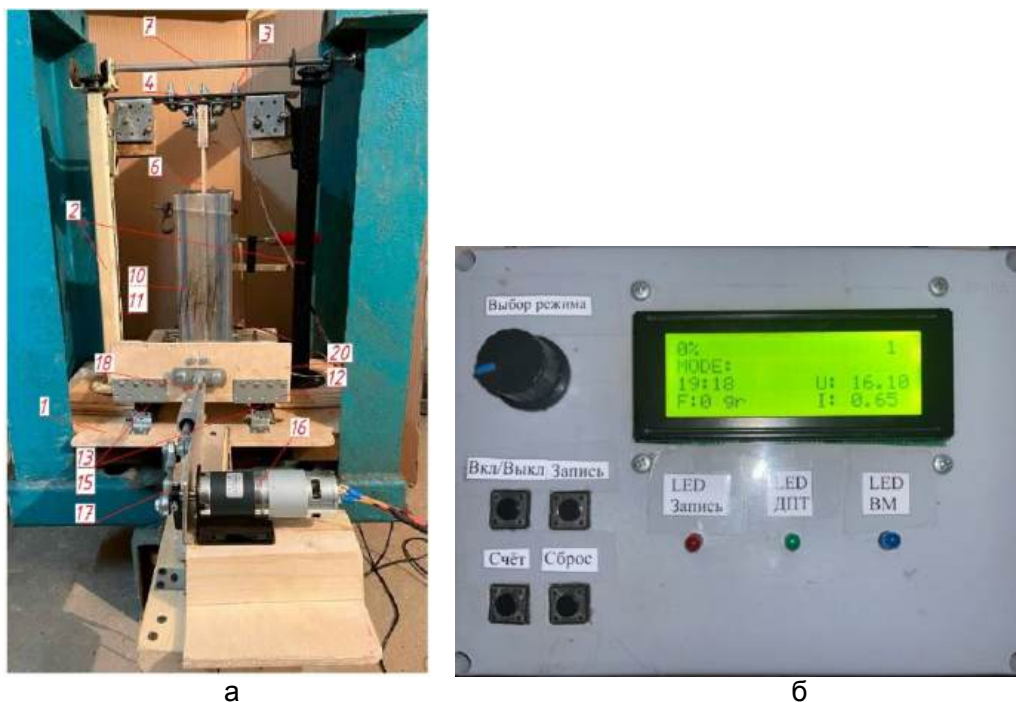


Рисунок 2 – Лабораторный стенд с блоком управления и сбора данных
а – лабораторный стенд, общий вид, б – блок управления и сбора данных
Figure 2 – Laboratory setup assembled with control and data acquisition unit
a – laboratory setup, general view; b – control and data acquisition unit

Принцип работы лабораторного стенда выглядит следующим образом. Посредством передачи крутящего момента приводным валом 7 через муфту 8 от электродвигателя 9 к механизму вертикального перемещения 2, балка 3 с установленными тензометрическим датчиком 4 и толкателем 6, с размещенным в нем сырьевым материалом, движется вниз на ножи 10 в ножевой камере 11, размещаемой на платформе 12 с V-образными роликами 13 и вибромотором 14. Ножи 10 приводятся в движение посредством перемещения платформы 12 по стальным уголкам 15, создаваемого электродвигателем 16, передающим вращение с вала на зафиксированный кривошипно-шатунный механизм 17, соединенный, в свою очередь, с резьбовым шкивом 18, вкрученным в опорную пластину 19, закрепленную на борту платформы 20. Тензометрический датчик 4 под действием усилия деформируется, изменяя сопротивление, преобразующееся в электрический сигнал и передаваемый на АЦП и далее на микроконтроллер блока управления и сбора данных 5.

Тензометрический датчик передает данные о необходимом минимальном прикладываемом усилии [12] для осуществления процесса резания при установленных параметрах. Изменение показателя усилия регистрируется посредством записи значений каждый интервал времени равный 200 миллисекундам в текстовый файл съемного носителя информации блока управления и сбора данных.

В момент записи значений, полученных от тензометрического датчика, одновременно происходит сохранение во второй текстовый файл значений силы тока I регистрируемых датчиком тока ACS712, включенного в разрыв между “+” контактным выводом электродвигателя постоянного тока и “+” клеммным зажимом силового ключа. В этот же файл сохраняется значение напряжения U регистрируемого при помощи датчика напряжения, через каждый интервал времени (t) равный 200 миллисекундам.

Для повышения точности и частоты фиксирования показаний, применяемых датчиком, в программном коде предусмотрен следующий алгоритм фиксации показаний с большой частотой опроса. Частота опроса датчиков составляет 10 миллисекунд, после чего зафиксированные значения формируют строки в буфере памяти микроконтроллера, по истечению интервала времени 200 миллисекунд запись сохраненных значений происходит на microSD карту, после чего память очищается и цикл повторяется.

Результаты исследований и их обсуждение.

Для проведения экспериментальных исследований была разработана схема исследований, включающая ряд опытов с установленными исходными регулируемыми параметрами, для определения зависимостей влияния на показатели энергоемкости процесса рассматриваемого комбинированного резания.

Влияние регулируемого параметра на энергоемкость определялось согласно следующей методике проведения эксперимента: регулируемый параметр 1 меняется в рассматриваемом диапазоне в условиях, когда другие два регулируемых параметра 2 и 3 остаются неизменными.

Согласно схеме, были установлены следующие диапазоны регулирования параметров, а также значения не меняющихся параметров в ходе эксперимента:

- для определения влияния изменения угла скольжения α на показатели энергоемкости процесса резания принят диапазон регулирования $\alpha = 0 \dots 30^\circ$, с шагом регулирования $\alpha = 10^\circ$, при постоянных значениях средней скорости $V_{cp} = 0,1$ м/с движения и амплитуде перемещения $A = 20$ мм ножей;
- для определения влияния изменения средней скорости движения ножей V_{cp} на показатели энергоемкости процесса резания принят диапазон регулирования $V_{cp} = 0,08 \dots 0,14$ м/с, с шагом регулирования $V = 0,02$ м/с, при постоянных значениях угла скольжения $\alpha = 0^\circ$ и амплитуде перемещения ножей $A = 20$ мм;
- для определения влияния изменения амплитуды перемещения ножей A на показатели энергоемкости процесса резания принят диапазон регулирования $A = 10 \dots 40$ мм, с шагом регулирования $A = 10$ мм, при постоянных значениях угла скольжения $\alpha = 0^\circ$ и средней скорости движения ножей $V_{cp} = 0,1$ м/с.

Используя данные, полученные в результате записи показаний датчиков на носитель памяти microSD, были построены графики зависимостей (рис. 3-8), отражающие влияние изменения регулируемых параметров на выходные показатели – работа механизма вертикального перемещения (толкателя) $A_{толкателя}$ и работа механизма линейного возвратно-поступательного перемещения (распиливания) $A_{распил}$, измеряемые в Джоулях. Расчет работы перемещения осуществлялся по методу Симпсона (1), ввиду невозможности применения метода трапеций по причине большого количества зафиксированных значений усилия через малые интервалы времени $\Delta t = 10$ мс.

$$A = \frac{\Delta x}{3} \cdot (F_{первое} + 4 \cdot \sum_{k=3,5,7\dots} F_i + 2 \cdot \sum_{k=2,4,6\dots} F_i + F_{последнее}) \quad (1)$$

где Δx – шаг по перемещению, м; $F_{первое}$ – значение усилия, соответствующее первому измерению, Н; $F_{последнее}$ – значение усилия, соответствующее последнему измерению, Н; F_i – значение усилия, Н; k – порядковый номер измерения.

Диаграммы зависимостей прикладываемого усилия F на резание от регулируемых параметров представлены на рисунках 3-8.

Влияние угла скольжения α на показатели эффективности процесса резания.

Согласно рисунку 3 при увеличении угла скольжения α уменьшается усилие $F_{толкателя}$ в течение всего процесса резания и перемещения толкателя до окончания измельчения. Таким образом при установленном угле $\alpha = 0$ град. (рубящее резание) максимальное усилие достигает $F_{толкат.макс.0} = 124,75$ Н, а при установке угла скольжения $\alpha = 30$ град. было отмечено максимальное усилие $F_{толкат.макс.30} = 103,466$ Н (уменьшение на 17,06 % относительно $F_{толкат.макс.0}$). Также заметно влияние увеличения угла скольжения α на затраченную работу, согласно проведенных расчетов по формуле (1) были получены следующие значения: при $\alpha = 0$ град. (рубящее резание) работа $A_{толкателя0} = 3,699$ Дж, а в случае угла скольжения $\alpha = 30$ град. работа $A_{толкателя30} = 3,457$ Дж (уменьшение на 6,5 % относительно $A_{толкателя0}$). Также отмечается увеличение длительности процесса резания на 11,43 %.

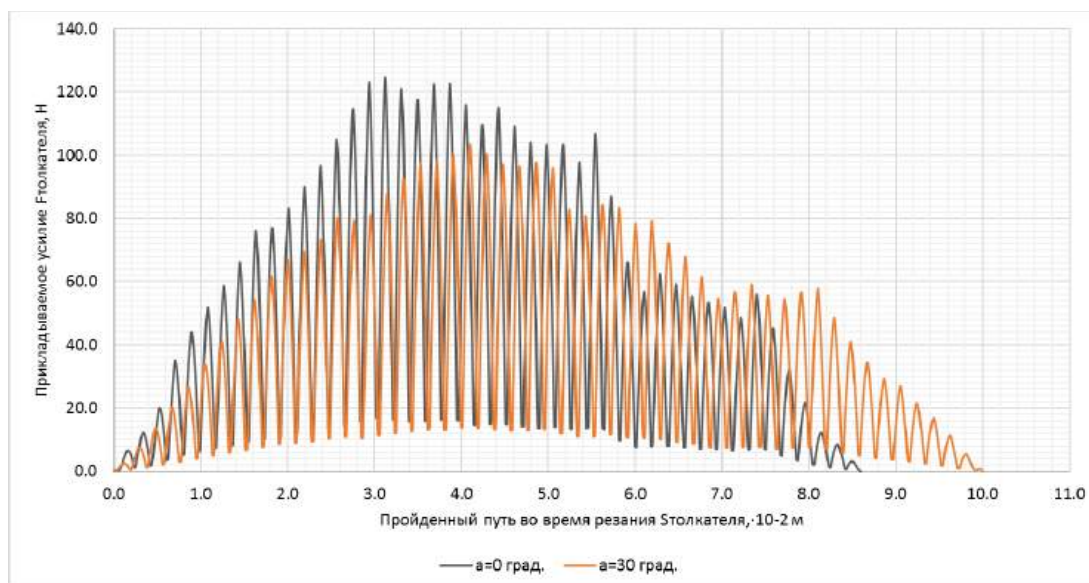


Рисунок 3 – Совмещенная диаграмма прикладываемого усилия $F_{\text{толкателя}}$ на резание вертикальным механизмом перемещения относительно пройденного толкателем пути $S_{\text{толкателя}}$ в процессе резания клубня картофеля при зигзагообразном расположении ножей, установленных под углом скольжения $\alpha=0$ град., $\alpha=30$ град.

Figure 3 – Combined diagram of the applied force F of the pusher for cutting by the vertical movement mechanism relative to the path S of the pusher during the process of cutting a potato tuber with a zigzag arrangement of the knives installed at a sliding angle of $\alpha=0$ degrees, $\alpha=30$ degrees

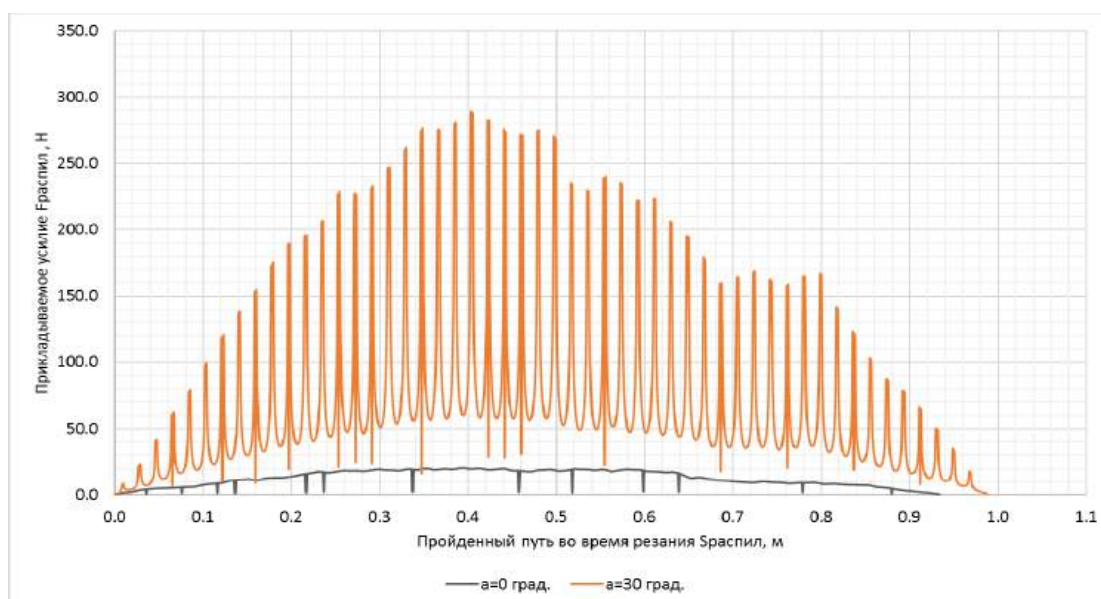


Рисунок 4 – Совмещенная диаграмма прикладываемого усилия $F_{\text{распил}}$ на резание механизмом возвратно-поступательного перемещения относительно пройденного ножами пути $S_{\text{распил}}$ в процессе резания клубня картофеля при зигзагообразном расположении ножей, установленных под углом скольжения $\alpha=0$ град., $\alpha=30$ град

Figure 4 – Combined diagram of the applied force F_{cut} for cutting by the reciprocating movement mechanism relative to the path S_{cut} traveled by the knives during the process of cutting a potato tuber with a zigzag arrangement of the knives installed at a sliding angle of $\alpha=0$ degrees, $\alpha=30$ degrees

В случае механизма возвратно-поступательного линейного перемещения ножей (рисунок 4) наблюдается значительное увеличение препятствующего усилия $F_{\text{распил}}$ на осуществление процесса распиливания материала. Максимальное усилие при установленном угле скольжения $\alpha = 30$ град. достигает $F_{\text{распил.макс.30}} = 288,743$ Н, а в точке минимума

под максимумом усилие находится в диапазоне $F_{\text{распил.30}} \approx 48 \dots 50$ Н, при $\alpha = 0$ град. не наблюдается резких изменений усилия, оно плавно увеличивается до максимального значения $F_{\text{распил.макс.0}} = 20,428$ Н, а затем плавно убывает.

Анализируя диаграмму на рисунке 4 предполагается, что значительное увеличение усилия $F_{\text{распил}}$ в момент, когда ножи приближаются к крайним точкам своего перемещения и $V_{\text{момент}} \rightarrow 0$ м/с, но, при этом, в момент остановки ножа при $V_{\text{момент}} = 0$ м/с, препятствующее усилие отсутствует и отмечается резкое падение $F_{\text{распил}}$ до значения близкого к 0 Н, такие падения отмечаются нерегулярно ввиду вероятного выпадения этих значений из интервала записи регистрируемых значений. Точки минимума $F_{\text{распил}}$ на диаграмме характерны для моментов, когда скорость движения ножей стремится к максимальному значению $V_{\text{момент}} \rightarrow \text{max}$. При этом значения в точках минимума увеличиваются вместе с увеличением угла α .

Можно сделать вывод о существенном влиянии увеличения угла скольжения α на энергоёмкость и эффективность процесса резания, на нагрузку отдельных механизмов рассматриваемого комбинированного резания. При дальнейшем поиске оптимального значения угла скольжения α рекомендуется к рассмотрению небольшой угол скольжения α находящийся в диапазоне $\alpha = 0 \dots 10$ град.

Влияние средней скорости перемещения ножей $V_{\text{ср}}$ на показатели эффективности процесса резания.

Увеличение средней скорости перемещения ножей $V_{\text{ср}}$ при анализе рисунка 5 уменьшает значения усилия в точках минимума $F_{\text{толкателя.минимум}}$ на протяжении всего процесса резания, при этом точки максимума $F_{\text{толкателя.максимум}}$ незначительно изменяются. Таким образом максимальное значение усилия $F_{\text{толкателя.макс.0.08}} = F_{\text{толкателя.макс.0.14}}$ достигает $122 \dots 124$ Н при $V_{\text{ср}} = 0,08$ м/с и $V_{\text{ср}} = 0,14$ м/с, а в точке минимума значение усилия $F_{\text{толкателя.минимум}}$ под максимальным значением при $V_{\text{ср}} = 0,08 \dots 0,14$ м/с находится в диапазоне $5 \dots 20$ Н. Также отмечается увеличение точек максимума и минимума усилия в процессе резания, с увеличением средней скорости перемещения ножей на $\Delta V = 0,02$ м/с за счет увеличения числа полуоборотов кривошипа, закрепленного на валу редуктора, численно равных углу поворота $\varphi = 180^\circ$. При этом работа, затраченная в процессе перемещения толкателя уменьшается с увеличением $V_{\text{ср}}$: $A_{\text{толкателя}0,08} = 3,755$ Дж, $A_{\text{толкателя}0,14} = 3,53$ Дж (уменьшение на 6 % относительно $A_{\text{толкателя}0,08}$).

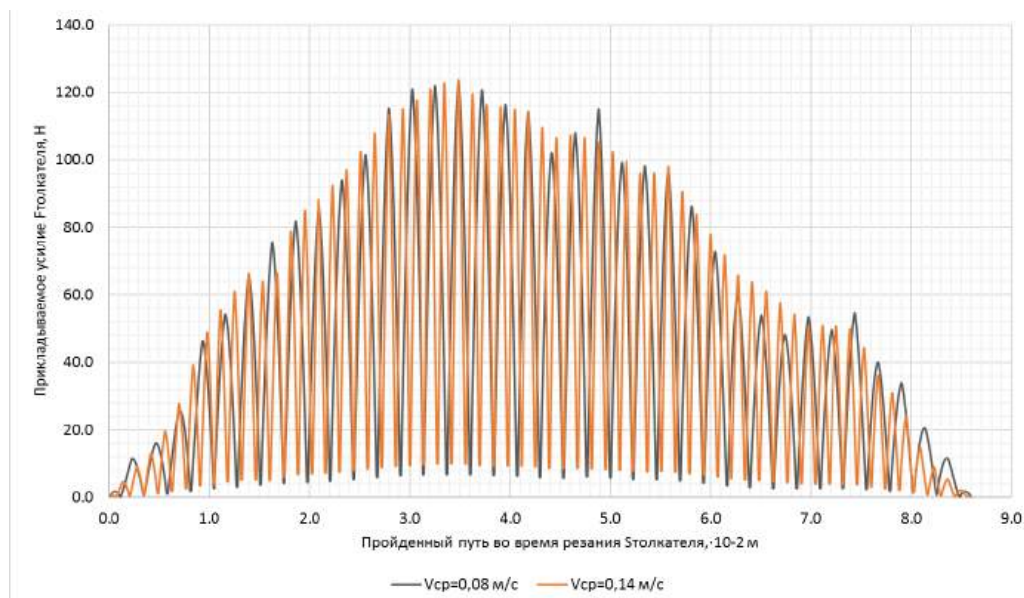


Рисунок 5 – Совмещенная диаграмма прикладываемого усилия $F_{\text{толкателя}}$ на резание вертикальным механизмом перемещения относительно пройденного толкателем пути $S_{\text{толкателя}}$ в процессе резания клубня картофеля при зигзагообразном расположении ножей со средней скоростью перемещения ножей $V_{\text{ср}}=0,08$ м/с, $V_{\text{ср}}=0,14$ м/с

Figure 5 – Combined diagram of the applied force F of the pusher for cutting by the vertical movement mechanism relative to the path S of the pusher during the cutting of a potato tuber with a zigzag arrangement of the knives with an average speed of movement of the knives $V_{\text{ср}}=0.08$ m/s, $V_{\text{ср}}=0.14$ m/s

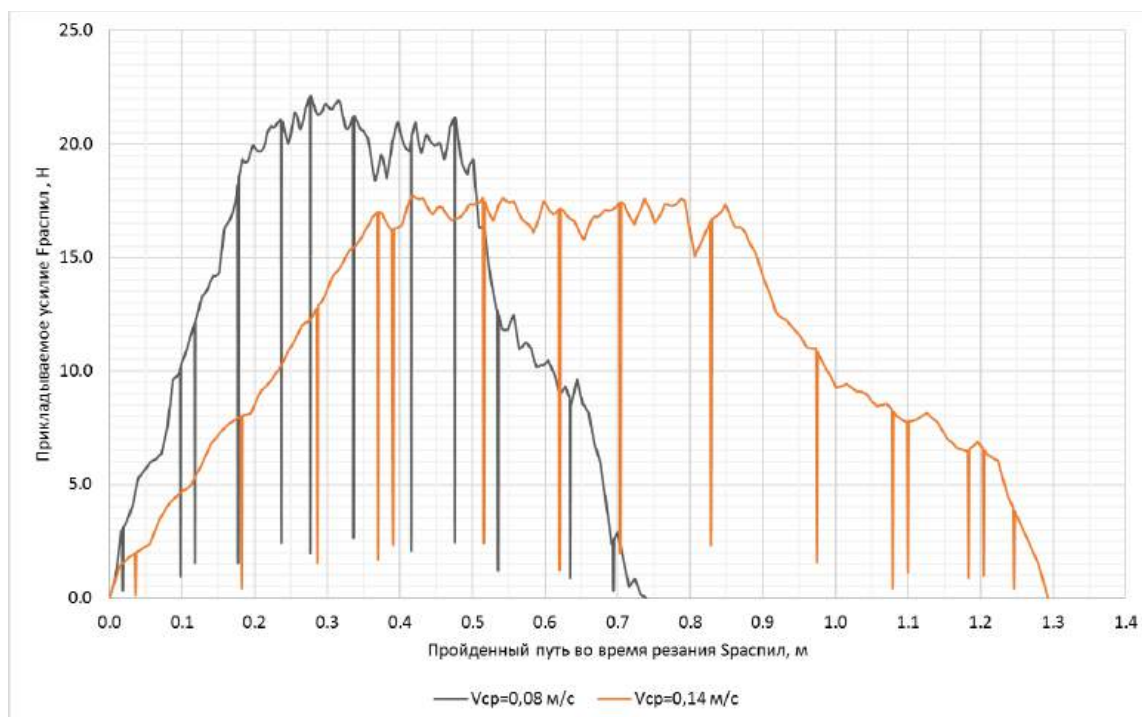


Рисунок 6 – Совмещенная диаграмма прикладываемого усилия $F_{\text{распил}}$ на резание механизмом возвратно-поступательного перемещения относительно пройденного ножами пути $S_{\text{распил}}$ в процессе резания клубня картофеля при зигзагообразном расположении ножей со средней скоростью перемещения ножей $V_{\text{ср}} = 0,08$ м/с, $V_{\text{ср}} = 0,14$ м/с

Figure 6 – Combined diagram of the applied force F_{cut} for cutting by the reciprocating movement mechanism relative to the path S_{cut} traveled by the knives during the process of cutting a potato tuber with a zigzag arrangement of the knives with an average speed of movement of the knives $V_{\text{ср}} = 0,08$ m/s, $V_{\text{ср}} = 0,14$ m/s

Согласно рисунку 6 отмечено уменьшение усилия $F_{\text{распил}}$ в течение процесса резания. При $V_{\text{ср}} = 0,08$ м/с усилие достигает максимального значения $F_{\text{распил.макс.0,08}} = 22,113$ Н, а при $V_{\text{ср}} = 0,14$ м/с $F_{\text{распил.макс.0,14}} = 17,773$ Н (уменьшение усилия на 19,62 % относительно $F_{\text{распил.макс.0,08}}$). В течение резания, частота перемещения ножей увеличивается совместно с увеличением средней скорости перемещения ножей $V_{\text{ср}}$ при постоянном времени резания $t = 9,25$ с = const, что увеличивает затраченную работу механизма распиливания при $V_{\text{ср}} = 0,08$ м/с $A_{\text{распил.0,08}} = 10,188$ Дж, а при $V_{\text{ср}} = 0,14$ м/с $A_{\text{распил.0,14}} = 14,884$ Дж (увеличение на 31,55 % относительно $A_{\text{распил.0,08}}$).

На рисунке 6 заметны падения усилия $F_{\text{распил}}$, стремящиеся к 0 Н, вероятно ввиду того, что положение кривошипа, закрепленного на валу редуктора, достигает своих крайних положений, численно равных углу поворота кривошипа $\varphi = 0^\circ = 180^\circ$, когда нож замедляется и моментальная скорость движения ножа становится равной $V_{\text{момент}} = 0$ м/с.

Изменение средней скорости движения ножей $V_{\text{ср}}$ в рассматриваемом диапазоне скоростей слабо влияет на показатели энергоемкости процесса резания, и в дальнейшем поиске оптимума следует рассматривать диапазон $V_{\text{ср}} = 0,1 \dots 0,14$ м/с.

Влияние амплитуды перемещения ножей A на показатели эффективности процесса резания.

Анализируя диаграмму на рисунке 7 усилие толкателя $F_{\text{толкателя}}$ в точках минимума уменьшается в течение всего процесса резания на 1,5 ... 5 Н с увеличением значения амплитуды перемещения ножей A , в точках максимума значения заметно не изменяются. За счет этого происходит уменьшение затраченной работы вертикальным механизмом перемещения толкателя, за счет уменьшения усилия в точках минимума $F_{\text{толкателя.мин.}}$. Затраченная работа $A_{\text{толкателя10}} = 3,86$ Дж при амплитуде перемещения ножей $A = 10$ мм, а при $A = 40$ мм $A_{\text{толкателя40}} = 3,282$ Дж (уменьшение на 17,6 % относительно $A_{\text{толкателя10}}$).

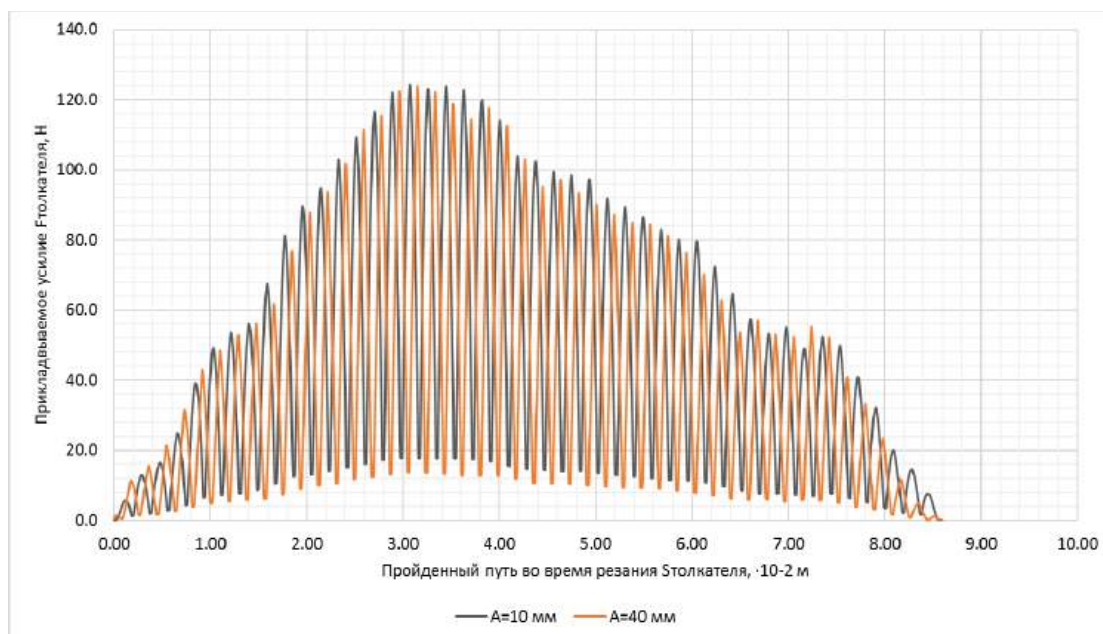


Рисунок 7 – Совмещенная диаграмма прикладываемого усилия $F_{\text{толкателя}}$ на резание вертикальным механизмом перемещения относительно пройденного толкателем пути $S_{\text{толкателя}}$ в процессе резания клубня картофеля при зигзагообразном расположении ножей с амплитудой перемещения ножей $A=10$ мм, $A=40$ мм

Figure 7 – Combined diagram of the applied force F of the pusher for cutting by the vertical movement mechanism relative to the path S of the pusher traveled during the process of cutting a potato tuber with a zigzag arrangement of the knives with an amplitude of knife movement $A=10$ mm, $A=40$ mm

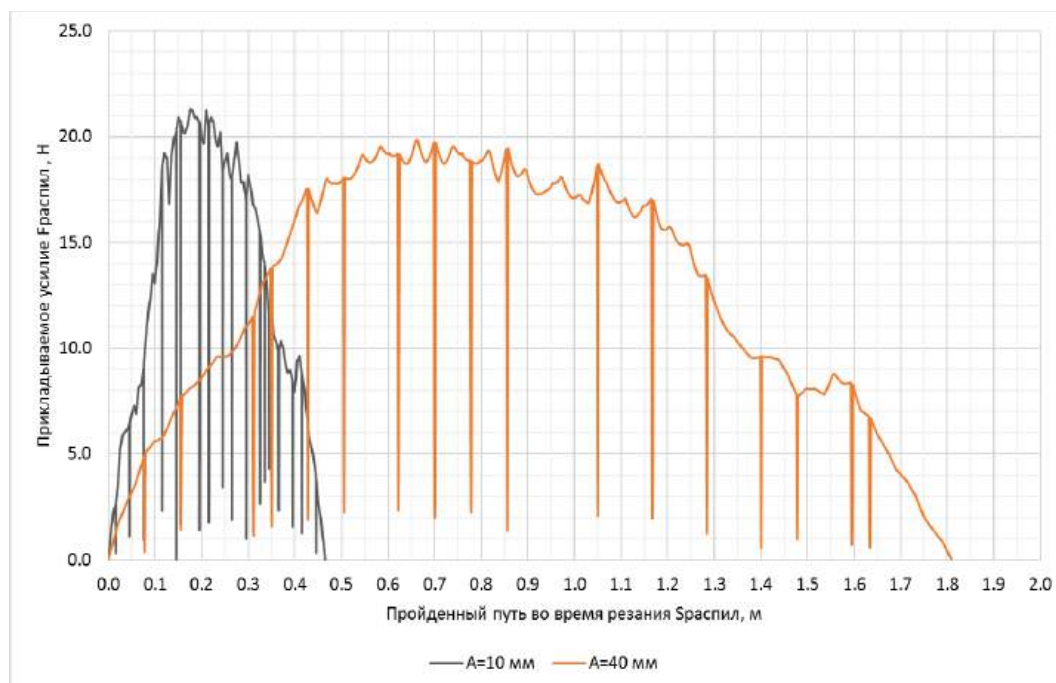


Рисунок 8 – Совмещенная диаграмма прикладываемого усилия $F_{\text{распил}}$ на резание механизмом возвратно-поступательного перемещения относительно пройденного ножами пути $S_{\text{распил}}$ в процессе резания клубня картофеля при зигзагообразном расположении ножей с амплитудой перемещения ножей $A=10$ мм, $A=40$ мм

Figure 8 – Combined diagram of the applied force F_{cut} for cutting by the reciprocating movement mechanism relative to the path S_{cut} traveled by the knives during the process of cutting a potato tuber with a zigzag arrangement of the knives with an amplitude of knife movement $A=10$ mm, $A=40$ mm

По рисунку 8 с увеличением амплитуды в рассматриваемом диапазоне усилие $F_{\text{распил}}$ уменьшается со значения $F_{\text{распил.макс.10}} = 21,332 \text{ Н}$ при амплитуде $A = 10 \text{ мм}$ до $F_{\text{распил.макс.40}} = 19,831 \text{ Н}$ при амплитуде $A = 40 \text{ мм}$. При этом работа затраченная на распиливание $A_{\text{распил10}} = 6,01 \text{ Дж}$ при $A = 10 \text{ мм}$ увеличивается до $A_{\text{распил40}} = 22,538 \text{ Дж}$ при $A = 40 \text{ мм}$ за счет увеличения проходимого ножами расстояния в течение всего процесса резания.

Увеличение амплитуды перемещения ножей A в процессе резания сырья может значительно повлиять на энергоёмкость процесса резания, поэтому наиболее целесообразным рассматривать применение амплитуды A в диапазоне $A = 10 \dots 30 \text{ мм}$.

Выводы. В результате анализа и обработки экспериментальных данных, а также проведенных расчетов энергоёмкости процесса методом комбинированного резания – затраченной работы механизмом вертикального перемещения (проталкивание) и возвратно-поступательного перемещения ножей (распиливание), было определено влияние регулируемых параметров на характер технологического процесса.

Увеличение угла скольжения α ножей положительно влияет на снижение усилия $F_{\text{толкателя}}$ при проталкивании сырья на движущиеся ножи: при $\alpha = 0$ град. максимальное усилие $F_{\text{толкат.макс.0}} = 124,75 \text{ Н}$, а при $\alpha = 30$ град. $F_{\text{толкат.макс.30}} = 103,466 \text{ Н}$. Снижается затраченная работа механизма вертикального перемещения $A_{\text{толкателя}}$ с $A_{\text{толкателя0}} = 3,699 \text{ Дж}$ до $A_{\text{толкателя30}} = 3,457 \text{ Дж}$ (уменьшение на 6,5 %).

При этом отмечается значительное увеличение усилия необходимого для распиливания материала $F_{\text{распил}}$: $F_{\text{распил.макс.0}} = 20,428 \text{ Н}$ при $\alpha = 0$ град., а при $\alpha = 30$ град. $F_{\text{распил.макс.30}} = 288,743 \text{ Н}$. Соответственно затраченная работа на распиливание $A_{\text{распил}}$ тоже увеличивается значительно с $A_{\text{распил.0}} = 11,854 \text{ Дж}$ до $A_{\text{распил.30}} = 66,887 \text{ Дж}$ (увеличение на 564,26 %).

Средняя скорость перемещения ножей $V_{\text{ср}}$ в рассматриваемом диапазоне незначительно влияет на усилие толкателя $F_{\text{толкателя}}$, при этом отмечается уменьшение работы затраченной механизмом вертикального перемещения $A_{\text{толкателя}}$ с $A_{\text{толкателя0,08}} = 3,755 \text{ Дж}$ до $A_{\text{толкателя0,14}} = 3,53 \text{ Дж}$ (уменьшение на 6 %), но усилие распиливания $F_{\text{распил}}$ уменьшается с $F_{\text{распил.макс.0,08}} = 22,113 \text{ Н}$ до $F_{\text{распил.макс.0,14}} = 17,773 \text{ Н}$. Работа затраченная на возвратно-поступательное перемещение ножей $A_{\text{распил}}$ идет на увеличение с $A_{\text{распил.0,08}} = 10,188 \text{ Дж}$ при $V_{\text{ср}} = 0,08 \text{ м/с}$ до $A_{\text{распил.0,14}} = 14,884 \text{ Дж}$ при $V_{\text{ср}} = 0,14 \text{ м/с}$ (увеличение на 31,55 %).

Амплитуда перемещения ножей A в рассмотренном диапазоне значений способна снизить точки минимума усилия толкателя $F_{\text{толкателя}}$ (на 1,5...5 Н) на протяжении всего процесса резания, что положительно сказывается на затраченной работе механизма вертикального перемещения $A_{\text{толкателя}}$, отмечено уменьшение с $A_{\text{толкателя10}} = 3,86 \text{ Дж}$ до $A_{\text{толкателя40}} = 3,282 \text{ Дж}$ (уменьшение на 17,6 %). Усилие на распиливание $F_{\text{распил}}$ тоже уменьшается: при $A = 10 \text{ мм}$ значение $F_{\text{распил.макс.10}} = 21,332 \text{ Н}$, а при $A = 40 \text{ мм}$ значение $F_{\text{распил.макс.40}} = 19,831 \text{ Н}$. При этом работа $A_{\text{распил}}$ затраченная на механизм возвратно-поступательного перемещения увеличивается с $A_{\text{распил10}} = 6,01 \text{ Дж}$ до $A_{\text{распил40}} = 22,538 \text{ Дж}$ (увеличение на 375 %) ввиду увеличения длины хода ножей.

В целях оптимизации и поиска оптимальных регулируемых параметров следует проводить факторный эксперимент с различной комбинацией установок регулируемых параметров.

Conclusions. As a result of the analysis and processing of experimental data, as well as calculations of the energy intensity of the process by the method of combined cutting – spent work by the mechanism of vertical displacement (pushing) and reciprocating movement of knives (sawing), the influence of regulated parameters on the nature of the technological process was determined.

An increase in the sliding angle α of the knives has a positive effect on reducing the force $F_{\text{of the pusher}}$ when pushing raw materials onto moving knives: at $\alpha = 0$ degrees. maximum effort $F_{\text{(interpretation max.0)}} = 124.75 \text{ N}$, and at $\alpha = 30$ degrees. $F_{\text{(interpretation max.30)}} = 103.466 \text{ N}$. The expended work of the A_{Pusher} vertical movement mechanism is reduced from $A_{\text{Pusher0}} = 3.699 \text{ J}$ to $A_{\text{Pusher30}} = 3.457 \text{ J}$ (decrease by 6.5 %).

At the same time, there is a significant increase in the effort required for sawing the material F_{sawing} : $F_{\text{(sawing.max.0)}} = 20.428 \text{ N}$ at $\alpha = 0$ deg., and at $\alpha = 30$ deg. $F_{\text{(sawing.max.30)}} = 288.743 \text{ N}$. Accordingly, the amount of work spent on sawing A_{spil} also increases significantly with $A_{\text{(sawing.0)}} = 11.854 \text{ Joules}$ before $A_{\text{(sawing.30)}} = 66.887 \text{ Joules}$ (an increase of 564.26 %).

The average speed of movement of the knives V_{cr} in the range under consideration has little effect on the pusher force $F_{\text{of the Pusher}}$, while there is a decrease in the work expended by the mechanism of vertical movement of the Pusher from $A_{\text{0.08}} = 3.755 \text{ J}$ to $A_{\text{0.14}} = 3.53 \text{ J}$ (decrease by 6 %), but the sawing force $F_{\text{of the Pusher}}$ decreases with $F_{\text{(sawing.max.0.08)}} = 22.113 \text{ N}$ to $F_{\text{(cut.max.0.14)}} = 17.773 \text{ N}$. The work spent on the reciprocating movement of the knives $A_{\text{is used}}$ to increase from $A_{\text{(cut.0.08)}} = 10.188 \text{ J}$ at $V_{\text{ср}} = 0.08 \text{ m/s}$ to $A_{\text{(cut.0.14)}} = 14.884 \text{ J}$ at $V_{\text{ср}} = 0.14 \text{ m/s}$ (an increase of 31.55 %).

The amplitude of the movement of the knives A in the considered range of values is able to reduce the minimum force points of the pusher F (by 1.5...5 N) throughout the entire cutting process, which positively affects the expended operation of the mechanism of vertical movement of the Pusher, a decrease from the Pusher₁₀ = 3.86 J to the Pusher₄₀ = 3.282 J (a decrease of 17.6 %) was noted. The sawing force F_с is also reduced: at A=10 mm, the value of F_{с(saw.max.10)} = 21.332 N, and at A=40 mm the value of F_{с(cut.max.40)} = 19.831 N. At the same time, the work of A_с spent on the reciprocating movement mechanism increases from A_{сраспил10} = 6.01 J to A_{сраспил40} = 22.538 J (an increase of 375 %) due to an increase in the stroke length of the knives.

In order to optimize and find the optimal adjustable parameters, a factorial experiment should be conducted with a different combination of adjustable parameter settings.

Библиографический список

1. Дусенов М. К. Теоретическое обоснование рабочих органов двухопорного измельчителя корнеклубнеплодов. Наука и образование. 2022. № S2-2 (67). С. 119-127.
2. Лебедь Н. И. и др. Имитационное моделирование системы управления измельчителя корнеклубнеплодов. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 2 (80). С. 368-379.
3. Доржиев А. С. и др. К вопросу анализа технических средств подготовки корнеклубнеплодов к скармливанию. Агротехника и энергообеспечение. 2024. № 3 (44). С. 86-94.
4. Кулиев З. В., Якубов К. Г., Алиев Э. М. Оптимизация параметров универсальной установки для измельчения кормов. Инженерные технологии и системы. 2025. Т. 35. № 1. С. 121-138.
5. Лебедь Н. И. Моделирование системы управления автоматизированного электропривода измельчителя плодовоовощной продукции в виртуальной симуляционной среде. Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2022. Т. 28. № 2. С. 205-213.
6. Мамиев Л. А. Агропромышленный комплекс Юга России: состояние, проблемы и перспективы развития. Управленческий учет. 2024. № 6. С. 43-53.
7. Лебедь Н. И. и др. Моделирование системы управления измельчителя плодовоовощной продукции. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 2 (74). С. 323-331.
8. Шуханов С. Н. и др. Оптимальный угол наклона противореза режущего аппарата измельчителя корнеклубнеплодов при резании плодов цилиндрической формы. Вестник НГИЭИ. 2022. № 6 (133). С. 19-31.
9. Раджабов Ф. М. и др. Эффективность использования комбикормов из местных кормов в рационах лактирующих коров. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 2 (82). С. 236-241.
10. Michael Beraún-Espíritu M. et al. Automation in the Food Industry: Design of a Machine for the Cutting of Native Potatoes. E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 465. P. 02050.
11. Shukhanov S. N. et al. Determination of the optimal incline angle of the incision of the cutting machine of the tuber grinder of potatoes. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Volgograd, Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. V. 548. P. 52026.
12. Liu Yu. et al. Effects of electrolyzed water-ultrasound treatment on pesticide removal in fresh-cut potatoes with different cutting methods. Journal of Food Process Engineering. 2023. V. 46. No. 11.

References

1. Dusenov M. K. Theoretical justification of the working bodies of a two-support root and tuber crop chopper. Science and education. 2022. No. S2-2 (67). Pp. 119-127.
2. Lebed N. I. et al. Simulation modeling of the control system of a root and tuber crop chopper. News of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No. 2 (80). Pp. 368-379.
3. Dorzhiev A. S. et al. On the Analysis of Technical Means for Preparing Root Crops for Feeding. Agricultural Engineering and Energy Supply. 2024. No. 3 (44). Pp. 86-94.
4. Kuliev Z. V., Yakubov K. G., Aliyev E. M. Optimization of the Parameters of a Universal Installation for Grinding Feed. Engineering Technologies and Systems. 2025. Vol. 35. No. 1. Pp. 121-138.
5. Lebed N. I. Modeling the control system of an automated electric drive of a fruit and vegetable shredder in a virtual simulation environment. Bulletin of Tambov State Technical University. 2022. Vol. 28. No. 2. Pp. 205-213.
6. Mamiek L. A. Agro-industrial complex of the South of Russia: state, problems and development prospects. Management accounting. 2024. No. 6. Pp. 43-53.
7. Lebed N. I. et al. Modeling the control system of a fruit and vegetable shredder. News of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2024. No. 2 (74). Pp. 323-331.
8. Shukhanov S. N. et al. Optimum angle of inclination of the counter-cut of the cutting apparatus of a root crop chopper when cutting cylindrical fruits. Bulletin of NGIEI. 2022. No. 6 (133). Pp. 19-31.
9. Radzhabov F. M. et al. Efficiency of using compound feed from local forages in the diets of lactating cows. Bulletin of the Orenburg State Agrarian University. 2020. No. 2 (82). Pp. 236-241.
10. Michael Beraún-Espíritu M. et al. Automation in the Food Industry: Design of a Machine for the Cutting of Native Potatoes. E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 465. P. 02050.
11. Shukhanov S. N. et al. Determination of the optimal incline angle of the incision of the cutting machine of the tuber grinder of potatoes. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Volgograd, Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. V. 548. P. 52026.
12. Liu Yu. et al. Effects of electrolyzed water-ultrasound treatment on pesticide removal in fresh-cut potatoes with different cutting methods. Journal of Food Process Engineering. 2023. V. 46. No. 11.

Информация об авторах

Лебедь Никита Игоревич, доктор технических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, 26), e-mail: nik8872@yandex.ru

Цепляев Виталий Алексеевич, ректор, кандидат технических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, 26), e-mail: volgau@volgau.com

Цепляев Алексей Николаевич, ведущий научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. им. Тимирязева, 9), e-mail: can_volgau@mail.ru

Фомин Сергей Денисович, профессор кафедры, докт-ор технических наук, заведующий Центром наукометрического анализа и междуна-родных систем индексирования, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

Мулинцев Александр Игоревич, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, 26).

Authors' Information

Lebed Nikita Igorevich, Professor of the Department, Doctor of Engineering Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: nik8872@yandex.ru

Tseplyaev Vitaly Alekseevich, Rector, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: volgau@volgau.com

Tseplyaev Aleksey Nikolaevich, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture - branch of the Federal State Budgetary Institution "FSC VNIIGiM named after A. N. Kostyakov" (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev St., 9), e-mail: can_volgau@mail.ru

Fomin Sergey Denisovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department, of Mechanics, Head of the Center for Scientometric Analysis and International Indexing Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

Mulintsev Aleksandr Igorevich, Postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26).

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-52

THE ANALYSIS OF THE VEHICLES LOAD CAPACITY USING ON HAULING HAY ROLLS¹Limarenko N. V., ²Davydova S. A., ³Almazov I. V.¹Don State Technical University

Rostov-on-Don, Russian Federation

²Federal Scientific Agro engineering Center VIM

Moscow, Russian Federation

³Volgograd State Agrarian University

Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: davidova-sa@mail.ru

Received 11.01.2026

Submitted 02.02.2026

Summary

The growing volumes of agricultural products transportation in agricultural enterprises of the Russian Federation require the use of high-performance vehicles. The performance of vehicles is largely determined by the degree of use of their carrying capacity. The choice of a high-performance vehicle from those available in the enterprise on a given type of transportation is relevant at the moment.

Abstract

Introduction. The growing volumes of transportation of agricultural products – grain, vegetables, fruits, roughage, as well as fertilizers and chemicals used in sowing operations, have significantly increased cargo turnover, increased the labor intensity of operations, led to an increase in fuel consumption, lubricants and other technical fluids, required an increase in funding and increase in the productivity of vehicles. In this regard, in agricultural production, both in crop production and in animal husbandry, the role of technological transport is increasing. In this regard, the problem of choosing the most efficient vehicle from a number of those available at an agricultural enterprise for transporting various goods, including hay bales, is very relevant. **Object.** The objects of research are vehicles used for transporting hay bales: the MTZ-82.1 tractor unit + 2PTS-4.5, GAZ-3302 Gazelle trucks, GAZ-SAZ-3507/35071, and KAMAZ 45144 trucks with trailers.

The purpose of this work is to determine the most effective means of transporting hay bales based on the analysis of experimental studies. **Materials and methods.** When preparing this work, the authors used methods of systematic analysis and generalization of their own experimental research results and those obtained by other authors on this issue. **Results and discussion.** As a result of the conducted research, it was determined that when transporting hay bales from the PRP-120 over a distance of up to 3 km, the utilization rate of the nominal load capacity of both the 2PTS-4.5 tractor trailer and the GAZ-3302 Gazelle and GAZ-SAZ-3507/35071 vehicles increased by 51 %, 4 %, and 77 %, respectively, compared to the transportation of hay bales from the PR-F-110 baler; when transporting GAZ-3302 hay rolls over a distance of 3 to 20 km from PR-F-110 and PRP-120, the load capacity utilization factor changed slightly (from $\gamma = 0.870$ to $\gamma = 0.860$), and for the GAZ-SAZ-3507/35071 vehicle, it increased from $\gamma = 0.300$ to $\gamma = 0.560$, i.e. that is, by 87 %; when transporting hay rolls from the PR-F-110 to a distance of more than 20 km by a GAZ-3302 car, the use of its load capacity corresponded to $\gamma = 0.840$, which is 6 % higher than when transporting rolls from

the PRP-120, and for a KAMAZ 45144 car with a trailer, on the contrary, this indicator increased when changing the transported rolls by 59 % (from $\gamma = 0.270$ to $\gamma = 0.430$); as the transportation distance increases, the use of load capacity decreases for all the vehicles studied. **Conclusions.** The results of experimental studies showed that of all the vehicles under consideration, the GAZ-3302 Gazelle uses its nominal load-bearing capacity most effectively when transporting hay bales formed by the PRP-120 baler over a distance of up to 3 km ($\gamma = 0.944$) and the KAMAZ 45144 with a trailer uses it least when transporting hay bales formed by the PR-F-110 baler over a distance of more than 20 km ($\gamma = 0.270$).

Keywords: load capacity of vehicles, hay rolls, hay roll transportation, cargo transportation, vehicle performance.

Citation. Limarenko N. V., Davydova S. A., Almazov I. V. The analysis of the vehicles load capacity using on hauling hay rolls. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 495-503 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-52.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.374

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ПЕРЕВОЗКЕ РУЛОНОВ СЕНА

¹Лимаренко Н. В., доктор технических наук, профессор

²Давыдова С. А., кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

³Алмазов И. В., кандидат технических наук, доцент

¹ФГБОУ ВО Донской государственный технический университет
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

²ФГБНУ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ
г. Москва, Российская Федерация

³ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Растущие объёмы перевозки сельскохозяйственной продукции – зерна, овощей, фруктов, грубого корма, а также удобрений и химикатов, используемых при посевных работах, существенно увеличили грузооборот, повысили трудоемкость операций, привели к росту потребления топлива, смазочных материалов и иных технических жидкостей, потребовали увеличения финансирования и повышения производительности транспортных средств. В связи с этим, в сельскохозяйственном производстве, как в растениеводстве, так и в животноводстве возрастает роль технологического транспорта. В связи с этим весьма актуальной является проблема выбора максимально эффективного транспортного средства из ряда имеющихся в сельскохозяйственном предприятии для транспортировки различных грузов, в том числе рулонов сена, при внутриусадебных, внутрихозяйственных и внехозяйственных перевозках. **Объектами** исследования являются транспортные средства, используемые на перевозках рулонов сена: тракторный агрегат МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5, грузовые автомобили ГАЗ-3302 «Газель», ГАЗ-САЗ-3507/35071 и КАМАЗ-45144 с прицепом. **Цель работы** – на основе анализа экспериментальных исследований транспортировки рулонов сена некоторыми транспортными средствами определить наиболее эффективные из них по степени использования номинальной грузоподъемности при различных видах перевозок. **Материалы и методы.** При подготовке настоящей работы применялись методы систематического анализа и обобщения результатов собственных экспериментальных исследований и полученных другими авторами, посвященных настоящей проблеме. **Результаты и обсуждение.** В результате выполненных исследований определено, что при транспортировке рулонов сена от ПРП-120 на расстояние до 3 км коэффициент использования номинальной грузоподъемности как тракторного прицепа 2ПТС-4,5, так и автомобилей ГАЗ-3302 «Газель» и ГАЗ-САЗ-3507/35071 увеличивается соответственно на 51 %, 4 % и 77 % по сравнению с транспортировкой рулонов сена от пресс-подборщика ПР-Ф-110; при транспортировке рулонов сена ГАЗ-3302 на расстояние от 3 до 20 км от ПР-Ф-110 и ПРП-120 коэффициент использования грузоподъемности изменился незначительно (от $\gamma = 0,870$ до $\gamma = 0,860$), а у автомобиля ГАЗ-САЗ-3507/35071 – увеличился от $\gamma = 0,300$ до $\gamma = 0,560$, то есть на 87 %; при транспортировке рулонов сена от ПР-Ф-110 на расстояние более 20 км автомобилем ГАЗ-3302 использование его грузоподъемности соответствовало $\gamma = 0,840$, что выше на 6 %, чем при транспортировке рулонов от ПРП-120, а для автомобиля КАМАЗ-45144 с прицепом этот показатель, наоборот, повысился при смене транспортируемых рулонов на 59 % (от $\gamma = 0,270$ до $\gamma = 0,430$); с увеличением расстояния перевозки использование грузоподъемности снижается для всех исследуемых автомобилей. **Выводы.** Результаты экспериментальных исследований показали, что из всех рассматриваемых транспортных средств наиболее эффективно используется номинальная грузо-

подъемность автомобиля у ГАЗ-3302 «Газель» на перевозке рулонов сена, сформированных пресс-подборщиком ПРП-120 на расстояние до 3 км ($\gamma = 0,944$) и минимально – у автомобиля КАМАЗ-45144 с прицепом на перевозке рулонов сена, сформированных пресс-подборщиком ПР-Ф-110 на расстояние более 20 км ($\gamma = 0,270$).

Ключевые слова: грузоподъемность транспортных средств, рулоны сена, перевозка рулонов сена, грузоперевозки, производительность транспортных средств.

Цитирование. Лимаренко Н. В., Давыдова С. А., Алмазов И. В. Анализ использования грузоподъемности транспортных средств на перевозке рулонов сена. Известия НВ АУК. 2026. 1(85) 495-503. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-52.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В последние годы в Российской Федерации неуклонно повышается урожайность большинства сельскохозяйственных культур. Это связано с рядом мероприятий, проводимых агрономической, инженерной и другими службами сельскохозяйственных предприятий, в частности, использованием высокоурожайных сортов и гибридов, районированных в данном регионе, применением современных технологий производства сельскохозяйственных культур, использованием современных технических средств, обеспечивающих выполнение механизированных работ с выполнением агротехнических требований, внесением качественных минеральных удобрений и своевременным применением средств защиты от болезней и вредителей.

Растущие объемы перевозки сельскохозяйственной продукции – зерна, овощей, фруктов, грубого корма, а также удобрений и химикатов, используемых при посевных работах, существенно увеличили грузооборот, повысили трудоемкость операций, привели к росту потребления топлива, смазочных материалов и иных технических жидкостей, потребовали увеличения финансирования и повышения производительности транспортных средств. В связи с этим, в сельскохозяйственном производстве, как в растениеводстве, так и в животноводстве возрастает роль технологического транспорта. Транспортные операции занимают значительную долю трудозатрат в процессе выращивания сельскохозяйственных культур: доля перевозок варьируется от 18 до 50 %. Так, при выращивании яровых зерновых затраты на транспорт составляют 18,2 %, картофеля – 35,4 %, кукурузы на зеленый корм и силос – от 39,5 до 57,8 % [1].

Важнейшей задачей в растениеводстве является своевременное обеспечение животных высококачественным кормом, что во многом определяется уровнем кормообеспеченности. При этом, основным сырьем для заготовки корма на осенне-зимний период являются многолетние травы [2], большая доля которых при уборке прессуется в тюки или рулоны различными машинами.

В настоящее время аграрный сектор активно задействует широкий спектр грузовых автомобилей разных производителей, среди которых наиболее распространены модели КАМАЗ-45144, ГАЗ-САЗ-3507/35071, Газель-ГАЗ-3302, а также специализированные прицепы типа Тонар-95235. Значительная роль принадлежит транспортным агрегатам, энергетическими средствами которых являются трактора различных модификаций. На долю таких транспортных агрегатов во внутрихозяйственных перевозках приходится до 60 % перевозимых грузов [3, 4]. При этом разработаны тракторные транспортные средства, обеспечивающие загрузку прицепа без использования дополнительных технических средств (патенты РФ на изобретения № 2728961 и № 2833277). Следует отметить, что разработанное в Волгоградском ГАУ тракторное транспортное средство (патент РФ на изобретение № 2833277) позволяет загружать рулоны сена в два уровня. Данное техническое средство оборудовано автоматической системой управления подъема дополнительной платформы в верхний уровень, повышая при этом эффективность использования грузоподъемности транспортного средства и увеличивая объем обрабатываемого груза за смену, что доказывает о необходимости внедрения высокоинтеллектуальных систем в машины сельскохозяйственного назначения [5, 6, 7].

В связи с ежегодным ростом грузоперевозок в сельскохозяйственном производстве и наличием различных транспортных средств перед руководителями сельскохозяйственных предприятий встает вопрос – каким транспортом наиболее эффективно перевозить выращенную продукцию.

При этом важно учитывать, что эффективность эксплуатации транспортных агрегатов во многом определяется их производительностью, которая определяется, в частности, и степенью использования их грузоподъемности [8, 9, 10]. При этом, знание степени использования номинальной грузоподъемности транспортных средств важно при проектировании новых моделей с оптимизацией конструктивных параметров [11] при различных видах перевозок.

Виды перевозок грузов в сельскохозяйственном производстве определяются рядом важнейших факторов, среди которых: специализация и размеры сельскохозяйственных предприятий, объемы производимой продукции, расстояние от мест хранения и реализации продукции. Транспортировка сельскохозяйственной продукции классифицируется по дальности перемещения следующим образом: внутриусадебные перевозки (охватывающие расстояния до 3 км); внутрихозяйственные (от 3 до 20 км); и внешние (внехозяйственные) перевозки (достигающие 100 км) [12, 13, 14].

В соответствии с данной классификацией перевозок выполнены экспериментальные исследования по оценке использования номинальной грузоподъемности исследуемого транспорта на перевозке рулонов сена.

Цель настоящей работы – на основе анализа экспериментальных исследований транспортировки рулонов сена некоторыми транспортными средствами определить наиболее эффективные из них по степени использования номинальной грузоподъемности на различных видах перевозок.

Материалы и методы. Объектами исследования являются транспортные средства, используемые на перевозках рулонов сена: тракторный агрегат МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5 (рисунок 1а), К-701+3ПТС-12, грузовые автомобили ГАЗ-3302 «Газель» (рисунок 1б), КАМАЗ-55102 (рисунок 1в) и ГАЗ-САЗ 3307 (рисунок 1г). При этом автомобиль ГАЗ-3302 «Газель» был оборудован специальной грузовой платформой (патент РФ на изобретение № 2554036), использование которой позволяло существенно снизить трудоемкость выгрузки рулонов сена с автомобиля.



Рисунок 1 – Тракторная тележка 2ПТС-4,5 (а), грузовая платформа на базе автомобиля «Газель» (б), автомобили КАМАЗ-55102 (в) и ГАЗ-САЗ 3307 (г) на транспортировке рулонов сена

Figure 1 – Tractor trolley 2PTS-4.5 (a), cargo platform based on the car «Gazelle» (b), cars KAMAZ-55102 (c) and GAZ-SAZ 3307 (d) on transportation of rolls of hay

В таблице 1 представлены некоторые технические показатели исследуемых транспортных средств.

Таблица 1 – Некоторые технические показатели транспортных средств
Table 1 – Some technical indicators of vehicles

Марка транспортного средства / Vehicle brand	Грузоподъемность, кг / Load capacity, kg	Внутренние размеры грузовой платформы, м / Internal dimensions of the cargo platform, m	
		длина / length	ширина / width
МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5	4500	4,080	2,220
ГАЗ-3302 «Газель»	1500	3,056	1,978
ГАЗ-САЗ-3507/35071	3930	3,516	2,280
КАМАЗ-45144 + прицеп	14000	5960	2320
	7000	5335	2320

Для загрузки рулонов сена на транспорт использовался механизированный комплекс: трактор МТЗ-82.1 в паре с погрузчиком ПКУ-0,8, оснащенный вилами. Сами рулоны, предназначенные для перевозки, были изготовлены из суданской травы с помощью пресс-подборщиков моделей ПР-Ф-110 и ППР-120 "Pelikan".

Одним из важнейших критериев эффективности транспортных средств при перевозке сельскохозяйственных грузов, таких как рулоны сена, является их производительность [13]. Этот показатель определяется произведением номинальной грузоподъемности (G_H), коэффициента использования грузоподъемности (γ) и времени цикла ($t_{ц}$):

$$W_{тр} = \frac{G_H \gamma}{t_{ц}}. \quad (1)$$

Зная среднюю массу рулонов сена M_P , которую перевозит транспортное средство за один рейс, а также его номинальную грузоподъемность G_H , можно определить коэффициент использования грузоподъемности:

$$\gamma = \frac{M_P}{G_H}. \quad (2)$$

Для оценки эффективности использования грузоподъемности при перевозке рулонов сена на различные расстояния были исследованы следующие транспортные средства:

- внутриусадебные перевозки: трактор МТЗ-82.1 с прицепом 2ПТС-4,5 и автомобиль ГАЗ-3302 «Газель»;
- внутрихозяйственные перевозки: автомобили ГАЗ-3302 «Газель» и самосвал ГАЗ-САЗ-3507/35071 (с трехсторонней разгрузкой);
- внехозяйственные перевозки: автомобили ГАЗ-3302 «Газель» и самосвал КАМАЗ-45144 с прицепом.

Испытания проводились в ряде хозяйств Волгоградской области.

Результаты и обсуждение. Результаты исследований позволили получить следующие данные:

- количество рулонов сена от двух марок пресс-подборщиков ПР-Ф-110 и ППР-120, перевозимых рассматриваемыми транспортными средствами в среднем за год;
- число рейсов, выполненных исследуемыми транспортными средствами на расстояния до 3 км по дорогам, в основном, грунтовым, от 3 до 20 км по дорогам как грунтовым, так и с твердым покрытием и более 20 км по дорогам, в основном, с твердым покрытием;
- суммарная масса рулонов, перевезенных каждым транспортным средством, и за один рейс.

За один уборочный сезон перевезено с поля к месту складирования, а затем к месту реализации 7016 рулонов сена, сформированных пресс-подборщиком ПР-Ф-110, и 9576 рулонов – ППР-120. Полученные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 – К расчету коэффициентов использования грузоподъемности транспортных средств
Table 2 – Calculation of vehicle load capacity utilization factors

Table 2 – Calculation of vehicle load capacity utilization factors								
Показатель / Indicator	Марка пресс-подборщика / Baler brand	Транспортное средство / Transport vehicle						
		МТЗ-82.1 с 2ПТС-4,5	ГАЗ-3302 «Газель» / GAZ-3302 Gazelle		ГАЗ-3307 / GAZ-3307		КАМАЗ-45144 с прицепом / KAMAZ-45144 with trailer	
		Номер транспортного средства / Vehicle number						
		1	2		3		4	
		Расстояние перевозки, км / Transportation distance, km						
		до 3	до 3	3-20	> 20	до 3	3-20	2> 20
Количество перевезенных рулонов, шт. / Number of rolled-up rolls transported, pcs.	ПР-Ф-110	980	1754	908	814	1100	164	1296
	ПРП-120	381	2237	498	258	1834	540	3828
Количество выполненных рейсов / Number of completed flights	ПР-Ф-110	69	189	102	95	109	20	34
	ПРП-120	30	392	96	54	173	60	104
Масса рулонов в транспортном средстве за один рейс, кг / Weight of rolls in a vehicle per trip, kg	ПР-Ф-110	2087	1364	1308	1264	1485	1205	5601
	ПРП-120	3150	1416	1290	1190	2629	2232	9102
Коэффициент использования грузоподъемности / Load capacity utilization factor	ПР-Ф-110	0,464	0,909	0,87	0,84	0,371	0,30	0,27
	ПРП-120	0,700	0,944	0,86	0,79	0,657	0,56	0,43

Значения коэффициентов использования грузоподъемности рассматриваемых транспортных средств показаны на рисунках 2-4.

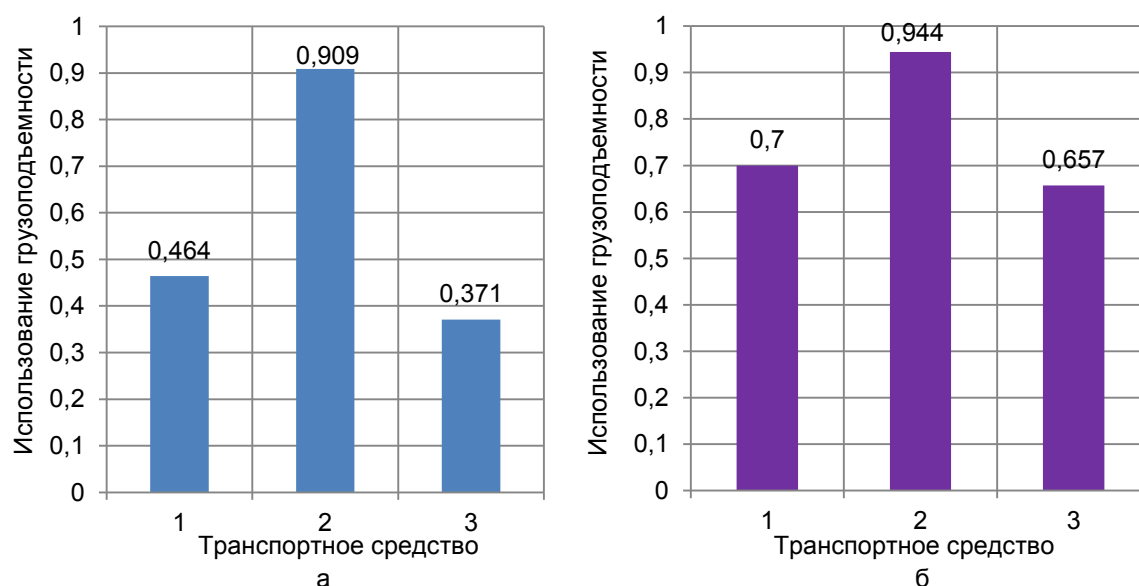


Рисунок 2 – Использование грузоподъемности транспортного средства на перевозке рулонов сена от ПР-Ф-110 (а) и ПРП-120 (б) на расстояние до 3 км
Figure 2 – Using the vehicle's load capacity to transport hay bales from PR-F-110 (a) and PRP-120 (b) over a distance of up to 3 km

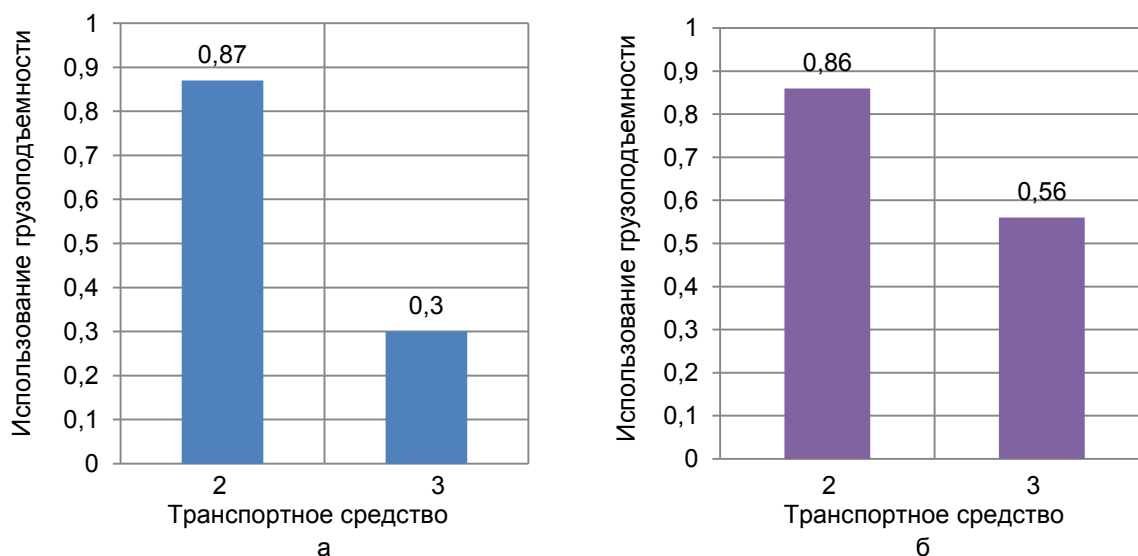


Рисунок 3 – Использование грузоподъемности транспортного средства на перевозке рулонов сена от ПР-Ф-110 (а) и ПРП-120 (б) на расстояние от 3 км до 20 км

Figure 3 – Using the vehicle's load capacity to transport hay bales from PR-F-110 (a) and PRP-120 (b) over a distance of 3 km to 20 km

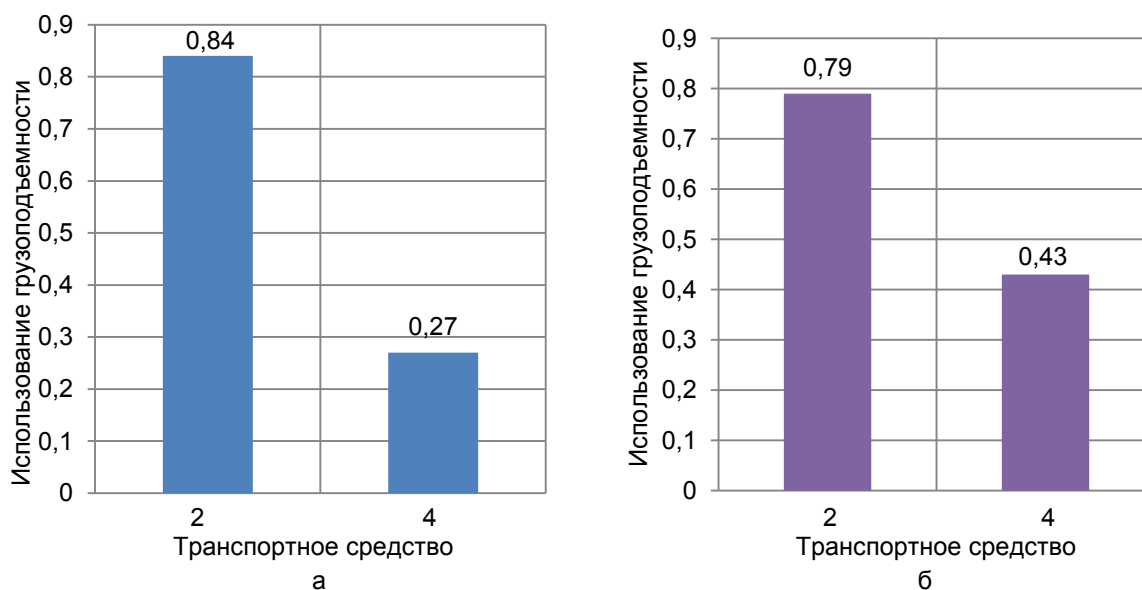


Рисунок 4 – Использование грузоподъемности транспортного средства на перевозке рулонов сена от ПР-Ф-110 (а) и ПРП-120 (б) на расстояние более 20 км

Figure 4 – Using the vehicle load capacity for transporting hay bales from PR-F-110 (a) and PRP-120 (b) over a distance of more than 20 km

Анализ результатов проведенных исследований показал:

- при транспортировке рулонов сена от ПРП-120 на расстояние до 3 км коэффициент использования номинальной грузоподъемности как тракторного прицепа 2ПТС-4,5, так и автомобилей ГАЗ-3302 «Газель» и ГАЗ-САЗ-3507/35071 увеличивается соответственно на 51 %, 4 % и 77 % по сравнению с транспортировкой рулонов сена от пресс-подборщика ПР-Ф-110;

- при транспортировке рулонов сена ГАЗ-3302 на расстояние от 3 до 20 км от ПР-Ф-110 и ПРП-120 коэффициент использования грузоподъемности изменился незначительно (от $\gamma = 0,870$ до $\gamma = 0,860$), а у автомобиля ГАЗ-САЗ-3507/35071 – увеличился от $\gamma = 0,300$ до $\gamma = 0,560$, т.е. на 87 %;

- при транспортировке рулонов сена от ПР-Ф-110 на расстояние более 20 км автомобилем ГАЗ-3302 использование его грузоподъемности соответствовало $\gamma = 0,840$, что выше на 6 %, чем при транспортировке рулонов от ПРП-120, а для автомобиля КАМАЗ-45144 с прицепом этот показатель, наоборот, повысился при смене транспортируемых рулонов на 59 % (от $\gamma = 0,270$ до $\gamma = 0,430$);

- с увеличением расстояния перевозки использование грузоподъемности снижается для всех исследуемых автомобилей.

Заключение. Результаты экспериментальных исследований показали, что из всех рассматриваемых транспортных средств наиболее эффективно используется номинальная грузоподъемность автомобиля у ГАЗ-3302 «Газель» на перевозке рулонов сена, сформированных пресс-подборщиком ПРП-120 на расстояние до 3 км ($\gamma = 0,944$) и минимально – у автомобиля КАМАЗ-45144 с прицепом на перевозке рулонов сена, сформированных пресс-подборщиком ПР-Ф-110 на расстояние более 20 км ($\gamma = 0,270$).

Conclusion. The results of experimental studies showed that of all the vehicles under consideration, the GAZ-3302 Gazelle uses its nominal load-bearing capacity most effectively when transporting hay bales formed by the PRP-120 baler over a distance of up to 3 km ($\gamma = 0.944$) and the KAMAZ 45144 with a trailer uses it least when transporting hay bales formed by the PR-F-110 baler over a distance of more than 20 km ($\gamma = 0.270$).

Библиографический список

- Капов С. Н., Орлянский А. В., Лиханос В. А., Орлянская И. А. Анализ структуры технологического процесса заготовки сенажа в рулонах, упакованных в пленку. Вестник аграрной науки Дона. 2019. № 1 (45). С. 11-17.
- Голдина И. И., Побединский В. В. Технологический транспорт в сельском хозяйстве. Агропродовольственная политика России. 2022. № 1. С. 6-11.
- Бышов Н. В., Ряднов А. И. Методика комплексной оценки эффективности использования транспорта в сельскохозяйственном производстве. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2019. № 1 (41). С. 104-108.
- Зернов В. Н., Петухов С. Н., Пономарев А. Г. Кто решает, какие тракторы нужны сельхозпроизводителю? Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. Т. 22. № 1. С. 136-148.
- Федоренко В. Ф. О технической модернизации сельского хозяйства. Техника и оборудование для села. 2021. № 5 (287). С. 2-6.
- Чирков Е. П., Бабьяк М. А. Инновационные направления технологического и технического обновления кормопроизводства в России. Техника и технологии в животноводстве. 2022. № 3 (47). С. 36-41.
- Чирков Е. П. Инновационные направления интенсификации кормопроизводства. Актуальные вопросы экономики и агробизнеса. Брянск, 2021. С. 180-185.
- Горяев Н. К., Хабибуллозода Х. Х. Влияние коэффициента использования грузоподъемности автотранспортных средств на затраты по ремонту. Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». 2022. Т. 16. № 1. С. 172-177.
- Солонщиков П. Н., Косолапов Е. В. Оценка работы мобильного измельчителя-раздатчика грубых кормов различной плотности. Пермский аграрный вестник. 2020. № 2 (30). С. 15-20.
- Хорешок А. А., Стенина Н. А., Кудреватых А. В., Ащеулов А. С. Методика определения рационального коэффициента использования грузоподъемности карьерных автосамосвалов. Горное оборудование и электромеханика. 2020. № 1 (147). С. 3-9.
- Майстренко Н. А., Уваров В. П., Левшин А. Г. и др. Унификация расчетов производительности транспортных и транспортно-технологических средств. Инженерные технологии и системы. 2020. Т. 30. № 4. С. 637-658.
- Ряднов А. И., Руденко В. Н., Павловский Д. С., Федоров А. В. Результаты оценки производительности технических средств на уборке сельскохозяйственных культур. Известия НВ АУК. 2024. № 2 (74). С. 346-358.
- Ряднов А. И., Фандеев С. Ю. Выбор высокоэффективной технологии уборки рулонов сена из суданской травы. Известия НВ АУК. 2022. № 1 (65). С. 370-380.
- Ряднов А. И., Алмазов И. В., Федоров А. В. Результаты исследований расхода топлива транспортными средствами на перевозках рулонов сена. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2020. Т. 13. № 4 (67). С. 115-121.

References

- Kapov S. N., Orljansky A. V., Likhanos V. A., Orljanskaya I. A. Analysis of the structure of the technological process of haylage harvesting in rolls packed in film. Bulletin of Agrarian Science of the Don. 2019. No 1 (45). Pp. 11-17.
- Goldina I. I., Pobedinsky V. V. Technological transport in agriculture. Agri-food policy of Russia. 2022. No 1. Pp. 6-11.
- Byshov N. V., Ryadnov A. I. Methodology for a comprehensive assessment of the efficiency of transport use in agricultural production. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2019. No 1 (41). Pp. 104-108.
- Zernov V. N., Petukhov S. N., Ponomarev A. G. Who decides what tractors an agricultural producer needs? Agrarian Science of the Euro-North-East. 2021. Vol. 22. No 1. Pp. 136-148.
- Fedorenko V. F. On the technical modernization of agriculture. Machinery and equipment for the village. 2021. No 5 (287). Pp. 2-6.
- Chirkov E. P., Babyak M. A. Innovative directions of technological and technical innovation of feed production in Russia. Machinery and technologies in animal husbandry. 2022. No 3 (47). Pp. 36-41.
- Chirkov E. P. Innovative directions of intensification of feed production. Current issues of economics and agro-business. Bryansk, 2021. Pp. 180-185.

8. Goryaev N. K., Khabibullozoda Kh. Kh. Influence of the coefficient of use of the carrying capacity of motor vehicles on the costs of repair. Bulletin of the South Ural State University. Series "Economics and Management". 2022. Vol. 16, No. 1. Pp. 172-177.

9. Solonshchikov P. N., Kosolapov E. V. Assessment of the operation of a mobile chopper-distributor of roughage of different density. Perm Agrarian Bulletin. 2020. No 2 (30). Pp. 15-20.

10. Khoreshok A. A., Stenina N. A., Kudrevatykh A. V., Ashcheulov A. S. Methodology for Determining the Rational Coefficient of Use of the Carrying Capacity of Open-Pit Dump Trucks. Mining Equipment and Electromechanics. 2020. No 1 (147). Pp. 3-9.

11. Maistrenko N. A., Uvarov V. P., Levshin A. G., et al. Unification of Calculating the Performance of Vehicles and Transport-Technological Facilities. Engineering Technologies and Systems. 2020. No 30 (4). Pp. 637-658.

12. Ryadnov A. I., Rudenko V. N., Pavlovsky D. S., Fedorov A. V. Results of assessing the performance of technical equipment for harvesting agricultural crops. Proceedings of the NV AUC. 2024. No 2 (74). Pp. 346-358.

13. Ryadnov A. I., Fandeev S. Yu. Selection of a highly efficient technology for harvesting hay bales from Sudan grass. Proceedings of the NV AUC. 2022. No 1 (65). Pp. 370-380.

14. Ryadnov A. I., Almazov I. V., Fedorov A. V. Results of studies of fuel consumption by vehicles for transporting hay bales. Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2020. Vol. 13. No 4 (67). Pp. 115-121.

Информация об авторах

Лимаренко Николай Владимирович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (Российская Федерация, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), e-mail: limarenkodstu@yandex.ru

Давыдова Светлана Александровна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1219-3335>, e-mail: davidova-sa@mail.ru

Алмазов Иван Владимирович, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26.), e-mail: ivahka707@mail.ru

Authors' Information

Limarenko Nikolay Vladimirovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department, Don State Technical University (Russian Federation, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1), e-mail: limarenkodstu@yandex.ru

Davydova Svetlana Aleksandrovna, Candidate of Engineering Sciences, Federal Scientific Agro engineering Center VIM (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5), e-mail: davidova-sa@mail.ru

Almazov Ivan Vladimirovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: ivahka707@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-53

THE EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF THE COMPLEX MELIORANT USING IN THE CLOSED-LOOP PRODUCTION CYCLE TECHNOLOGIES FOR THE LAND RESTORATION AND IRRIGATION

Mescheryakov M. P., Fomin S. D., Mescheryakova E. G., Dosova A.G.

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: maks-sln@yandex.ru

Received 10.12.2025

Submitted 22.01.2026

Summary

The article presents the results of an assessment of the application of a complex ameliorant based on natural zeolite as the main element of agro-reclamation measures aimed at detoxification of soils contaminated with heavy metals and petroleum hydrocarbons, increasing the moisture capacity of the soil profile in the process of soil restoration as the main means of agricultural production for its cyclic use. The article concludes that the technologies discussed in the article are necessary for sustainable agricultural production.

Abstract

Introduction. The current conditions of production development, including agricultural products, are facing various socio-economic and environmental transformations related to the ever-increasing consumption of various products and the increasing pressure on the resource base. In this regard, there is an objective need for rapid adaptation to the current conditions and the transition from traditional technological methods to innovative methods aimed at re-creating natural cycles, where all resources are fully processed to minimize waste and maximize reuse. This method can ensure sustainable development of the agricultural sector by implementing the concept of a closed-loop economy. Land reclamation and remediation are aimed at improving the quality of land plots and restoring their properties after various impacts, as land is the main means of production in the agricultural sector, and its irrational and extensive use can lead to the withdrawal of large areas from the country's economic circulation, resulting in increased production and environmental costs, reduced volumes and quality of agricultural products, and a sharp decline in food security.

Purpose. To substantiate the effectiveness of using a complex ameliorant based on natural zeolite as the main element of agro-reclamation measures aimed at detoxifying soils contaminated with heavy metals and petroleum hydrocarbons, increasing the moisture capacity of the soil profile in the process of soil restoration as the main means of agricultural production for its cyclic use. **Object.** Light brown medium-loamy soils of

the Gorodishchensky and Sredneakhtubinsky districts of the Volgograd Region. **Subject of research.** Land reclamation and reclamation technologies for light chestnut medium-loamy soils of the Volgograd region, with the aim of their restoration and improvement of their original native properties. **Materials and methods.** The work used a combined methodological approach, including field and laboratory studies conducted in accordance with modern guidelines and requirements. A statistical analysis of data on land reclamation in the Volgograd region for 2023-2024 was performed. During the writing of the article, the materials of research by other authors related to the application of sorption methods for cleaning soils from heavy metals, petroleum hydrocarbons, and restoring land productivity, as well as the application of methods related to the use of rational irrigation methods, were studied and analyzed. The reliability of the results is ensured by multiple verification of the obtained experimental data. **Results and conclusions.** As a result of laboratory and field studies, the high efficiency of using a complex reclamation agent based on natural zeolite has been confirmed: the purification of oil-contaminated soils to the maximum permissible concentration (0.98 g/kg) is achieved in 6 months; the content of nickel (Ni) is reduced to the maximum permissible concentration (0.0037 g/kg) in 7 months, and the content of copper (Cu) is reduced to 0.0029 g/kg in 6 months, which corresponds to a decrease of 62 % and 63 %, respectively; the use of a reclamation agent improves the water regime: the reserves of productive moisture at a depth of 60 cm increased by 76 % over the analyzed period compared to the control variant. The use of a complex ameliorant based on natural zeolite is a promising direction in the system of agro-reclamation measures aimed at detoxifying soils from heavy metals and petroleum hydrocarbons, as well as increasing their moisture capacity and restoring the productivity of land for sustainable agricultural use within the framework of a circular production model in order to ensure the country's food security.

Keywords: natural sorbing ameliorant, zeolite, humic acid, disturbed soils, pollutants, closed production cycle.

Citation. Mescheryakov M. P., Fomin S. D., Mescheryakova E. G., Dosova A. G. The experimental substantiation of the complex meliorant using in the closed-loop production cycle technologies for the land restoration and irrigation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 503-513 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-53.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.67:631.8

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО МЕЛИОРАНТА В ТЕХНОЛОГИЯХ ЗАМКНУТОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЦИКЛА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ И ОРОШЕНИИ ЗЕМЕЛЬ

Мещеряков М. П., доктор технических наук, доцент
Фомин С. Д., доктор технических наук, профессор
Мещерякова Е. Г., старший преподаватель
Досова А. Г., кандидат экономических наук, доцент

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Современные условия развития производства, в том числе и сельскохозяйственной продукции, сталкиваются с различными социально-экономическими и экологическими трансформациями, связанными с постоянно возрастающим ростом потребления различного рода продукции и увеличением нагрузки на ресурсно-сырьевую базу. В этой связи, возникает объективная потребность быстрой адаптации к сложившимся условиям и переходу от традиционных технологических методов к инновационным, направленным на воссоздание естественных природных циклов, где все ресурсы подвергаются полной переработке, с целью минимизации отходов, и максимальному повторному использованию. Данный метод способен обеспечить устойчивое развитие аграрного сектора, реализуясь, в рамках концепции экономики замкнутого цикла. Мелиорация и рекультивация земель направлены на улучшение качества земельных участков и восстановление их свойств после различных воздействий, так как земля – основное средство производства в аграрном секторе, то ее нерациональное экстенсивное использование может привести к выводу больших площадей из хозяйственного оборота страны, а, следовательно, росту производственных и экологических издержек, снижению объемов и качества производимой продукции и резкому снижению продовольственной безопасности. **Цель.** Обосновать эффективность применения комплексного мелиоранта на основе природного цеолита в качестве основного элемента агромелиоративных мероприятий, направленных на детоксикацию почв, загрязненных тяжелыми металлами и нефтяными углеводородами, повышения влагоемкости почвенного профиля в процессе восстановления почвы как основного средства сельскохозяйственного производства для ее циклического использования. **Объект.** Светло-каштановые среднесуглинистые почвы Городищенского и Среднеахтубинского районов Волго-

градской области. **Предмет исследования.** Мелиоративные и рекультивационные технологии воздействия на светло-каштановые среднесуглинистые почвы Волгоградской области с целью восстановления и улучшения их первоначальных нативных свойств. **Материалы и методы.** В работе применялся комбинированный методологический подход, включающий полевые и лабораторные исследования, проводимые в соответствии с современными методическими указаниями и требованиями. Выполнен статистический анализ данных по рекультивации земель Волгоградской области за 2023-2024 годы. В ходе написания статьи были изучены и проанализированы материалы исследований других авторов, связанные с применением сорбционных методов очистки почв от тяжелых металлов, нефтяных углеводородов и восстановлению продуктивности земель, а также применению приемов, связанных с использованием рациональных способов полива. Достоверность результатов обеспечивается многократной проверкой полученных экспериментальных данных. **Результаты и выводы.** В результате лабораторно-полевых исследований подтверждена высокая эффективность применения комплексного мелиоранта на основе природного цеолита: очистка нефтезагрязненных почв до значений ПДК (0,98 г/кг) достигается за 6 месяцев; содержание никеля (Ni) снижается до ПДК (0,0037 г/кг) за 7 месяцев, меди (Cu) – до 0,0029 г/кг за 6 месяцев, что соответствует снижению на 62 % и 63 % соответственно; применение мелиоранта способствует улучшению водного режима: запасы продуктивной влаги на глубине 60 см через анализируемый период увеличились на 76 % по сравнению с контрольным вариантом. Использование комплексного мелиоранта на основе природного цеолита является перспективным направлением в системе агромелиоративных мероприятий, направленных на детоксикацию почв от тяжелых металлов и нефтяных углеводородов, а также на повышение их влагоемкости и восстановление продуктивности земель для устойчивого сельскохозяйственного использования в рамках циркулярной производственной модели с целью обеспечения продовольственной безопасности страны.

Ключевые слова: природные сорбирующие мелиоранты, цеолит, гуминовая кислота, техногенно-нарушенные почвы, поллютанты, замкнутый производственный цикл.

Цитирование. Мещеряков М. П., Фомин С. Д., Мещерякова Е. Г., Досова А. Г. Экспериментальное обоснование применения комплексного мелиоранта в технологиях замкнутого производственного цикла при восстановлении и орошении земель. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 503-513. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-53.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Применение инновационных методов мелиорации и рекультивации нарушенных земель позволяет осуществить эффективный переход от традиционной экономики к экономике замкнутого цикла в сельском хозяйстве. Первая использует линейный цикл производства, базируясь на невозобновляемом конечном использовании ресурсов, т. е. их истощении, тогда как циркулярная базируется на замкнутом цикле производства, что стимулирует устойчивое развитие и сохранение окружающей среды (рисунок 1, 2).



Рисунок 1 – Линейная модель использования земельных ресурсов
Figure 1 – Linear model of land use

Принципы экономики замкнутого цикла, применяемые в аграрном секторе:

- замещение загрязнения и отходов регенеративными методами для защиты здоровья людей и окружающей среды, использование экологически чистых источников энергии;
- сохранение ценности продуктов и материалов, в том числе и земельных ресурсов, как основного средства производства в сельском хозяйстве на протяжении длительного времени, с возможностью повторного использования, в результате применения природных материалов в процессе рекультивации и мелиорации почв, так как они возвращаются в естественную экосреду;
- организация замкнутого цикла производства, исключение использования невозобновляемых ресурсов, учет местных специфических условий с целью максимальной защиты и восстановления агроэкосистем.

Процессы мелиорации и рекультивации играют в системе рационального землепользования ключевую роль и направлены на комплексное восстановление и регулирование использования земель [1, 2].

В результате анализа проблем землепользования Волгоградского региона в 2023 и 2024 годах были выявлены неоднозначные тенденции. Рост площади нарушенных земель наблюдался в 2023 году и составил более 23 % или 1025 га по сравнению с предыдущим периодом, основными причинами стали: рост объемов строительных работ; утечка нефтепродуктов в ходе транспортировки трубопроводным транспортом; увеличение добычи полезных ископаемых; увеличение количества свалок твердых бытовых отходов и др. Благодаря предпринятым мерам по рекультивации нарушенных земель в 2024 году в хозяйственный оборот региона удалось вернуть более 400 га, что составило 7,5 %. Осознание необходимости применения технологий замкнутого производственного цикла и усиление контроля со стороны государственных надзорных органов за экологическим состоянием земель привело к росту объемов общих рекультивационных работ, проводимых на сельскохозяйственных землях, так в 2024 году по сравнению с 2023 годом площадь восстановленной пашни увеличилась на 1155,1 га, а иных сельскохозяйственных земель на 153,8 га, следовательно, рост составил 84 % и 25 % соответственно [3,4].



Рисунок 2 – Циркулярная модель использования земельных ресурсов
Figure 2 – Circular model of land use

Циркулярная производственная модель, в рамках которой необходимо рассматривать перспективное развитие аграрного сектора, предполагает массовое использование ресурсосберегающих, экологически безопасных комплексных технологий. К ним можно отнести применение препаратов на основе природного сорбирующего мелиоранта – цеолита, который в процессах мелиорации и рекультивации почв, позволяет одновременно решить несколько задач [6, 10, 11, 14]:

- очистка почв от нефтяных углеводородов и тяжелых металлов;
- повышение влагоемкости почвы;
- сокращение числа поливов, экономия поливной воды;
- улучшение показателей воздухопроницаемости и дренажа почвы;
- создание благоприятных условий для развития полезной почвенной микрофлоры;
- повышение эффективности действия удобрений и средств защиты растений, за счет их аккумуляции в корнеобитаемом слое;
- рост урожайности и качества выращиваемой сельскохозяйственной продукции;
- экологическая безопасность применяемого минерала;
- сокращение сроков восстановления нарушенных земель;
- возможность пролонгированного, точечного, «адресного» воздействия удобрений на возделываемую культуру с учетом продолжительности, места, вида и сорта растения.

Оценка эффективности применения мелиорации и рекультивации земель должна базироваться на экосистемном подходе, который учитывает взаимосвязь и взаимовлияние экологических, социальных и экономических аспектов (таблица 1).

Необходимо отметить, что достижение запланированных показателей урожайности, особенно в южных засушливых регионах возможно лишь при наличии достаточного запаса продуктивной влаги в почве, что увеличивает ее плодородие, этот процесс также можно обеспечивать и контролировать при помощи внесения комплексных мелиорантов на основе природного цеолита, который является эффективным влагоудерживателем [15, 16].

Цель настоящей работы – экспериментально обосновать эффективность применения комплексного мелиоранта на основе природного цеолита в качестве основного элемента агромелиоративных мероприятий, направленных на детоксикацию почв, загрязненных тяжелыми металлами и нефтяными углеводородами, повышения влагоемкости почвенного профиля в процессе восстановления почвы как основного средства сельскохозяйственного производства для ее циклического использования.

Таблица 1 – Характеристика показателей эффективности рекультивации земель
Table 1 – Characteristics of land reclamation efficiency indicators

Показатели оценки / Evaluation indicators	Характеристика показателя / Characteristics of the indicator
Социальные / Social	Оздоровление населения через уменьшение количества заболеваний, улучшение условий работы и жизни и т.д. / Improving the health of the population through reducing the number of diseases, improving working and living conditions, etc.
Экологические / Environmental	Учитывает коэффициент восстановления земель, влагоемкость, площади изъятых, повреждённых и восстановленных земельных участков, толщину плодородного и потенциально плодородного слоёв и т.д. / It takes into account the coefficient of land restoration, moisture capacity, the area of seized, damaged and restored land, the thickness of fertile and potentially fertile layers, etc.
Экономические / Economic	Расходы на восстановление экологии, время восстановления, период окупаемости инвестиций, предотвращённый ущерб, результативность затрат, продуктивность земельных ресурсов, стоимость восстановительных работ и т.д. / Environmental restoration costs, recovery time, return on investment period, damage prevented, cost effectiveness, productivity of land resources, cost of restoration work, etc.

Для достижения поставленной цели были проведены лабораторные и полевые исследования.

Материалы и методы. Эксперимент по детоксикации почв, загрязненных тяжелыми металлами и нефтяными углеводородами, проводили в лаборатории ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ. Объединенные почвенные образцы отбирали на территории Волгоградской области в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84 послойно, точечные пробы массой не более 0,02 кг каждая. Для обеспечения достоверности опытов соблюдалась трехкратная повторяемость, измерения осуществляли каждые 10 дней, при этом для каждой временной точки выполняли три независимых замера, а итоговым результатом считали их среднеарифметическое значение. Определение содержания тяжелых металлов никеля и меди в почвенных пробах осуществлялось путем колориметрического анализа, а нефти гравиметрическим методом согласно ПНФ Ф 16.1.41-04. Полученные показатели сравнивали с установленными в соответствии с ГН 2.1.7.2041-06 и ГОСТ Р 57447-217 значениями предельно допустимых концентраций (таблица 2).

Таблица 2 – Предельно допустимые концентрации загрязнителей в почве
Table 2 – Maximum permissible concentrations of pollutants in soil

Наименование загрязнителя / Name of the pollutant	ПДК в почве, мг/кг / MPC in soil, mg/kg
Подвижная форма никеля (Ni) / The mobile form of nickel (Ni)	4,0
Подвижная форма меди (Cu) / The mobile form of copper (Cu)	3,0
Нефть и нефтепродукты / Oil and petroleum products	1000,0

Характеристика параметров лабораторных экспериментов представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры лабораторных экспериментов по очистке почвы от тяжелых металлов и нефти
Table 3 – Parameters of laboratory experiments on soil purification from heavy metals and oil

Наименование параметра / Name of the parameter	Очистка от тяжелых металлов / Purification from heavy metals	Очистка от нефти / Oil purification
Природный цеолит / Natural zeolite: - фракция / - faction - содержание клиноптилолита / - Clinoptilolite content - уровень содержания в препарате /- the level of content in the preparation - активация химическим реагентом / - activation by a chemical reagent	3-5 мм / mm 75-80 % 30 доз / doses 6 % уксусной кислотой / 6 % acetic acid	1-3 мм / mm 60-70 % 10 доз / doses нет / no
Гуминовый препарат / Humic preparation - агрегатное состояние / - aggregate state - содержание гуминовой кислоты / - humic acid content - уровень содержания в препарате / - the level of content in the preparation	порошок / powder 60-70 % 1 доза / dose	порошок / powder не менее 65 % 1 доза / dose
Доза внесения / Application dose	130-160 г/кг / 130-160 g/kg	150 г/кг цеолита 15 г/м ² гуминового препарата / 150 g/kg of zeolite 15 g/m ² of humic preparation
Период воздействия / Period of exposure	6-7 месяцев / 6-7 months	6-7 месяцев / 6-7 months
Объем объединенной почвенной пробы / Volume of the combined soil sample	3 кг / kg	5 кг / kg

Степень их достаточности и необходимости была проверена и подтверждена опытно-экспериментальным путем. Изменение параметров приводит к увеличению срока рекультивации, снижению эффективности очистки и ухудшению физико-химических характеристик почвы.

Распределение влаги в почвенном профиле в зависимости от фракции (0-1 мм, 1-3 мм, 3-5 мм) вносимого природного цеолита изучали в полевых условиях на участке, расположенном на севере Среднеахтубинского района Волгоградской области площадью 1 га с капельным орошением на посевах садового перца. Контрольный вариант без внесения природного цеолита. На всех вариантах опыта использовалась одинаковая конструкция увлажнительной сети и цеолит вносился нормой – 5 т/га. Поливная норма составила 200 м³/га с предполивным порогом влажности 80 % НВ. Изучали пространственное распределение оросительной воды вертикально на глубину до 60 см и горизонтально радиусом до 40 см от капельного увлажнителя через каждые 10 см. Замеры остаточного содержания влаги проводили через 5 суток после полива, для определения процентного содержания влаги в почве использовали термостатно-весовой метод (таблица 4).

Результаты и обсуждение. В ходе применения технологий очистки и мелиорации земель с использованием мелиорантов на основе природного цеолита в качестве основного элемента технологического воздействия были получены результаты, представленные в таблице 4 и 5.

Согласно данным таблицы 4 превышение в почве по тяжелым металлам было более чем в 3 раза от допустимых концентраций, однако после внесения комплексного мелиоранта, значений ПДК удалось достичь по меди через 6 месяцев, а по никелю – через 7. Степень очистки составила 63 % и 62 % соответственно. Динамика сорбции по всем загрязнителям была выше на начальном этапе, а далее замедлялась из-за постепенного снижения сорбционной емкости препарата (рисунок 3, 4). Наибольшее изначальное превышение ПДК наблюдалось по нефтяному загрязнителю – в 50 раз, но и интенсивность процесса очистки была выше, через полгода в лабораторных условиях удалось достичь концентрации близкой к 1 г/кг, что согласно ГОСТу Р 57447-2017 является допустимой.

Таблица 4 – Изменение уровня концентрации загрязнителя в почве после внесения препарата
Table 4 – Changes in the concentration of a pollutant in soil after application of a preparation

Период воздействия препарата, дн. / The period of exposure to the drug, days	Концентрация загрязнителя в почве, г/кг / Concentration of the pollutant in the soil, g/kg		
	нефть / oil	никель / nickel	медь / copper
0	50,0	0,0098	0,0079
30	35,4	0,0087	0,0061
60	23,3	0,0072	0,0053
90	13,4	0,0059	0,0044
120	5,8	0,0053	0,0040
150	2,5	0,0048	0,0033
180	0,98	0,0041	0,0029
200		0,0037	
Степень очистки, % / Degree of purification, %	98	62	63

Динамика извлечения тяжелых металлов из почвы после внесения препарата

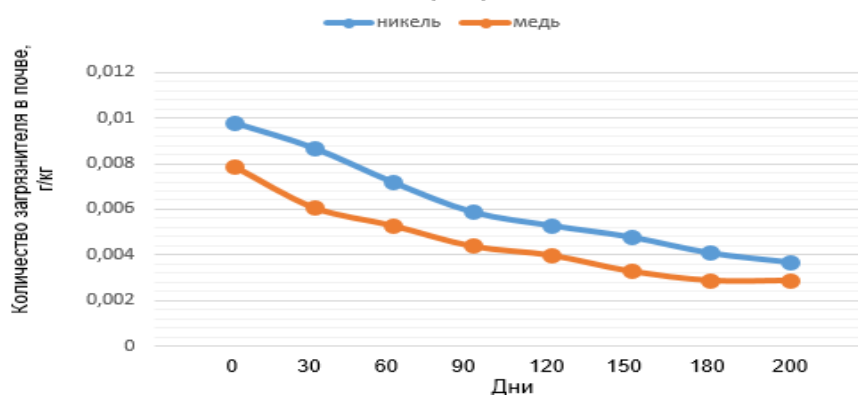


Рисунок 3 – Динамика изменения концентрации тяжелых металлов в почве
Figure 3 – Dynamics of changes in the concentration of heavy metals in the soil

Динамика извлечения нефти из почвы после внесения препарата

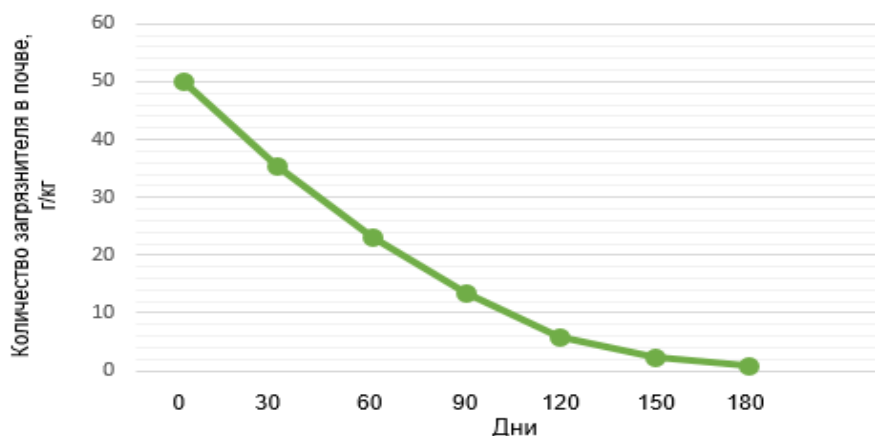


Рисунок 4 – Динамика изменения концентрации нефти в почве
Figure 4 – Dynamics of changes in oil concentration in the soil

Для анализа влияния природного сорбента на распределение и накопление влаги в почве после его внесения, использовались данные, полученные в ходе проводимого эксперимента и представленные в таблице 5. Мы видим, что через пять дней на всех вариантах опыта влага перераспределяется по капиллярам почвы из зоны повышенного давления в зоны пониженного, которое создается на более сухих участках: из верхнего слоя в более глубокие горизонты – вертикально и горизонтально – в стороны от капельного увлажнения.

ля. Распределение воды в почве происходило неравномерно и зависело от фракции природного цеолита, который выступил аккумулятором влаги в почве (рисунок 5). В верхнем почвенном слое 0-20 см наибольшее количество влаги сохранилось, несмотря на испарение, на варианте с внесением цеолита фракцией 0-1 мм и составило почти 3 м³/га, в слое 20-40 см лучшие показатели наблюдались при внесении цеолита фракцией 1-3 мм – 5,8 м³/га, а при 40-60 см при внесении цеолита фракцией 3-5 мм – 5,43 м³/га. Контрольный вариант демонстрировал самое низкое влагоудержание по сравнению с лучшими значениями в горизонте 0-20 см на 36 %, в горизонте 20-40 см на 33 %, в горизонте 40-60 см на 12 %.

Таблица 5 – Распределение поливной нормы 200 м³/га через 5 суток

Table 5 – Distribution of irrigation rate of 200 м³/ha after 5 days

Фракция цеолита, мм / Zeolite fraction, mm	Глубина взятия образца, м / Sampling depth, m	Расстояние от капельницы, м / Distance from the dropper, m							
		0,1		0,2		0,3		0,4	
		%	м ³ /га / m ³ /ha	%	м ³ /га / m ³ /ha	%	м ³ /га / m ³ /ha	%	м ³ /га / m ³ /ha
		После полива / After watering							
Контроль / Control	0-0,2	0,34	0,67	0,25	0,49	0,20	0,40	0,16	0,32
	0,2-0,4	0,97	1,94	0,53	1,06	0,25	0,49	0,21	0,41
	0,4-0,6	1,14	2,27	0,87	1,73	0,18	0,35	0,22	0,44
	Всего 0-0,6 / Total 0-0,6	2,44	4,88	1,64	3,28	0,62	1,24	0,59	1,17
0-1	0-0,2	0,50	0,99	0,37	0,74	0,36	0,72	0,25	0,49
	0,2-0,4	1,13	2,25	0,86	1,71	0,12	0,24	0,36	0,72
	0,4-0,6	1,00	2,00	0,75	1,49	0,49	0,98	0,24	0,48
	Всего 0-0,6 / Total 0-0,6	2,62	5,24	1,97	3,94	0,97	1,94	0,85	1,69
1-3	0-0,2	0,51	1,01	0,40	0,79	0,23	0,45	0,26	0,52
	0,2-0,4	1,19	2,38	0,92	1,84	0,36	0,72	0,44	0,88
	0,4-0,6	1,91	3,82	1,38	2,76	1,05	2,09	0,72	1,44
	Всего 0-0,6 / Total 0-0,6	3,61	7,21	2,70	5,39	1,63	3,26	1,42	2,84
3-5	0-0,2	0,39	0,78	0,27	0,54	0,24	0,47	0,20	0,40
	0,2-0,4	1,06	2,12	0,70	1,39	0,31	0,61	0,27	0,53
	0,4-0,6	1,13	2,26	0,89	1,78	0,42	0,84	0,28	0,55
	Всего 0-0,6 / Total 0-0,6	2,58	5,16	1,86	3,71	0,96	1,92	0,74	1,48



Рисунок 5 – Суммарный объем распределения влаги в почве вдоль линии вокруг капельного увлажнителя в радиусе 40 см на различной глубине через 5 дней после увлажнения нормой 200 м³/га, в зависимости от фракции вносимого цеолита

Figure 5 – Total volume of moisture distribution in the soil along the line around the drip humidifier within a radius of 40 cm at various depths 5 days after humidification with a rate of 200 м³/ha, depending on the fraction of the applied zeolite

Анализ общего запаса почвенной влаги на исследуемой глубине с радиусом 40 см от капельниц вдоль линии через пять дней после увлажнения почвы нормой $200 \text{ м}^3/\text{га}$ продемонстрировал также влияние вносимого природного мелиоранта не только на перераспределение влаги в почве, но ее аккумулируемый объем (рисунок 6). Наибольший запас воды наблюдался на варианте с внесением природного мелиоранта цеолита фракцией 1-3 мм – $19 \text{ м}^3/\text{га}$, что превысило контрольный показатель почти в 2 раза. Объем аккумулированной влаги на вариантах с внесением природного цеолита фракцией 0-1 мм и 3-5 мм составил $12-13 \text{ м}^3/\text{га}$.

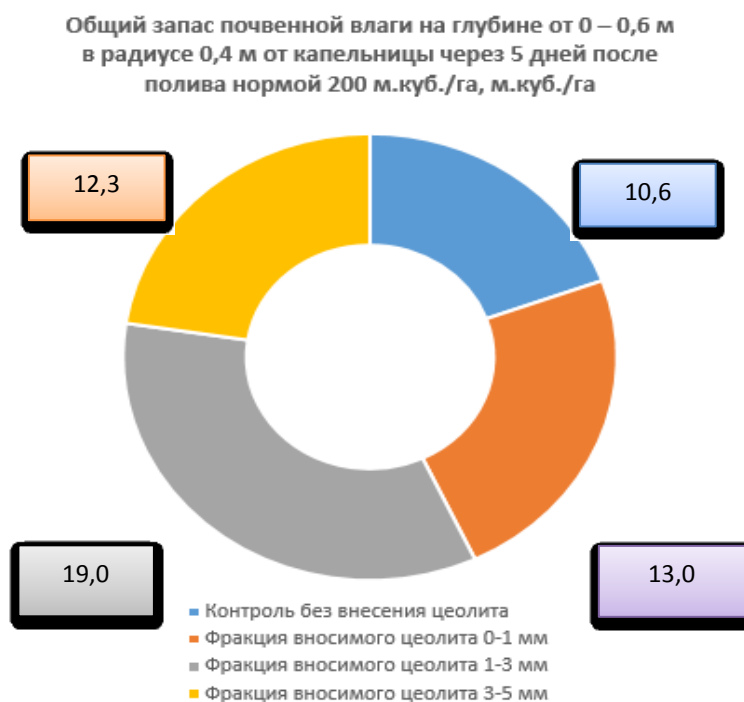


Рисунок 6 – Общий запас почвенной влаги вдоль капельной линии на глубине 0-0,6 м через 5 дней после увлажнения нормой $200 \text{ м}^3/\text{га}$
Figure 6 – Total soil moisture reserve along the drip line at a depth of 0-0.6 m 5 days after moistening with a rate of $200 \text{ м}^3/\text{га}$

Исследования наглядно демонстрируют каким образом можно предотвратить в вегетационный период потери продуктивной влаги на испарение и фильтрацию в более глубокие слои почвы, аккумулируя и перераспределяя ее в корнеобитаемом слое.

Выводы. В результате лабораторно-полевых исследований подтверждена высокая эффективность применения комплексного мелиоранта на основе природного цеолита:

- очистка нефтезагрязненных почв до значений ПДК ($0,98 \text{ г}/\text{кг}$) достигается за 6 месяцев;
- содержание никеля (Ni) снижается до ПДК ($0,0037 \text{ г}/\text{кг}$) за 7 месяцев, меди (Cu) – до $0,0029 \text{ г}/\text{кг}$ за 6 месяцев, что соответствует снижению на 62 % и 63 % соответственно;
- применение мелиоранта способствует улучшению водного режима: запасы продуктивной влаги на глубине 60 см через анализируемый период увеличились на 76 % по сравнению с контрольным вариантом.

Таким образом, использование комплексного мелиоранта на основе природного цеолита является перспективным направлением в системе агромелиоративных мероприятий, направленных на детоксикацию почв от тяжелых металлов и нефтяных углеводородов, а также на повышение их влагоемкости и восстановление продуктивности земель для устойчивого сельскохозяйственного использования в рамках циркулярной производственной модели с целью обеспечения продовольственной безопасности страны.

Conclusions. As a result of laboratory and field studies, the high efficiency of using a complex ameliorant based on natural zeolite has been confirmed.:

- purification of oil-contaminated soils to the maximum permissible concentration ($0.98 \text{ g}/\text{kg}$) is achieved in 6 months;
- the nickel (Ni) content decreases to the maximum permissible concentration ($0.0037 \text{ g}/\text{kg}$) in 7 months, copper (Cu) – to $0.0029 \text{ g}/\text{kg}$ in 6 months, which corresponds to a decrease of 62 % and 63 %, respectively;

- the use of meliorant helps to improve the water regime: reserves of productive moisture at a depth of 60 cm increased by 76 % in the analyzed period compared with the control option.

Thus, the use of a complex ameliorant based on natural zeolite is a promising direction in the system of agro-reclamation measures aimed at detoxifying soils from heavy metals and petroleum hydrocarbons, as well as increasing their moisture capacity and restoring land productivity for sustainable agricultural use within the framework of a circular production model in order to ensure the country's food security.

Библиографический список

1. Грошева С. В., Тихонова И. О. Оценка перспектив экономики замкнутого цикла при биоремедиации нефтезагрязненных грунтов. Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2025. № 1 (322). С. 28-34.
2. Антонова И. И., Мухаметханова Н. И. О процессе управления изменениями на предприятии при переходе к экономике замкнутого цикла. Экономика и управление. 2025. Т. 31. № 3. С. 291-301.
3. Khromykh V. D., Chubarkina I. Yu. Key aspects of implementing the concept of closed-loop economy in the construction industry. Real Estate: Economics, Management. 2025. № 1. Pp. 59-62.
4. Попова Л. В. и др. Управление конкурентоспособностью аграрных предприятий в условиях импортозамещения. Вестник Академии знаний. 2022. № 53 (6). С. 217-221.
5. Соболева С. В., Есякова О. А., Воронин В. М. Перспективный метод очистки почвы от нефтепродуктов с использованием биосорбентов. Успехи современного естествознания. 2024. № 2. С. 30-35.
6. Мельник О. А., Никифорова Ю. Ю. Рекультивация загрязненных нефтепродуктами почв. Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 12-2 (114). С. 85-88.
7. Биктимиров Ф. Х. Очистка загрязненных почв: методы очистки от хлорорганических соединений, преимущества, недостатки и мировой опыт. Интернаука. 2023. № 46-2 (316). С. 33-35.
8. Апулу О. Г., Потравный И. М., Сухорукова И. В. Методы обоснования и выбора технологий рекультивации загрязненных нефтью земель Экология и промышленность России. 2021. Т. 25. № 6. С. 38-43.
9. Сивков Ю. В., Никифоров А. С. Исследование способов повышения эффективности восстановления земель, загрязненных нефтепродуктами. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2024. № 3. С. 7-8.
10. Мещеряков М. П., Хавронина В. Н., Кузнецова Н. В., Тронева С. В., Мещерякова Е. Г. Оценка эффективности применения модифицированного сорбента на техногенно загрязненных почвах. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 3 (67). С. 438-445.
11. Мещеряков М. П. и др. Устройство для рекультивации техногенно-нарушенных почв. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 3 (81). С. 448-455.
12. Чачина С. Б., Лапочкина А. С. Рекультивация почв, загрязненных отработанным машинным маслом, с использованием дождевых червей *eisenia fetida* и микробиологических препаратов. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 10-1. С. 84-88.
13. Кирдин В. Ф., Штырхунов В. Д., Конончук В. В., Тимошенко С. М. Восстановление плодородных свойств почвы в период рекультивации. Аграрная Россия. 2024. № 11. С. 24-26.
14. Loseva L. P., Krupskaya T. K., Anuchin S. N., Anufriy S. S. Comprehensive evaluation of the phytoremedial ability of a number of agricultural crops for the restoration of polluted soils with heavy metals. Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2020. № 1. С. 23-31.
15. Мещеряков М. П. и др. Влияние технологического процесса передовых способов полива на продуктивность овощных культур в Нижнем Поволжье. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 4 (64). С. 411-421.
16. Loseva L. P. et al. Comprehensive evaluation of the phytoremedial ability of a number of agricultural crops for the restoration of polluted soils with heavy metals. Journal of the Belarusian State University. Ecology. 2020. No 1. Pp. 23-31.
17. Eremchenko O. Z., Moskvina N. V., Mitrova N. V., Efimik E. G., Shestakov I. E. A multifaceted approach to assessing the effectiveness of remediating oil-contaminated soils. Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2021. V. 6. № 4. Pp. 26-40.
18. Gurbanov E. M., Aslanova S. Sh., Asadova B. Q., Ibrahimov Sh. I. Phytoecological research on oil-contaminated soils of "shirvanneft" oil and gas development area and its reclamation (Azerbaijan) Proceedings of the Mordovia State Nature Reserve. 2023. № 33. Pp. 172-183.

References

1. Grosheva S. V., Tikhonova I. O. Assessment of the prospects for a closed-loop economy in the bioremediation of oil-contaminated soils. Environmental Protection in the Oil and Gas Complex. 2025. No 1 (322). Pp. 28-34.
2. Antonova I. I., Mukhametkhanova N. I. On the process of managing changes at an enterprise during the transition to a closed-loop economy. Economics and Management. 2025. V. 31. No 3. Pp. 291-301.
3. Khromykh V. D., Chubarkina I. Yu. Key aspects of implementing the concept of closed-loop economy in the construction industry. Real Estate: Economics, Management. 2025. No 1. Pp. 59-62.
4. Popova L. V. et al. Management of Competitiveness of Agrarian Enterprises in the Conditions of Import Substitution. Bulletin of the Academy of Knowledge. 2022. No 53 (6). Pp. 217-221.
5. Soboleva S. V., Esiyaka O. A., Voronin V. M. A promising method of soil purification from petroleum products using bio sorbents. Advances in Modern Natural Sciences. 2024. No 2. Pp. 30-35.
6. Melnik O. A., Nikiforenko Yu. Yu. Reclamation of oil-contaminated soils. International Research Journal. 2021. No 12-2 (114). Pp. 85-88.
7. Biktimirov F. Kh. Cleaning of contaminated soils: methods of cleaning from organochlorine compounds, advantages, disadvantages and world experience. Internauka. 2023. No 46-2 (316). Pp. 33-35.
8. Apulu O. G., Potravny I. M., Sukhorukova I. V. Methods of Justification and Selection of Technologies for the Reclamation of Oil-Contaminated Lands. Ecology and Industry of Russia. 2021. V. 25. No 6. Pp. 38-43.

9. Sivkov Yu. V., Nikiforov A. S. Research of ways to increase the efficiency of restoration of lands polluted by oil products. Modern science: current problems of theory and practice. Series: Natural and technical sciences. 2024. No 3. Pp. 7-8.
10. Meshcheryakov M. P., Khavronina V. N., Kuznetsova N. V., Tronev S. V., Meshcheryakova E. G. Evaluation of the effectiveness of using a modified sorbent on technogenically contaminated soils. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: science and higher professional education. 2022. No 3 (67). Pp. 438-445.
11. Meshcheryakov M. P. et al. Device for the Reclamation of Technogenic-Disturbed Soils. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No 3 (81). Pp. 448-455.
12. Chachina S. B., Lapochkina A. S. Reclamation of soils contaminated with waste engine oil using eisenia fetida earthworms and microbiological preparations. International Journal of Applied and Fundamental Research. 2016. No 10-1. Pp. 84-88.
13. Kirdin V. F., Shtyrkhunov V. D., Kononchuk V. V., Timoshenko S. M. Restoration of fertile properties of soil in the period of reclamation. Agrarian Russia. 2024. No 11. Pp. 24-26.
14. Loseva L. P., Krupskaya T. K., Anuchin S. N., Anufriuk S. S. Comprehensive evaluation of the phytoremedial ability of a number of agricultural crops for the restoration of polluted soils with heavy metals. Journal of the Belarusian State University. Ecology. 2020. No 1. Pp. 23-31.
15. Meshcheryakov M. P. et al. Influence of the technological process of advanced irrigation methods on the productivity of vegetable crops in the Lower Volga region. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2021. No 4 (64). Pp. 411-421.
16. Loseva L. P. et al. Comprehensive evaluation of the phytoremedial ability of a number of agricultural crops for the restoration of polluted soils with heavy metals. Journal of the Belarusian State University. Ecology. 2020. No 1. Pp. 23-31.
17. Eremchenko O. Z., Moskvina N. V., Mitrakova N. V., Efimik E. G., Shestakov I. E. A multifaceted approach to assessing the effectiveness of remediating oil-contaminated soils. Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2021. V. 6. № 4. Pp. 26-40.
18. Gurbanov E. M., Aslanova S. Sh., Asadova B. Q., Ibrahimov Sh. I. Phytocological research on oil-contaminated soils of "shirvanneft" oil and gas development area and its recultivation (Azerbaijan) Proceedings of the Mordovia State Nature Reserve. 2023. № 33. Pp. 172-183.

Информация об авторах

Мещеряков Максим Павлович, доктор технических наук, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: makc-sln@yandex.ru

Фомин Сергей Денисович, доктор технических наук, профессор кафедры, профессор РАЕ, заведующий центром: Центр НАМСИ, научный редактор, заместитель главного редактора: редакция журнала «Известия НВ АУК», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: fsd_58@mail.ru

Мещерякова Елена Геннадьевна, старший преподаватель, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: ale-sn@yandex.ru

Досова Айжан Галимовна, кандидат экономических наук, доцент кафедры ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: aijanraskalieva@mail.ru

Authors' Information

Meshcheryakov Maksim Pavlovich, Doctor of Engineering Sciences, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: makc-sln@yandex.ru

Fomin Sergey Denisovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department, Professor of the Russian Academy of Sciences, Head of the Center: NAMS Center, Scientific Editor, Deputy Editor-in-Chief: Editorial Board of the journal Izvestia NV AUK, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26, e-mail: fsd_58@mail.ru

Meshcheryakova Elena Gennadievna, Senior Lecturer, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: ale-sn@yandex.ru

Dosova Aizhan Galimovna, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: aijanraskalieva@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-54

THE ASSESSMENT OF THE TILLAGE METHODS IMPACT ON THE SUNFLOWER YIELDS IN THE SOUTHERN CHERNOZEM SOILS OF THE WESTERN ZONE OF THE KALMYKIA REPUBLIC

¹Okonov M. M., ²Pleskachev Yu. N., ¹Eviev V. A., ³Dzhabborov N. I., ¹Kurepina N. L.,
⁴Fomin S. D.

¹ Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov
Elista, Russian Federation

²Federal Research Center "Nemchinovka"
Moscow, Russian Federation

³ Institute of agricultural engineering and environmental problems of agricultural production – the branch of the
«Federal Scientific Agro-engineering Center VIM»

Saint-Petersburg, Russian Federation

⁴Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: aviev@yandex.ru

Received 20.11.2025

Submitted 23.12.2025

Abstract

Introduction. The vast territory of the Republic of Kalmykia, due to its geographical location, belongs to arid and highly arid zones with an aridity coefficient of 0.11-0.30. In these natural conditions, the main limiting factor in agricultural crop productivity is soil moisture. In a market economy, the specialization of farms

of different types of ownership requires the inclusion of crops whose products are most in demand in the crop structure. The main reasons for low sunflower yields are the insufficient study of the zonal aspects of sunflower cultivation technology. Particular attention should be paid to the selection of effective soil cultivation methods, the use of herbicides and compliance with established environmentally safe application rates, and modern tillage implements. **The aim** of the study was to examine various soil cultivation methods using modern hybrids, assess their impact on the agrophysical properties of southern chernozem and the yield of zoned sunflower hybrids in the western zone of the Republic of Kalmykia. **The objects** of the study were various soil cultivation methods and sunflower hybrids. **Materials and methods.** Field studies were conducted in 2019-2021 at the educational experimental plot of the Bashanty Agrocollege, a branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov". The soil of the experimental plot was southern chernozem, the humus content in the arable horizon was 3.8 %, the thickness of the humus horizon was 0.32 m. The design of the field experiment consisted of studying three options for primary soil cultivation and the use of Harnes herbicide at a rate of 2.0 l/ha during moldboard-less cultivation: 1 – moldboard plowing with DT-75M + PN-4-35 and K-701M + PN-9-35 plowing units to a depth of 0.25-0.27 m; 2 – subsurface tillage with K-701M + KPG-2-150 unit to a depth of 25 cm and 27 cm with the application of Harnes herbicide (Belarus 1221 + OP-2000-2 unit); 3 – deep chisel loosening of the soil with K-701M + PC – 4.5 unit to a depth of 33-35 cm with the application of Harnes herbicide (Belarus 1221 + OP-2000-2 unit). The sunflower sowing method is wide-row with 45 cm inter-row spacing. The mid-season hybrid Typhoon and the mid-late hybrid Signal were used in the experiments. **Results and conclusions.** No-moldboard tillage, compared to moldboard tillage, does not lead to significant compaction of the arable horizon of the southern chernozem above the biological optimum (1.3 g / cm^3) and disruption of aeration. In the experiments, the soil bulk density after plowing to a depth of 25-27 cm averaged 1.26 g/cm^3 , after no-till cultivation at a depth of 25-27 cm – 1.29 g/cm^3 , and after deep loosening (34-35 cm) – 1.28 g/cm^3 . The highest weed count was observed in the spring with plowing, and during harvesting with the subsurface tillage variant, and the lowest with the deep tillage variant. Deep loosening of the soil with a chisel with an arrow-shaped paw, together with the application of herbicide, ensures effective root control of such malicious root-suckering weeds as field sow thistle, thistle, and bindweed. Experiments have shown that the agroclimatic and soil resources of the southern chernozems of Kalmykia, depending on the combined effects of various tillage methods and the use of the herbicide Harnes, guarantee a yield of 15-16 centners per hectare of oilseeds with a high economic impact. The profitability of cultivating the Typhoon hybrid using deep no-tillage and subsurface application of the herbicide Harnes will be 34-35 %.

Keywords: methods of tillage, southern chernozem, profitability of sunflower cultivation, sunflower yield, sunflower water consumption, sunflower cultivation technologies.

Citation. Okonov M. M., Pleskachev Yu. N., Eviev V. A., Dzhabborov N. I., Kurepina N. L., Fomin S. D. The assessment of the tillage methods impact on the sunflower yields in the southern chernozem soils of the western zone of the Kalmykia Republic. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 513-523 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-54.

Authors' contributions. All authors of this study were directly involved in the planning and execution of the theoretical and experimental work. All authors reviewed and approved the final version of the article.

Conflict of interest. All authors declare no conflicts of interest.

УДК 631.51:633.85:631.445.41

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА УРОЖАЙНОСТЬ ПОДСОЛНЕЧНИКА НА ЮЖНО-ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВАХ ЗАПАДНОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ КАЛМЫКИЯ

¹Оконов М. М., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

²Плескачев Ю. Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹Эвиев В. А., доктор технических наук, профессор

³Джаббаров Н. И., доктор технических наук, профессор

¹Курепина Н. Л., доктор экономических наук, профессор

⁴Фомин С. Д., доктор технических наук, профессор

¹Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова

г. Элиста, Республика Калмыкия, Российская Федерация

²Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»

г. Москва, Российская Федерация

³Институт агроинженерии и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

⁴ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Обширная территория Республики Калмыкия в силу своего географического положения относится к аридным и сильно аридным зонам с коэффициентом аридности 0,11-0,30. В этих природных условиях основным лимитирующим фактором продуктивности сельскохозяйствен-

ных культур является почвенная влага. В условиях рыночной экономики специализация хозяйств разных форм собственности требуют присутствия в структуре посевов таких культур, чья продукция является наиболее востребованной. Основными причинами низких урожаев подсолнечника является недостаточная изученность зональных аспектов технологии его возделывания. При этом особое внимание должно быть уделено выбору эффективных способов обработки почвы, использованию гербицидов и соблюдению установленных экологически безопасных доз их внесения, современным почвообрабатывающих орудий. **Цель исследования** – изучение разных способов обработки почвы с использованием современных гибридов, оценка их влияния на агрофизические свойства южного чернозёма и урожайность районированных гибридов подсолнечника в условиях западной зоны Республики Калмыкия. **Объект.** Объектами исследования являлись различные способы обработки почвы, гибриды подсолнечника. **Материалы и методы.** Полевые исследования проводились 2019-2021 гг. на учебном опытном участке Башантинского агроколледжа – филиала ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет им. Б. Б. Городовикова». Почва опытного участка – южный чернозем, содержание гумуса в пахотном горизонте – 3,8 %, мощность гумусового горизонта – 0,32 м. Схема полевого опыта состояла из изучения трёх вариантов основной обработки почвы и применения при безотвальной обработке гербицида Харнес нормой 2,0 л/га: 1 – отвальная вспашка пахотными агрегатами ДТ-75М + ПН-4-35 и К-701М + ПН-9-35 на глубину 0,25-0,27м; 2 – плоскорезная обработка почвы агрегатом К-701М + КПГ-2-150 на глубину 25 см и 27 см с внесением гербицида Харнес (агрегатом Беларусь 1221 + ОП-2000-2); 3 – чизельное глубокое рыхление почвы агрегатом К-701М + ПЧ-4,5 на глубину 33-35 см с внесением гербицида Харнес (агрегатом Беларусь 1221 + ОП-2000-2). Способ посева подсолнечника широкорядный с междурядьями 45 см. Использовали в опытах среднеспелый гибрид Тайфун и среднепозднеспелый гибрид Сигнал. **Результаты и выводы.** Безотвальный способ обработки почвы по сравнению с отвальной не приводит к существенному уплотнению пахотного горизонта южного чернозёма выше биологического оптимума ($1,3 \text{ г/см}^3$) и нарушению аэрации. В опытах плотность сложения почвы по вспашке на глубину 25-27 см составила в среднем $1,26 \text{ г/см}^3$, по безотвальной обработке на глубине 25-27 см – $1,29 \text{ г/см}^3$ и по глубокому рыхлению (34-35 см) – $1,28 \text{ г/см}^3$. Наибольшее количество сорняков наблюдалось весной на варианте со вспашкой, а в период уборки на варианте с плоскорезной обработкой и наименьшее на варианте с глубокой обработкой. Глубокое рыхление почвы чизелем со стрельчатой лапой вместе с внесением гербицида обеспечивает хорошее подрезание корневой системы таких злостных корнеотпрысковых сорняков, как осот полевой, бодяк и вьюнок. Экспериментально установлено, что агроклиматические и почвенные ресурсы южных чернозёмов Калмыкии, в зависимости от комплексного воздействия разных способов обработки почвы и применения гербицида Харнес, позволяют гарантированно получать 15-16 ц/га маслосемян подсолнечника с высоким экономическим эффектом. Рентабельность возделывания гибрида Тайфун на варианте с глубокой безотвальной обработкой и внутрипочвенного внесения гербицида Харнес составит 34-35 %.

Ключевые слова: способы обработки почвы, южный чернозем, рентабельность возделывания подсолнечника, урожайность подсолнечника, водопотребление подсолнечника, технологии возделывания подсолнечника.

Цитирование. Оконов М. М., Плескачев Ю. Н., Эвиев В. А., Джаббаров Н. И., Курепина Н. Л., Фомин С. Д. Оценка влияния способов обработки почвы на урожайность подсолнечника на южно-черноземных почвах западной зоны Республики Калмыкия. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 513-523. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-54.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении теоретических и экспериментальных работ. Все авторы статьи ознакомились и одобрили окончательный представленный вариант.

Конфликт интересов. Все авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Вопросы изучения научно-практической значимости разных способов и приемов обработки почвы в условиях Нижнего Поволжья и Калмыкии нашли в разное время отражение в трудах В. М. Жидкова, А. Н. Сухова, Г. А. Медведева, Н. Ю. Петрова, Г. С. Егоровой, Ю. Н. Плескачева, В. А. Паршина, Б. А. Гольдварга и др. В их научных работах были отмечены наиболее значимые теоретические и методологические основы оптимизации приемов обработки почвы с адаптацией к местным почвенно-климатическим условиям.

Подсолнечник (*Helianthus annuus*) является традиционно, в силу своих высоких хозяйственно-экологических ценностей, главной масличной культурой в России. В сельскохозяйственном производстве ему принадлежит первое место, а основным производителем является ЮФО, где сосредоточено более 50 % посевной площади, а валовое производство масла семян достигает более 65 %. В Республике Калмыкия общая посевная площадь подсолнечника сравнительно небольшая и составляет около 8 тыс. га. Основные посевы расположены в западной зоне Калмыкии на территории Городовиковского района, где почвы относятся к южному чернозему. Валовое производство маслосемян по данным 2023 г. составило 90,8 тыс. т, при средней урожайности 1,60 т/га, что значительно ниже потенциально возможной продуктивности современных сортов и гибридов.

На урожайность сельскохозяйственных культур, в том числе и подсолнечника, большое влияние оказывают способы обработки почвы. В этой связи, отечественными и зарубежными учеными проведены экспериментальные исследования по оценке влияния способов обработки почвы на урожайность различных сельскохозяйственных культур при их возделывании на различных типах почв и климатических зон. Ниже приводим краткий анализ опубликованных в открытой печати результатов исследований.

В работе [1] изложены результаты исследований влияния обработки почвы и способов посева на урожайность сои на черноземе обыкновенном Западного Предкавказья на Армавирской опытной станции ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК. Установлено, что при безотвальной обработке почвы, на посевах сои с междурядьем 15 см и 70 см, количество сорных растений в сравнении с отвальной обработкой, увеличилось соответственно на 150 и 139 шт./м². На посевах удалось существенно снизить количество сорных растений применением гербицидов.

Проведены исследования по сравнительной оценке влияния отвальной и безотвальной обработки почвы на урожайность чечевицы сортов Светлая (стандарт), Веховская и Аида [2]. Установлено, что при отвальной обработке почвы получен высокий урожай чечевицы: Светлая – 25,1, Веховская – 22,5 и Аида – 21,0 ц/га. При безотвальной обработке почвы урожайность упомянутых выше сортов была ниже на 42,6; 53,1 и 53,3 % по сравнению с отвальной обработкой.

Результаты исследований о влиянии способов обработки почвы на урожайность озимой пшеницы в условиях Предгорного Дагестана изложены в работе [3]. Исследования показали, что отвальная обработка почвы обеспечивает получение 37,5 ц/га урожая, что выше по сравнению с безотвальной обработкой на 8,7 %.

Также экспериментально установлено, что урожайность однолетних трав при отвальной обработке почвы по сравнению с безотвальной повышается на 20,2 % [4].

Сравнительная оценка нулевой и поверхностной обработок позволила установить, что в среднем при поверхностной обработке влажность почвы ниже на 17,75 %, температура почвы выше на 4,12 %, а урожайность озимой пшеницы ниже на 8,37 %. Установлено, что при вспашке влажность почвы ниже на 13,19 %, ее температура выше на 11,48 % и урожайность озимой пшеницы ниже на 5,44 % по сравнению с нулевой обработкой [5].

Установлено, что в период вегетации подсолнечника урожайность различных гибридов на варианте отвальной обработки была выше по сравнению с другими способами обработки на 15,2-15,7 % [6].

В работе [7] представлены результаты исследований по оценке влияния основной обработки почвы на урожайность и засоренность посевов кукурузы. Установлено, что «увеличение глубины зяблевой обработки темно-серой лесной почвы, независимо от способа, является важнейшим средством улучшения водного режима почвы, гарантирующим получение устойчивых урожаев в зоне неустойчивого увлажнения. Степень засоренности посевов кукурузы при различных способах и глубине основной обработки почвы определяется в большей мере биологическими особенностями и уровнем агротехники предшествующей культуры» [7].

Установлено, что применение плоскорезной обработки, по сравнению с другими способами, обеспечивает накопление влаги, оптимальную плотность почвы и достаточно высокий урожай нута [8].

Результаты исследований, изложенные в работе [9] свидетельствуют, что на фоне отвальной вспашки при внесении смеси гербицидов Трефлан + Гезагард в дозе 4 + 2,6 л/га получен урожай подсолнечника – 23,4 ц/га, а при плоскорезной обработке почвы – 24,6 ц/га.

В нечерноземной зоне Волгоградской области исследованы технологические приемы возделывания подсолнечника [10]. На фоне прямого сева изучены гибриды подсолнечника и было установлено, что у гибрида Муггли при применении гербицида Евролайтинг и фунгицида Пиктор, а также внесении жидких комплексных удобрений из расчета 120 л/га урожайность составила 22,7 ц/га. Без применения удобрений урожайность подсолнечника была ниже на 50-60 %.

В работе [11] изложены результаты оценки влияния различных способов обработки почвы на урожайность подсолнечника. Выявлено, что чизельное рыхление на глубину 35-37 см, оборот пласта на 15-17 см, плоскорезная обработка на глубину 15-17 см и сплошное предпосевное внутрипочвенное внесение гербицида обеспечивает урожайность подсолнечника до 23,5 центнеров с 1 га.

Авторами работы [12] была использована модель топ-менеджмента для моделирования пятилетнего капитала, с учетом вероятностного характера урожайности и цен, на примере хозяйств Центрального Саскачевана. Моделирование использовано для сравнения системы минимальной обработки почвы и технологии прямого посева. Установлена эффективность нулевой обработки почвы в данном регионе.

В качестве основных показателей оценки эффективности и экологической безопасности технологий производства продукции растениеводства, рационального управления полевым севооборотом на основе использования цифровых технологий авторы работы [13] рассматривают:

- динамику изменения уплотнения почвы;
- изменение содержания эрозионно-опасных частиц;
- степень засоренности посевов сорняками, вредителями и зараженности болезнями;
- содержание в почве пестицидов;
- содержание в почве удобрений;
- выбросы вредных (токсичных) веществ в атмосферу при сжигании топлива двигателями тракторов и т. д.

«При выборе технологий возделывания сельскохозяйственных культур необходимо учесть принцип дифференциации способов и приемов обработки почвы в зависимости от природных факторов (особенностей агроландшафта, свойств и уровня плодородия почвы), биологических особенностей культур, степени проявления эрозионных процессов, гидрологических условий, а также фитосанитарного состояния почвы» [14].

«Дифференцированная система обработки почвы в зависимости от вышеперечисленных факторов позволяет повысить экологическую безопасность технологий и значительно сэкономить топливно-энергетические ресурсы в технологиях производства сельскохозяйственной продукции» [14].

Результаты краткого анализа литературы позволяют заключить, что обоснование и выбор экономически эффективных, экологически безопасных способов и приемов обработки почвы в различных зонах земледелия страны является актуальной задачей.

Следует отметить, что обширная территория Прикаспия и Ставропольской возвышенности является зоной интенсивного проявления ветровой эрозии, что должно в первую очередь учитываться в адаптивно-ландшафтной системе земледелия Калмыкии. В этой связи особое значение придается способам безотвальной обработки почвы, возможностям наиболее полного аккумуляирования влаги осадков в корнеобитаемом слое почвы и сохранению ее естественного плодородия.

Цель исследования заключалась в изучении разных способов обработки почвы с использованием современных гибридов, оценка их влияния на агрофизические свойства южного чернозёма, водопотребление, фотосинтез и урожайность районированных гибридов подсолнечника в условиях южного чернозема западной зоны Республики Калмыкия.

Материалы и методы. Полевые исследования проводились 2019-2021 гг. на учебном опытном участке Башантинского агроколледжа – филиала ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет им. Б. Б. Городовикова».

Почва опытного участка – южный чернозем, содержание гумуса в пахотном горизонте – 3,8 %, мощность гумусового горизонта – 0,32 м. Содержание общего азота в пахотном горизонте составляет 0,3 %, доступного фосфора – 0,21 %, обменного калия – 2,4 %. Почва характеризуется слабой щелочностью: РН – 7,4. Метеорологические условия 2019-2021 гг. характеризуются как очень засушливые (2020 г.) и засушливые в 2019 и 2021 гг.

Производственные условия в хозяйстве были достаточно хорошие, чтобы проводить исследования.

Схема полевого опыта состояла из изучения трёх вариантов основной обработки почвы и применения при безотвальной обработке гербицида Харнес нормой 2,0 л/га:

1. Отвальная вспашка пахотными агрегатами ДТ-75М + ПН-4-35 и К-701М + ПН-9-35 на глубину 0,25-0,27м.

2. Плоскорезная обработка почвы агрегатом К-701М + КПГ-2-150 на глубину 25 см и 27 см с внесением гербицида Харнес (агрегатом Беларусь 1221 + ОП-2000-2).

3. Чизельное глубокое рыхление почвы агрегатом К-701М + ПЧ-4,5 на глубину 33-35 см с внесением гербицида Харнес (агрегатом Беларусь 1221 + ОП-2000-2).

Способ посева подсолнечника широкорядный с междурядьями 45 см. Использовали в опытах среднеспелый гибрид Тайфун и среднепоздний гибрид Сигнал. В опыте вносили зонально рекомендуемую дозу удобрений $N_{60}P_{90}K_{40}$. Методологической основой исследования служил метод факторного полевого эксперимента.

Все фенологические наблюдения, учёт, отбор образцов почвы и растений осуществлялись по общепринятым методикам.

Результаты и обсуждение. В условиях совершенствования существующей системы земледелия следует обратить внимание на энергосберегающие способы и приемы обработки почвы, связанные с чизелеванием, дискованием наряду с традиционной отвальной вспашкой, а также применением высокоэффективных гербицидов при возделывании подсолнечника.

В полевых опытах, проведенных в 2019-2021 годы, было установлено влияние способов обработки почвы на агрофизические показатели, водный режим южного чернозёма, засоренность и урожайность подсолнечника.

Установлено, что способы основной обработки почвы оказывают существенное влияние на содержание агрономических ценных фракций в почве (таблица 1).

Таблица 1 – Агрегатный состав почвы в зависимости от способа обработки почвы, %
Table 1 – Aggregate composition of soil depending on the method of cultivation, %

Варианты / Options	Фракции по величине агрегатов, мм / Fractions by aggregate size, mm					
	Перед посевом / Before sowing			Перед уборкой / Before cleaning		
	> 10	10 – 0,25	< 0,25	> 10	10 – 0,25	< 0,25
Отвальная (вспашка на глубину 25-27 см) / Moldboard (plowing to a depth of 25-27 cm)	17,1	67,0	15,9	18,9	59,5	21,6
Безотвальная (рыхление чизельным агрегатом на глубину 34-35 см) / No-till (loosening with a chisel unit to a depth of 34-35 cm)	14,9	70,3	14,8	19,2	63,0	17,8

При вспашке пахотным агрегатом ДТ-75М + ПН-8-45 количество агрономически ценных агрегатов 10-0,25 мм в среднем за три года составило 67,0 %, а при безотвальном рыхлении почвы К-701М + ПЧ-4,5 существенно больше – 70,3 %.

В зависимости от типа почвы формируются все другие агрофизические свойства почвы, такие как водопроницаемость, влагоемкость, плотность сложения.

Плотность сложения почвы в земледелии служит одним из важных показателей структурного её состояния, характеризующим в значительной мере водно-воздушный режим, соответственно и урожайность возделываемой культуры. Поэтому поддержание оптимальной плотности до $1,30 \text{ г/см}^3$ в пахотном горизонте зональных подтипов почвы является одной из важных задач агрономической практики и решается главным образом в системе основной обработки почвы в севооборотах.

Значения плотности почвы южного чернозема в зависимости от способов основной обработки, полученные в процессе проведения опытов, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Плотность сложения почвы южного чернозема в зависимости от способов обработки, г/см^3
Table 2 – Soil bulk density of southern chernozem depending on cultivation methods, g/cm^3

Варианты / Options	Годы исследований / Years of research			
	2019	2020	2021	средняя / average
Вспашка на глубину 25-27 см (контроль) / Plowing to a depth of 25-27 cm (control)	1,26	1,27	1,24	1,26
Плоскорезная обработка на глубину 25-27 см / Surface cutting to a depth of 25-27 cm	1,29	1,30	1,28	1,29
Безотвальная обработка (чизельная) на глубину 34-35 см / No-till (chisel) tillage to a depth of 34-35 cm	1,28	1,30	1,26	1,28

Плотность сложения почвы на варианте с отвальной вспашкой составила от 1,24 до 1,27 г/см³, а в среднем за три года – 1,26 г/см³.

Наибольшая плотность почвы была отмечена на варианте с плоскорезной обработкой КППГ-2-150 – 1,29 г/см³ и с безотвальной (чизельной) – 1,28 г/см³.

Способы обработки почвы оказывали заметное влияние и на общую ее пористость. Общеизвестно, что между плотностью сложения почвы и ее пористостью существует прямая связь. Чем больше плотность почвы, тем меньше ее пористость. От общей пористости зависят такие важные свойства почвы, как водопроницаемость, влагоемкость, воздухоёмкость, в целом газообмен между почвой и атмосферой.

Данные по общей пористости южного чернозёма по вариантам опыта и в период вегетации подсолнечника приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Пористость почвы (%) в среднем за 2019-2021 годы
Table 3 – Soil porosity (%) on average for 2019-2021

Сроки определения / Deadlines for determination	Варианты обработки почвы / Soil cultivation options		
	Вспашка на глубину 25-27 см / Plowing to a depth of 25-27 cm	Плоскорезная обработка на глубину 25-27 см / Flat-cut processing to a depth of 25-27 cm	Безотвальная обработка (чизельная) на глубину 34-35 см / No-till (chisel) tillage to a depth of 34-35 cm
После обработки / After processing	60,1	58,5	59,1
Образование корзинки / Basket formation	57,5	56,9	58,2
Уборка подсолнечника / Sunflower harvesting	55,3	53,0	54,1

Из данных таблицы 3 видно, что сразу после обработки почвы пористость пахотного слоя была более высокой – 60,1 %, на варианте, где проводилась вспашка. В вариантах применения плоскорезной обработки, пористость почвы составляла – 58,5, а при рыхлении (чизельной) – 59,1 %. Наименьшая пористость почвы была на варианте с плоскорезной обработкой во всех сроках ее определения.

Запасы влаги, накопленные в осенне-зимний и ранневесенний периоды, имеют решающее значение в формировании урожая сельскохозяйственных культур. При возделывании подсолнечника на варианте со вспашкой, содержание общих запасов влаги в метровом горизонте составило в среднем 182 мм, а к моменту созревания корзинки – 37 мм.

Данные по водопотреблению подсолнечника среднеспелого гибрида Тайфун приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Суммарное водопотребление подсолнечника при разных способах обработки почвы
(среднее за 2019-2021 годы)

Table 4 – Total water consumption of sunflower under different tillage methods (average for 2019-2021)

Table 4 — Total water consumption of sunflower under different tillage methods (average for 2019-2021)					
Варианты опыта / Experimental options	Израсходовано влаги за вегетацию, мм / Moisture consumed during the growing season, mm				Суммарное водопотребление, мм / Total water consump- tion, mm
	За счет влаги из почвы, мм / Due to moisture from the soil, mm		За счет осадков, мм / Due to precipitation, mm		
Вспашка на глубину 25-27 см (контроль) / Plowing to a depth of 25-27 cm (control)	131,7	68,3	61,1	31,7	192,8
Плоскорезная обработка на глубину 25-27 см / Surface cutting to a depth of 25-27 cm	148,2	71,8	61,1	29,2	209,3
Безотвальная обработка (чизельная) на глубину 34-35 см / No-till (chisel) tillage to a depth of 34-35 cm	150,4	71,1	61,1	28,9	211,5

Данные таблицы 4 свидетельствуют о том, что суммарное водопотребление подсолнечника в зависимости от разных способов обработки почвы из метрового горизонта почвы в среднем за три года составила по вспашке 192,8 мм, по плоскорезной обработке 209,3 мм и чизельной (незначительно больше плоскорезной) – 211,5 мм.

В структуре водопотребления основная доля приходится на почвенную влагу, составляя по вариантам 68,3-71,1 %, на долю атмосферных осадков приходится соответственно 28,9-31,7 %.

Весьма серьезной проблемой в возделывании подсолнечника по традиционной технологии является борьба с сорной растительностью. Из отечественных и зарубежных источников хорошо известно, что борьба с сорняками в значительной мере реализуется успешно при выборе оптимального способа обработки почвы и применения высокоэффективных почвенных гербицидов системного действия. Опытные данные о засоренности посевов подсолнечника в зависимости от способа обработки почвы и применения гербицида Харнес представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Засоренность посевов подсолнечника в 2020 г.

Table 5 – Weed infestation of sunflower crops in 2020

Варианты опыта / Experimental options	Количество сорняков, шт./м ² / Number of weeds, pcs/m ²		Сухая масса, г/м ² / Dry weight, g/m ²	
	Весной / In the spring	Период уборки / Harvesting period	Весной / In the spring	Период уборки / Harvesting period
Вспашка на глубину 25-27 см (контроль) / Plowing to a depth of 25-27 cm (control)	34	77	35	112
Плоскорезная обработка на глубину 25-27 см + Харнес / Surface cutting processing to a depth of 25-27 cm + Harness	27	84	38	131
Безотвальная обработка (чизельная) на глубину 34-35 см + Харнес / No-till cultivation (chisel) to a depth of 34-35 cm + Harness	31	70	42	109

Наибольшее количество сорных растений наблюдалось весной на варианте со вспашкой, а в период уборки урожая на варианте с плоскорезной обработкой и наименьшее на варианте с чизельной обработкой. Это объясняется тем, что глубокое рыхление почвы чизелем, одновременно с внесением гербицидов, уничтожало лучше корневую систему таких злостных корнеотпрысковых сорняков, как бодяк, осот полевой и вьюнок полевой.

Урожайность маслосемян подсолнечника во все годы проведения опытов и в среднем за три года была неодинаковой в зависимости от погодных условий, изучаемых вариантов и гибридов (таблица 6).

Таблица 6 – Урожайность гибридов подсолнечника в зависимости от способа обработки почвы, ц/га

Table 6 – Yield of sunflower hybrids depending on the method of soil cultivation, c/ha

Способ обработки почвы / The method of tillage	Тайфун / Typhoon			Сигнал / Signal		
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Вспашка на глубину 25-27 см (контроль) / Plowing to a depth of 25-27 cm (control)	13,6	11,3	15,0	13,0	10,9	14,6
Плоскорезная обработка на глубину 25-27 см + Харнес / Surface cutting processing to a depth of 25-27 cm + Harness	13,9	11,6	15,6	13,1	11,5	15,2
Безотвальная обработка (чизельная) на глубину 34-35 см + Харнес / No-till cultivation (chisel) to a depth of 34-35 cm + Harness	14,5	12,0	16,5	14,9	11,8	15,6
НСР ₀₅ , ц/га / HSR ₀₅ , c/ha	0,33	0,27	0,35	0,40	0,26	0,36

Наибольшая урожайность во все годы проведения опытов была получена на варианте безотвальной обработки почвы (чизельной) с внесением почвенного гербицида Харнес в дозе 2,0 л/га. В крайне засушливом 2020 году на всех вариантах опыта урожайность была минимальной на уровне 11,3-12,0 ц/га.

Из изучаемых гибридов более продуктивным оказался среднеспелый гибрид Тайфун. Дисперсионный анализ показал достоверность полученных опытных данных по урожайности возделываемых гибридов.

Самая низкая себестоимость 1 тонны маслосемян была получена при возделывании гибрида Тайфун и составила 7137 руб. а условно чистый доход на варианте безотвальной обработки (чизельной) почвы на глубину 34-35 см составил 4470 руб./га. Рентабельность возделывания гибрида Тайфун была также наибольшей на варианте с безотвальной обработки и сплошного внесения внутрипочвенного гербицида Харнес, составив – 34,8 %.

Выводы. Безотвальные способы обработки почвы, как плоскорезная, так и чизельная, по сравнению с отвальной, не приводят к существенному уплотнению пахотного горизонта южного чернозёма выше биологического оптимума ($1,30 \text{ т/м}^3$) и нарушению аэрации. Так, плотность сложения почвы по вспашке на глубину 25-27 см составила в среднем $1,26 \text{ г/см}^3$, по плоскорезной обработке на эту же глубину – 1,29 и по глубокому чизельному рыхлению $1,28 \text{ г/см}^3$. Минимальная разница между изучаемыми вариантами была и по значениям общей пористости почвы.

Установлено, что запасы влаги, накопленные в осенне-зимний и ранневесенний периоды, имеют решающее значение в формировании урожая подсолнечника. В структуре суммарного водопотребления на уровне 192,8-211,5 мм, на долю почвенных влагозапасов приходится 68,3-71,1 %, а на осадки летнего периода 28,9-31,7 %. При возделывании подсолнечника весьма серьезной проблемой является борьба с сорной растительностью. Наибольшее количество сорняков наблюдалось весной на варианте со вспашкой, а в период уборки урожая на варианте с плоскорезной обработкой и наименьшее на варианте с глубокой чизельной обработкой.

Глубокое рыхление почвы чизелем со стрельчатой лапой вместе с внесением гербицида позволяет хорошо подрезать корневую систему таких злостных корнеотпрысковых сорняков, как осот полевой, бодяк и вьюнок.

Урожайность маслосемян подсолнечника в годы проведения опытов была неодинаковой в зависимости от погодных условий и изучаемых вариантов гибридов.

Агроклиматические и почвенные ресурсы южных чернозёмов Калмыкии в зависимости от комплексного воздействия разных способов обработки почвы и применения гербицида Харнес позволяют гарантированно получать 15-16 ц/га маслосемян с высоким экономическим эффектом.

Полученные результаты исследований доказывают только экономическую эффективность возделывания подсолнечника при использовании безотвального способа обработки почвы. В перспективе необходимо разработать методы комплексной оценки эффективности технологических процессов и технологий возделывания сельскохозяйственных культур в аридных условиях земледелия Республики Калмыкия с учетом экономических, энергетических, экологических критериев и критериев качества производимой продукции.

Conclusions. No-till tillage, whether subsurface or chisel, compared to moldboard tillage, does not significantly compact the arable horizon of southern chernozem beyond the biological optimum (1.30 t/m^3) or disrupt aeration. Thus, soil bulk density after plowing to a depth of 25-27 cm averaged 1.26 g/cm^3 , after subsurface tillage to the same depth, 1.29 g/cm^3 , and after deep chisel loosening, 1.28 g/cm^3 . Differences in total soil porosity between the studied variants were also minimal.

It was established that moisture reserves accumulated during the autumn-winter and early spring periods play a decisive role in sunflower yield formation. With a total water consumption of 192.8-211.5 mm, soil moisture reserves account for 68.3-71.1 %, while summer precipitation accounts for 28.9-31.7 %. Weed control is an important task in sunflower cultivation. The highest weed numbers were observed in the spring during plowing, and during harvesting during no-tillage, while the lowest were observed with deep chisel tillage.

Deep soil loosening with a chisel cultivator and the application of herbicides effectively suppress the root system of persistent root-suckering weeds, such as sow thistle, thistle, and bindweed.

Oilseed sunflower yields varied across the experimental years depending on weather conditions and the hybrid varieties studied. The agro climatic and soil resources of Kalmykia's southern chernozem soils, depending on the combined effects of various tillage methods and the use of Harness herbicide, guarantee oilseed yields of 15-16 quintals per hectare, with a high economic impact.

Research results demonstrate the economic efficiency of sunflower cultivation using no-till technology alone. Future work requires the development of comprehensive assessment methods for the effectiveness of technological processes and crop cultivation technologies in the arid agricultural conditions of the Republic of Kalmykia, taking into account economic, energy, environmental, and quality criteria.

Библиографический список

1. Черезов Р. Н., Устарханова Э. Г., Бушнев А. С. Влияние обработки почвы и способов посева на урожайность сои на черноземе обыкновенном Западного Предкавказья. *Агронаука*. 2023. Т. 1. № 2. С. 11-16.
2. Магомедова Н. Ф. и др. Влияние способов основной обработки почвы на урожайность сортов чечевицы. *Проблемы развития АПК региона*. 2023. № 3 (55). С. 65-68.
3. Гаджиев А. А., Мусаев М. Р., Абдулнатипов М. Г. Влияние способов основной обработки почвы и регуляторов роста на фотосинтетическую деятельность и урожайность озимой пшеницы. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2024. № 2 (77). С. 99-103.
4. Фисунов Н. В., Шулепова О. В. Влияние разных способов основной обработки почвы на урожайность однолетних трав в условиях лесостепной зоны Зауралья. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2021. № 2 (65). С. 26-29.
5. Семенихина Ю. А., Камбулов С. И. Влияние способов основной обработки почвы на влаготемпературный режим почвы и урожайность озимой пшеницы. *Мелиорация и гидротехника*. 2021. Т. 11. № 3. С. 182-193.
6. Чурзин В. Н., Дубовченко А. О. Влияние способов основной обработки почвы на водно-физические свойства чернозема южного и урожайность гибридов подсолнечника. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2020. № 3 (59). С. 181-189.
7. Малышева Е. В. Влияние способов основной обработки почвы на засоренность и урожайность посевов кукурузы. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2021. № 3. С. 21-26.
8. Васильев И. В., Дерябин С. Н., Бакаева Ю. Н. Приёмы основной обработки почвы под нут в степной зоне Южного Урала. *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2021. № 2 (58). С. 9-14.
9. Жидков В. М., Гришичкин А. Н. Способы основной обработки почвы и эффективность применения гербицидов при выращивании подсолнечника. *Аграрная наука*. 2011. № 6. С. 20-21.
10. Плескачев Ю. Н., Семина Н. И., Долгов Е. Ю. Технологические приемы возделывания подсолнечника в Черноземной зоне Волгоградской области. *Научная жизнь*. 2018. № 12. С. 14-18.
11. Плескачев Ю. Н., Семина Н. И., Антонникова С. Е. Инновационные подходы при возделывании подсолнечника. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2013. № 4 (32). С. 36-41.
12. Gray R. S., Taylor J. S., Brown W. J. Economic factors contributing to the adoption of reduced tillage technologies in central Saskatchewan. *Canada J. Plant*. 1996. V. 76. № 4. Pp. 661-668.
13. Добринов А. В., Джаббаров Н. И., Сухопаров А. И. Показатели оценки эффективности и экологической безопасности технологий и технических средств производства продукции растениеводства. *АгроЭкоИнженерия*. 2022. № 3 (112). С. 39-50.
14. Джаббаров Н. И., Добринов А. В., Федькин Д. С. Агроэкологические принципы формирования зональной системы обработки почвы. *Региональная экология*. 2015. № 5 (40). С. 23-27.

References

1. Cherezov R. N., Ustarkhanova E. G., Bushnev A. S. The effect of tillage and sowing methods on soybean yields on common black soil of the Western Ciscaucasia. *Agricultural science*. 2023. Vol. 1. No. 2. Pp. 11-16.
2. Magomedova N. F. et al. The influence of basic tillage methods on the yield of lentil varieties. *Problems of agro-industrial complex development in the region*. 2023. No. 3 (55). Pp. 65-68.
3. Gadzhiev A. A., Musaev M. R., Abdunatipov M. G. Influence of basic tillage methods and growth regulators on photosynthetic activity and yield of winter wheat. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2024. No. 2 (77). Pp. 99-103.
4. Fisunov N. V., Shulepova O. V. The influence of different methods of basic tillage on the yield of annual grasses in the conditions of the forest-steppe zone of the Trans-Urals. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2021. No. 2 (65). Pp. 26-29.
5. Semenikhina Yu. A., Kambulov S. I. Influence of basic tillage methods on soil moisture and temperature regime and yield of winter wheat. *Land reclamation and hydraulic engineering*. 2021. V. 11. No. 3. Pp. 182-193.
6. Churzin V. N., Dubovchenko A. O. The influence of basic tillage methods on the water-physical properties of southern chernozem and the yield of sunflower hybrids. *Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education*. 2020. No. 3 (59). Pp. 181-189.
7. Malysheva E. V. The influence of basic tillage methods on the contamination and yield of corn crops. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2021. No. 3. Pp. 21-26.
8. Vasiliev I. V., Deryabin S. N., Bakaeva Yu. N. Methods of basic tillage for chickpeas in the steppe zone of the Southern Urals. *Bulletin of the Bashkir State Agrarian University*. 2021. No. 2 (58). Pp. 9-14.
9. Zhidkov V. M., Grishichkin A. N. Methods of basic tillage and the effectiveness of herbicides in sunflower cultivation. *Agricultural science*. 2011. No. 6. Pp. 20-21.
10. Pleskachev Yu. N., Semina N. I., Dolgov E. Yu. Technological methods of sunflower cultivation in the Chernozem zone of the Volgograd region. *Scientific life*. 2018. No. 12. Pp. 14-18.
11. Pleskachev Yu. N., Semina N. I., Antonikova S. E. Innovative approaches in sunflower cultivation. *Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education*. 2013. No. 4 (32). Pp. 36-41.
12. Gray R. S., Taylor J. S., Brown W. J. Economic factors contributing to the adoption of reduced tillage technologies in central Saskatchewan. *Canada J. Plant*. 1996. V. 76. № 4. Pp. 661-668.
13. Dobrinov A. V., Jabbarov N. I., Sukhoparov A. I. Indicators for evaluating the effectiveness and environmental safety of technologies and technical means of crop production. *Agro-eco-engineering*. 2022. No. 3 (112). Pp. 39-50.
14. Jabbarov N. I., Dobrinov A. V., Fedkin D. S. Agroecological principles of the formation of a zonal tillage system. *Regional Ecology*. 2015. No. 5 (40). Pp. 23-27.

Информация об авторах

Оконов Мутул Максимович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), e-mail: Okonov.51@mail.ru

Плескачев Юрий Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, Федеральный исследовательский центр «Немчиновка» (Российская Федерация, Московская область, Одинцовский городской округ, р.п. Новоивановское, ул. Агрохимиков, 6), ORCID: 0000-0001-5771-5021, e-mail: pleskachiov@yandex.ru

Эвиев Валерий Андреевич, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), RSCI: SPIN code: 9621-2145, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0329-2013>, e-mail: aviev@yandex.ru

Джаббаров Нозим Исмоилович, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Российская Федерация, 196634, г. Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Филитровское шоссе, 3), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8910-2625>, Researcher ID: A-7780-2019, e-mail: nozimjon-59@mail.ru

Курепина Наталья Леонидовна, доктор экономических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), RSCI: SPIN code: 3025-4351, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9337-3903>, e-mail: kurepinanl@mail.ru

Фомин Сергей Денисович, доктор технических наук, профессор, заведующий Центром наукометрического анализа и международных систем индексирования, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

Authors' Information

Okonov Mutul Maksimovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Department of Agronomy, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, Kalmykia, Elista, Pushkin Street, 11), e-mail: Okonov.51@mail.ru

Pleskachev Yuri Nikolaevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Russian Academy of Sciences, Federal Research Center "Nemchinovka" (Russian Federation, Moscow Region, Odintsovsky Urban District, Novoivanovskoye Settlement, Agrokhimikov Street, 6), ORCID: 0000-0001-5771-5021, e-mail: pleskachiov@yandex.ru

Eviev Valery Andreevich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, Kalmykia, Elista, Pushkin Street, 11), RSCI: SPIN code: 9621-2145, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0329-2013>, e-mail: aviev@yandex.ru

Dzhabborov Nozim Ismoilovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Leading Researcher, Institute of Agro-engineering and Environmental Problems of Agricultural Production – the branch of the Federal Scientific Center for VIM (Russian Federation, 196634, St. Petersburg, Tyarlevo, Filtrovskoe Shosse, 3), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8910-2625>, Researcher ID: A-7780-2019, e-mail: nozimjon-59@mail.ru

Kurepina Natalia Leonidovna, Doctor of Economics, Professor of the Department, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, Kalmykia, Elista, Pushkin Street, 11), RSCI: SPIN code: 3025-4351, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9337-3903>, e-mail: kurepinanl@mail.ru

Fomin Sergey Denisovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Center for Scientometric Analysis and International Indexing Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-55

THE ESTIMATION OF FUEL CONSUMPTION BY THE TRACTOR TRANSPORT UNITS HAULING THE ROLLS OF HAY

¹Ryadnov A. I., ¹Fedorov A.V., ²Byshov D. N.

¹Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

²Ryazan State Agrotechnological University Named after P. A. Kostychev
Ryazan, Russian Federation

Corresponding author E-mail: alex.rjadnov@mail.ru

Received 21.10.2025

Submitted 22.11.2025

Summary

Reducing fuel consumption by vehicles is a pressing issue for agricultural enterprises in the Russian Federation. Fuel consumption during agricultural cargo transportation can be reduced by using automated vehicles, which allow for loading without the need for additional technical equipment. Using the developed loading and unloading machine for transporting hay bales from the field significantly reduces fuel consumption compared to conventional tractor-driven vehicles.

Abstract

Introduction. In recent years, farms in the Russian Federation have seen an increase in the transportation of harvested agricultural crops to storage, processing, or sales sites, fertilizers and pesticides during preparation for or during sowing, and other agricultural cargo. This has necessitated the need to improve vehicle efficiency, including by reducing fuel consumption. Addressing this issue is also important for tractor-based transport units, which are widely used for intra-farm and intra-farm transportation. Selecting a tractor-based transport unit based on minimal fuel consumption from a range of existing and developed agricultural units is currently relevant. **Object.** The objects of this study are a tractor transport unit consisting of an MTZ-82.1 tractor and a 2PTS-4.5 tractor trailer, an MTZ-82.1 loading unit with a PKU-0.8 loader, and a tractor transport unit consisting of an MTZ-82.1 tractor and a PTRM-2 loading and transport unloading machine.

The purpose of the work is to provide a comparative assessment of fuel consumption by serial technical means and the developed automated loading and transport unloading machine for harvesting hay bales.

Materials and methods. The fuel consumption of units during loading hay bales into tractor trailers and transporting them by tractor transport units was estimated using a piston flow meter. The primary method

for determining the time spent on process operations that consume fuel during hay bales harvesting was continuous unit usage timekeeping. **Results and discussion.** According to the research results, it was established that with the increase in the load of the MTZ-82.1+2PTS-4.5 tractor transport unit from 4 to 7 bales of hay, fuel consumption increases only by 3.5 %, and the fuel consumption spent on delivering one bale of hay to the storage speed is reduced by 11.3 %; When using the PTRM-2 disposable loading and transport machine in combination with the MTZ-82.1 tractor, fuel consumption decreases compared to the fuel consumption of the MTZ-82.1+2PTS-4.5 tractor transport units loaded with 4 and 7 bales of hay by 27.7 % and 30.1 %, respectively, and fuel consumption, when delivering one bale of hay at the present time, is reduced by 27.7 % and 30.1 %. 53.6 % and 47.6 %. **Conclusions.** Comparison of the fuel consumption cost of harvesting bales with serial technical means and the developed two-tier loading and transport unloading machine, which provides automatic gripping of bales in the field and feeding them to the platform, as well as a lifting mechanism for lifting the base platform from the lower box to the upper part when filling it with hay bales on the spare tier and lowering it for unloading hay bales, showed a significant effect on fuel savings when using the loading and transport unloading machine.

Keywords: fuel consumption, tractor transport units, loading of hay rolls, loading and unloading units, fuel consumption efficiency.

Citation. Ryadnov A. I., Fedorov A. V. Byshov D. N. The estimation of fuel consumption by the tractor transport units hauling the rolls of hay. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 523-532 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-55.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.171:656.137

ОЦЕНКА РАСХОДА ТОПЛИВА ТРАКТОРНЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ АГРЕГАТАМИ НА ПЕРЕВОЗКЕ РУЛОНОВ СЕНА

¹Ряднов А. И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹Федоров А. В., аспирант

²Бышов Д. Н., доктор технических наук, доцент

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

²Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева

г. Рязань, Российская Федерация

Актуальность. В последние годы в хозяйствах Российской Федерации увеличились объемы транспортировки выращенного урожая сельскохозяйственных культур к местам складирования, переработки или реализации, удобрений и ядохимикатов при подготовке к севу сельскохозяйственных культур или во время их сева, а также других грузов сельскохозяйственного назначения, что повлияло на необходимость повышения эффективности использования транспортных средств, в том числе и за счет снижения расхода топлива транспортными средствами. Решение этой проблемы важно и для тракторных транспортных агрегатов, широко используемых на внутриусадебных и внутрихозяйственных перевозках. Выбор тракторного транспортного агрегата по минимуму расхода топлива из ряда применяемых в сельскохозяйственных предприятиях и разработанных актуально в настоящее время. **Объект.** Объектами исследований являются тракторный транспортный агрегат в составе трактора МТЗ-82.1 и тракторного прицепа 2ПТС-4,5, погрузочный агрегат МТЗ-82.1 с погрузчиком ПКУ-0,8 и тракторный транспортный агрегат, в состав которого входили трактор МТЗ-82.1 и погрузочно-транспортная разгрузочная машина ПТРМ-2. **Цель работы** – дать сравнительную оценку расхода топлива серийными техническими средствами и разработанной автоматизированной погрузочно-транспортной разгрузочной машиной на уборке рулонов сена.

Материалы и методы. Оценка расхода топлива агрегатами при погрузке рулонов сена в тракторные прицепы, их транспортировке тракторными транспортными агрегатами осуществлялась с помощью поршневого расходомера. Основным способом определения затрат времени на технологические операции, на которых расходуется топливо при уборке с поля рулонов сена, являлся сплошной хронометраж использования агрегатов. **Результаты и выводы.** По результатам исследований установлено, что при увеличении загрузки тракторного транспортного агрегата МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 с 4 до 7 рулонов сена расход топлива увеличился только на 3,5 %, а расход топлива, приходящийся на доставку одного рулона сена к месту хранения, снизился на 11,3 %. Использование погрузочно-транспортной разгрузочной машины ПТРМ-2 в составе с трактором МТЗ-82.1 позволило снизить расход топлива по сравнению с расходом топлива тракторными транспортными агрегатами МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 с загрузкой 4 и 7 рулонами сена соответственно на 27,7 % и 30,1 %, а расход топлива, приходящийся на доставку одного рулона сена к месту хранения, снизился соответ-

ственно на 53,6 % и 47,6 %. Сравнительная оценка расхода топлива на уборке рулонов сена серийными техническими средствами и разработанной двухъярусной погрузочно-транспортной разгрузочной машиной, обеспечивающей автоматическое управление устройством захвата рулонов на поле и подачи их на платформу, а также грузоподъемным механизмом подъема дополнительной платформы из нижнего яруса в верхний при ее заполнении рулонами сена на нижнем ярусе и ее опускания для выгрузки рулонов сена, показала существенный эффект по экономии топлива при использовании погрузочно-транспортной разгрузочной машины.

Ключевые слова: *расход топлива, тракторные транспортные агрегаты, погрузка рулонов сена, погрузочно-разгрузочные агрегаты, эффективность расхода топлива.*

Цитирование. Ряднов А. И., Федоров А. В., Бышов Д. Н. Оценка расхода топлива тракторными транспортными агрегатами на перевозке рулонов сена. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 523-532. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-55.

Авторский вклад: Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. На рост урожайности большинства сельскохозяйственных культур в хозяйствах Российской Федерации оказали существенное влияние использование районированных высокоурожайных сортов и гибридов, высококачественных минеральных удобрений и средств защиты растений от возможных вредителей и болезней, применение современных технологий возделывания и уборки сельскохозяйственных культур с соблюдением агротехнических требований на выполнение технологических операций и ряд других факторов.

Увеличивающиеся объемы транспортировки выращенного урожая сельскохозяйственных культур к местам складирования или переработки, удобрений и ядохимикатов при подготовке к севу или во время сева, а также других грузов сельскохозяйственного назначения безусловно повлияли на рост грузооборота, увеличение трудоемкости работ, рост расхода топлива, смазочных материалов и других технических жидкостей, затрат финансовых средств и на необходимость повышения эффективности использования транспортных средств.

В настоящее время на транспортировке сельскохозяйственных грузов применяются грузовые автомобили многих марок, например, КАМАЗ 45144, ГАЗ-САЗ-3507/35071, «УРАЛ», Балт «Гранд – Полевик» на шасси автомобиля КАМАЗ 53228, ГАЗ-3302 «Газель» и другие, а также полуприцепы, например, Тонар-95235. На внутриусадебных и внутрихозяйственных перевозках широко используются тракторные транспортные агрегаты. Такие агрегаты в агропромышленном комплексе Российской Федерации осуществляют перевозку до 60 % объема внутрихозяйственных перевозок грузов [1, 2]. При этом существенная доля внутриусадебных и внутрихозяйственных перевозок приходится на транспортировку кормов для крупного рогатого скота в виде сена, спрессованного в рулоны. Однако следует отметить, что тракторные транспортные агрегаты по сравнению с автомобильным транспортом имеют более низкую производительность [3] и существенный расход топливно-смазочных материалов [4]. Так, по данным работы [5] расход топлива транспортировки рулонов сена на внутриусадебных перевозках составил для МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 25 л/100 км, ГАЗ-3302 «Газель» – 16,4 л/100 км и ГАЗ-САЗ-3507/35071 – 20,2 л/100 км.

Для применяемых в настоящее время тракторных транспортных агрегатов на транспортировке рулонов сена, например, МТЗ-82.1+2ПТС-4,5, требуются технические средства для погрузки рулонов сена в прицеп, что приводит к росту, в частности, расхода топливно-смазочных материалов техническими средствами, участвующими в выполнении технологических операций. Модернизация применяемых технологий, технических средств или разработка новых должны осуществляться на основе научных исследований по обоснованию наиболее эффективных решений [6]. Так, повышение эффективности уборки рулонов сена с поля возможно за счет использования специализированных средств, которые позволяют подбирать рулоны сена с поля, осуществлять их погрузку на платформу, транспортировать и выгружать на месте складирования [7]. Одно такое специализированное средство – погрузочно-транспортная разгрузочная машина ПТРМ-1 разработана в Волгоградском ГАУ (патент РФ на изобретение № 2728961), которая затем была усовершенствована путем включения в конструкцию дополнительной платформы (патент РФ на изобретение № 2747569). Это позволило загружать рулоны сена в два яруса и тем самым повысить

степень использования грузоподъемности транспортного средства и его сменную производительность. Однако оба варианта погрузочно-транспортной разгрузочной машины требовали ручного управления как устройством захвата рулонов и подачи их на платформу, так и грузоподъемным механизмом подъема дополнительной платформы из нижнего яруса в верхний (при ее заполнении рулонами сена на нижнем ярусе) и ее опускания для выгрузки рулонов сена, что на современном этапе развития техники не актуально. Учитывая то, что автоматизация процессов управления системами и механизмами сельскохозяйственной техники является важнейшим фактором повышения эффективности ее использования [8, 9, 10], двухъярусная погрузочно-транспортная разгрузочная машина была автоматизирована (патент РФ на изобретение № 2833277).

Испытания автоматизированной двухъярусной погрузочно-транспортной разгрузочной машины ПТРМ-2 по оценке важнейшего частного показателя эффективности ее использования – расхода топлива проведены в реальных условиях сельскохозяйственного производства.

Цель настоящей работы – дать сравнительную оценку расхода топлива серийными техническими средствами и разработанной автоматизированной погрузочно-транспортной разгрузочной машиной на уборке рулонов сена.

Материалы и методы. Объектами исследования являлись серийные технические средства: тракторный транспортный агрегат в составе трактора МТЗ-82.1 и тракторного прицепа 2ПТС-4,5 (рисунок 1а), погрузочный агрегат МТЗ-82.1 с погрузчиком ПКУ-0,8 (рисунок 1б), а также тракторный транспортный агрегат, в состав которого входили трактор МТЗ-82.1 и погрузочно-транспортная разгрузочная машина ПТРМ-2 (рисунок 1в).



а)



б)



в)

Рисунок 1 – Фотографии тракторных транспортных агрегатов:
а) МТЗ-82.1+2ПТС-4,5; б) МТЗ-82.1+ ПКУ-0,8; в) МТЗ-82.1+ ПТРМ-2
Figure 1 – Photographs of tractor transport units:
а) MTZ-82.1+2PTS-4.5; б) MTZ-82.1+PKU-0.8; в) MTZ-82.1+PTRM-2

Отметим, что рулоны сена на тракторный прицеп 2ПТС-4,5 загружались погрузчиком ПКУ-0,8, который был оборудован вилами, а ПТРМ-2 – без применения дополнительных технических средств с автоматическим управлением захвата рулонов сена, их подъемом и погрузкой на платформы, подъемом и опусканием платформы верхнего яруса соответственно после ее загрузки и разгрузки рулонами сена.

Определение расхода топлива тракторами транспортных и погрузочного агрегатов осуществлялось разработанным поршневым расходомером (патент РФ № 2639732), который, как показали испытания, позволяет измерять расход топлива на всех режимах работы двигателя внутреннего сгорания с высокой точностью [11]. Поршневой расходомер топлива монтировался на двигателе Д-243 между топливоподкачивающим насосом и фильтром грубой очистки топлива.

Исследования расхода топлива энергетическими средствами, участвующими в погрузке, транспортировке и разгрузке рулонов сена, проводились одновременно с выполнением сплошного хронометража их работы в ИП Алмазова П. К. Кумылженского района Волгоградской области в уборочные сезоны 2024 г. и 2025 г.

Рулоны сена были спрессованы пресс-подборщиком ПР-145.

Расход топлива трактором МТЗ-82.1 оценивался при загрузке тракторного прицепа 2ПТС-4,5 четырьмя и семью рулонами сена. Погрузочно-транспортная разгрузочная машина ПТРМ-2 загружалась 8 рулонами сена.

Среднестатистическая масса одного рулона сена равнялась 286 кг.

Расстояние от поля до места складирования рулонов в среднем равнялось 1,4 км. За одну смену агрегаты МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 с 4 рулонами, с 7 рулонами и МТЗ-82.1+ПТРМ-2 с 8 рулонами сена в среднем выполнили соответственно 9, 6 и 7 рейсов.

Обработка результатов исследований осуществлялась с использованием современных программных средств. Все этапы работы соответствовали действующим стандартам.

Результаты и обсуждение. В работе дается сравнение указанных выше тракторных транспортных агрегатов по их «суммарному расходу топлива G (л):

$$G = \sum_{k=1}^{k=l} g_{jk} t_{jk}, \quad (1)$$

где g_{jk} – часовой расход топлива на j -й технологической операции машиной k -й марки, л/ч; t_{jk} – продолжительность работы машины k -й маркой на j -й технологической операции, ч; $k = 1 \dots l$ – количество марок машин, шт.» [12].

Расход топлива тракторами МТЗ-82.1 с тракторным прицепом 2ПТС-4,5, погрузчиком ПКУ-0,8 и погрузочно-транспортной разгрузочной машиной ПТРМ-2 фиксировался за время переездов этих агрегатов от бригады до поля в начале смены и от поля до бригады в конце смены, от одного рулона до следующего при погрузке рулонов в транспортное средство, возможных переездов с одного поля на другое в течение смены и остановок, но при работающем двигателе; тракторами МТЗ-82.1 с тракторным прицепом 2ПТС-4,5 и ПТРМ-2 – дополнительно за время переездов от поля к месту выгрузки рулонов и назад и разгрузки; трактором МТЗ-82.1 с тракторным прицепом 2ПТС-4,5 – дополнительно за время остановок при загрузке прицепа рулонами сена.

Значения часового расхода топлива исследуемыми тракторными транспортными агрегатами на указанных выше технологических операциях по загрузке, транспортировке и выгрузке рулонов сена представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты оценки часового расхода топлива по технологическим операциям работы агрегатов

Table 1 – Results of the hourly fuel consumption assessment for technological operations of the units

Наименование технологической операции / Name of the technological operation	Состав агрегата / Composition of the unit			
	МТЗ-82.1 +ПКУ-0,8 / MTZ-82.1 +PKU-0.8	МТЗ-82.1 +2ПТС-4,5 с загрузкой 4 рулонов / MTZ-82.1 +2PTS-4.5 with loading capacity of 4 rolls	МТЗ-82.1 +2ПТС-4,5 с загрузкой 7 рулонов / MTZ-82.1 +2PTS-4.5 with loading capacity of 4 rolls	МТЗ-82.1 + ПТРМ-2 с загрузкой 8 рулонов/ MTZ-82.1 + PTRM-2 with loading capacity of 8 rolls
	Часовой расход топлива, л/ч / Hourly fuel consumption, l/h			
1	2	3	4	5
Переезд агрегата из бригады до поля в начале смены и от поля до бригады в конце смены / Transfer of the unit from the team to the field at the beginning of the shift and from the field to the team at the end of the shift	2,8	2,9	2,9	3,0

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
Переезд по полю при погрузке рулонов в транспортное средство / Moving across the field while loading bales into a vehicle	3,0	3,6	3,8	3,9
Загрузка транспортного средства рулонами сена на остановках / Loading a vehicle with hay bales at stops	4,2	2,2	2,2	-
Доставка рулонов сена к месту хранения / Delivery of hay bales to the storage location	-	6,4	6,7	6,9
Выгрузка рулонов сена из транспортного средства / Unloading hay bales from a vehicle	-	1,7	1,9	2,0
Возвращение агрегата на поле после выгрузки рулонов сена из транспортного средства / Returning the unit to the field after unloading hay bales from the vehicle	-	4,6	4,6	4,8

Результаты сплошного хронометража использования исследуемых тракторных транспортных средств МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 с загрузкой 4 и 7 рулонами и МТЗ-82.1+ПТРМ-2, необходимые для расчета расхода топлива представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты сплошного хронометража работы агрегатов в течение смены
Table 2 – Results of continuous timing of the units' operation during a shift

Составляющие времени смены / Components of shift time	Состав агрегата / Composition of the unit				
	МТЗ-82.1 +ПКУ-0,8 загрузка 4 рулонов / MTZ-82.1 +PKU-0.8 Loading 4 rolls	МТЗ-82.1 +ПКУ-0,8 загрузка 7 рулонов / MTZ-82.1 +PKU-0.8 Loading 7 rolls	МТЗ-82.1 +2ПТС-4,5 с загрузкой 4 рулонов / MTZ-82.1 +2PTS-4.5 with loading capacity of 4 rolls	МТЗ-82.1 +2ПТС-4,5 с загрузкой 7 рулонов / MTZ-82.1 +2PTS-4.5 with loading capacity of 7 rolls	МТЗ-82.1 + ПТРМ-2 с загрузкой 8 рулонов / MTZ-82.1 + PTRM-2 with loading capacity of 8 rolls
Время на переезды агрегатов от бригады до поля в начале смены и от поля до бригады в конце смены, ч / Time for moving units from the team to the field at the beginning of the shift and from the field to the team at the end of the shift, h	0,420		0,386	0,386	0,394
Время на переезды по полю при погрузке рулонов в транспортное средство, ч / Time spent traveling across the field when loading rolls into a vehicle, h	0,240	0,363	0,270	0,373	0,280
Время загрузки транспортных средств рулонами сена на остановках в течение смены, ч / Time of loading vehicles with hay bales at stops during a shift, h	1,601	1,868	1,152	1,344	-
Время доставки рулонов сена к месту хранения за смену, ч / Time of delivery of hay bales to the storage location per shift, h	-	-	2,518	2,486	2,452
Время выгрузки рулонов сена из транспортного средства за смену, ч / Time of unloading hay bales from a vehicle per shift, h	-	-	0,154	0,118	0,132
Время возвращение агрегата на поле после выгрузки рулонов сена из транспортного средства за смену, ч / Time required for the unit to return to the field after unloading hay bales from the vehicle per shift, h	-	-	2,145	1,824	1,896

Результаты экспериментальных исследований, представленные в таблице 1 и таблице 2, позволили рассчитать расход топлива исследуемых тракторных транспортных агрегатов и агрегата, который используется на погрузке рулонов сена на тракторные прицепы (таблица 3).

Таблица 3 – Результаты расчета расхода топлива агрегатами в течение смены

Table 3 – Results of calculation of fuel consumption by units during a shift

Наименование технологической операции / Name of the technological operation	Состав агрегата / Composition of the unit				
	MT3-82.1 +ПКУ-0,8 загрузка 4 рулонов / MTZ-82.1 +PKU-0.8 Loading 4 rolls	MT3-82.1 +ПКУ-0,8 загрузка 7 рулонов / MTZ-82.1 +PKU-0.8 Loading 7 rolls	MT3-82.1 +2ПТС-4,5 с загрузкой 4 рулонов / MTZ-82.1 +2PTS-4.5 with loading capacity of 4 rolls	MT3-82.1 +2ПТС-4,5 с загрузкой 7 рулонов / MTZ-82.1 +2PTS-4.5 with loading capacity of 7 rolls	MT3-82.1 + ПТРМ-2 с загрузкой 8 рулонов/ MTZ-82.1 + PTRM-2 with loading capacity of 8 rolls
Переезд агрегата из бригады до поля в начале смены и от поля до бригады в конце смены / Transfer of the unit from the team to the field at the beginning of the shift and from the field to the team at the end of the shift	1,176		1,119	1,119	1,182
Переезд по полю при погрузке рулонов в транспортное средство / Moving across the field while loading bales into a vehicle	0,72	1,089	0,972	1,417	1,092
Загрузка транспортного средства рулонами сена на остановках / Loading a vehicle with hay bales at stops	6,724	7,846	2,534	2,957	-
Доставка рулонов сена к месту хранения / Delivery of hay bales to the storage location	-		16,115	16,656	16,919
Выгрузка рулонов сена из транспортного средства / Unloading hay bales from a vehicle	-		0,262	0,224	0,264
Возвращение агрегата на поле после выгрузки рулонов сена из транспортного средства / Returning the unit to the field after unloading hay bales from the vehicle	-		9,867	8,390	9,101

Полученные результаты позволили определить расход топлива исследуемыми тракторными транспортными и погрузочными агрегатами за смену и построить гистограммы суммарного расхода топлива агрегатами за смену (рисунок 2) и расхода топлива агрегатами, приходящегося на доставку одного рулона сена к месту хранения (рисунок 3).

Результаты исследований, представленные на рис. 2 и рис. 3, показывают:

– при увеличении загрузки тракторного транспортного агрегата MT3-82.1+2ПТС-4,5 с 4 до 7 рулонов сена расход топлива увеличился только на 3,5 %, а расход топлива, приходящийся на доставку одного рулона сена к месту хранения, снизился на 11,3 %;

– использование погрузочно-транспортной разгрузочной машины ПТРМ-2 в составе с трактором MT3-82.1 позволило снизить расход топлива по сравнению с расходом топлива тракторными транспортными агрегатами MT3-82.1+2ПТС-4,5 с загрузкой 4 и 7 рулонами сена соответственно на 27,7 % и 30,1 %, а расход топлива, приходящийся на доставку одного рулона сена к месту хранения, снизился соответственно на 53,6 % и 47,6 %.

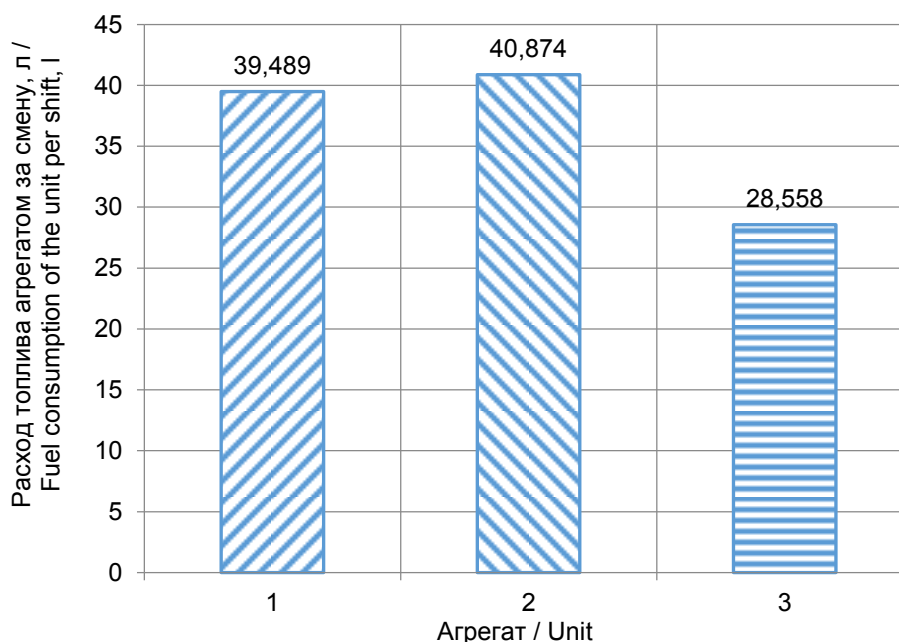


Рисунок 2 – Суммарный расход топлива агрегатом за смену
1 – МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 (загрузка 4 рулонов) / МТЗ-82.1+ПКУ-0,8;
2 – МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 (загрузка 7 рулонов) / МТЗ-82.1+ПКУ-0,8; 3 – МТЗ-82.1+ ПТРМ-2
Figure 2 – Total fuel consumption per unit per shift
1 – MTZ-82.1+2PTS-4.5 (loading 4 rolls) / MTZ-82.1+PKU-0.8;
2 – MTZ-82.1+2PTS-4.5 (loading 7 rolls) / MTZ-82.1+PKU-0.8; 3 – MTZ-82.1+PTRM-2

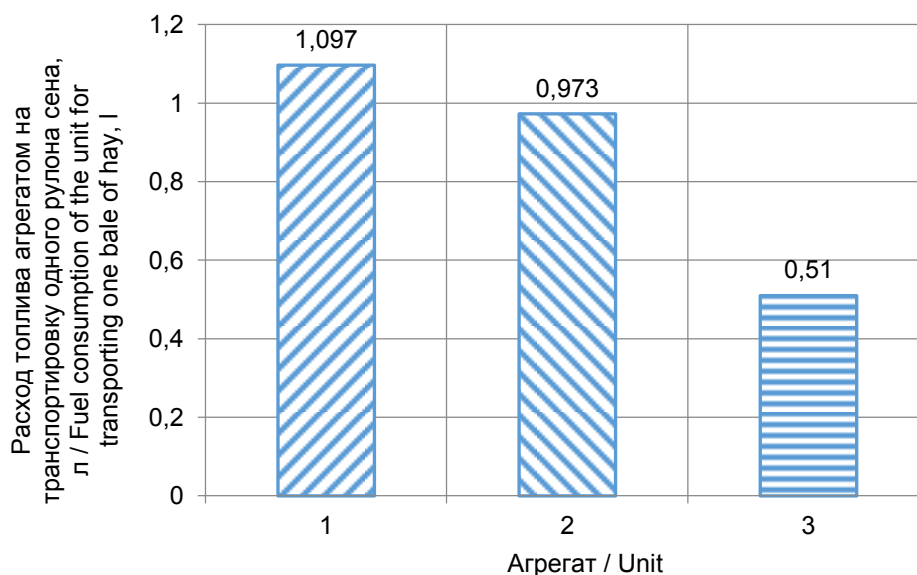


Рисунок 3 – Расход топлива агрегатом на транспортировку одного рулона сена
1 – МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 (загрузка 4 рулонов) / МТЗ-82.1+ПКУ-0,8;
2 – МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 (загрузка 7 рулонов) / МТЗ-82.1+ПКУ-0,8; 3 – МТЗ-82.1+ ПТРМ-2
Figure 3 – Fuel consumption of the unit for transporting one bale of hay
1 – MTZ-82.1+2PTS-4.5 (loading 4 rolls) / MTZ-82.1+PKU-0.8;
2 – MTZ-82.1+2PTS-4.5 (loading 7 rolls) / MTZ-82.1+PKU-0.8; 3 – MTZ-82.1+PTRM-2

Заклучение. Сравнительная оценка расхода топлива на уборке рулонов сена серийными техническими средствами и разработанной двухъярусной погрузочно-транспортной разгрузочной машиной, обеспечивающей автоматическое управление устройством захвата рулонов на поле и подачи их на платформу, а также грузоподъемным механизмом подъема допол-

нительной платформы из нижнего яруса в верхний при ее заполнении рулонами сена на нижнем ярусе и ее опускания для выгрузки рулонов сена, показала существенный эффект по экономии топлива при использовании погрузочно-транспортной разгрузочной машины.

Conclusion. A comparative assessment of fuel consumption for harvesting hay bales using commercially available equipment and a newly developed two-tier loading and unloading machine. This machine automatically controls the bale gripper in the field and feeds the bales onto the platform, as well as the lifting mechanism for raising the additional platform from the lower tier to the upper tier when filling it with hay bales on the lower tier and lowering it for unloading the bales. This study demonstrated significant fuel savings when using a loading and unloading machine.

Библиографический список

1. Бышов Н. В., Ряднов А. И. Методика комплексной оценки эффективности использования транспорта в сельскохозяйственном производстве. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2019. № 1 (41). С. 104-108.
2. Зернов В. Н., Петухов С. Н., Пономарев А. Г. Кто решает, какие тракторы нужны сельхозпроизводителю? Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. Т. 22. № 1. С. 136-148.
3. Ряднов А. И., Руденко В. Н., Павловский Д. С., Федоров А. В. Результаты оценки производительности технических средств на уборке сельскохозяйственных культур. Известия НВ АУК. 2024. № 2 (74). С. 346-358.
4. Ряднов А. И., Фандеев С. Ю. Выбор высокоэффективной технологии уборки рулонов сена из суданской травы. Известия НВ АУК. 2022. № 1 (65). С. 370-380.
5. Ряднов А. И., Алмазов И. В., Федоров А. В. результаты исследований расхода топлива транспортными средствами на перевозках рулонов сена. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2020. Т. 13. № 4 (67). С. 115-121.
6. Морозов Н. М. Направления исследований по разработке прогноза развития техники и системы машин для механизации и автоматизации процессов в животноводстве. Техника и технологии в животноводстве. 2024. № 1. С. 111-121.
7. Новиков М. А., Павлов С. Б. Повышение эффективности перевозки рулонов льнотресты на примере ООО «Уторгошский льнозавод» Новгородской области. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2021. № 3 (64). С. 84-92.
8. Федоренко В. Ф. О технической модернизации сельского хозяйства. Техника и оборудование для села. 2021. № 5 (287). С. 2-6.
9. Чирков Е. П., Бабьяк М. А. Инновационные направления технологического и технического обновления кормопроизводства в России. Техника и технологии в животноводстве. 2022. № 3 (47). С. 36-41.
10. Чирков Е. П. Инновационные направления интенсификации кормопроизводства. Актуальные вопросы экономики и агробизнеса. Брянск, 2021. С. 180-185.
11. Ряднов А. И., Федорова О. А., Федоров А. В. Совершенствование конструкции поршневого расходомера топлива. Известия НВ АУК. 2019. № 4 (56). С. 255-262.
12. Федорова О. А., Фандеев С. Ю. К обоснованию комплексного критерия эффективности использования технических средств для уборки суданской травы. Вестник НГИЭИ. 2021. № 6 (121). С. 5-14.

References

1. Byshov N. V., Ryadnov A. I. Methodology for a comprehensive assessment of the efficiency of transport use in agricultural production. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2019. No. 1 (41). Pp. 104-108.
2. Zernov V. N., Petukhov S. N., Ponomarev A. G. Who decides what tractors an agricultural producer needs? Agrarian Science of the Euro-North-East. 2021. Vol. 22. No. 1. Pp. 136-148.
3. Ryadnov A. I., Rudenko V. N., Pavlovsky D. S., Fedorov A. V. Results of assessing the performance of technical equipment for harvesting agricultural crops. Proceedings of the LV AUC. 2024. No 2 (74). Pp. 346-358.
4. Ryadnov A. I., Fandeev S. Yu. Selection of a highly efficient technology for harvesting hay bales from Sudan grass. Proceedings of the LV AUC. 2022. No 1 (65). Pp. 370-380.
5. Ryadnov A. I., Almazov I. V., Fedorov A. V. Results of studies of fuel consumption by vehicles for transporting hay bales. Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2020. Vol. 13. No. 4 (67). Pp. 115-121.
6. Morozov N. M. Research areas for the development of a forecast for the development of equipment and a system of machines for the mechanization and automation of processes in animal husbandry. Equipment and technologies in animal husbandry. 2024. No. 1. Pp. 111-121.
7. Novikov M. A., Pavlov S. B. Improving the Efficiency of Transportation of Flax Rolls: The Case of Utorgosh Flax Mill LLC, Novgorod Region. Bulletin of the St. Petersburg State Agrarian University. 2021. No. 3 (64). Pp. 84-92.
8. Fedorenko V. F. On the Technical Modernization of Agriculture. Machinery and Equipment for Rural Areas. 2021. No. 5 (287). Pp. 2-6.
9. Chirkov E. P., Babiak M. A. Innovative Directions of Technological and Technical Modernization of Forage Production in Russia. Machinery and Technology in Animal Husbandry. 2022. No. 3 (47). Pp. 36-41.
10. Chirkov E. P. Innovative Directions for Intensification of Forage Production. Current Issues in Economics and Agribusiness. Bryansk, 2021. Pp. 180-185.
11. Ryadnov A. I., Fedorova O. A., Fedorov A. V. Improving the Design of a Piston Fuel Flow Meter. Izvestiya NV AUK. 2019. No 4 (56). Pp. 255-262.
12. Fedorova O. A., Fandeev S. Yu. To Justify a Comprehensive Criterion for the Efficiency of Using Technical Means for Harvesting Sudangrass. Bulletin of NGIEI. 2021. No. 6 (121). Pp. 5-14.

Информация об авторах

Ряднов Алексей Иванович, Заслуженный работник высшей школы РФ, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2364-4944>, e-mail: alex.rjadnov@mail.ru

Федоров Алексей Валерьевич, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6891-5459>, e-mail: alex.fedorow.97@mail.ru
Бышов Дмитрий Николаевич, доктор технических наук, доцент кафедры, Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: dmitry.byshov@yandex.ru.

Authors' Information

Ryadnov Aleksey Ivanovich, Honored Worker of Higher Education of the Russian Federation, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskii Ave., 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2364-4944>, e-mail: alex.ryadnov@mail.ru
Fedorov Aleksey Valerievich, graduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskii Ave., 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6891-5459>, e-mail: alex.fedorow.97@mail.ru
Byshov Dmitry Nikolaevich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev St., Bldg. 1), e-mail: dmitry.byshov@yandex.ru.

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-56

THE IMPROVING OF THE AGRICULTURAL MACHINERY CORROSION RESISTANCE

¹Fadeev I. V., ²Uspensky I. A., ³Fomin S. D., ²Yukhin I. A.,
²Byshov D. N., ⁴Egorov V. P., ²Kazarin A. S., ⁴Petrov S. R.

¹Chuvash State Pedagogical University named after I. Ya. Yakovlev
 Cheboksary, Russian Federation

²Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev
 Ryazan, Russian Federation

³Volgograd State Agrarian University
 Volgograd, Russian Federation

⁴Chuvash State Agrarian University
 Cheboksary, Russian Federation

Corresponding author E-mail: ivan-fadeev-2012@mail.ru

Received 01.11.2025

Submitted 12.01.2026

The work was carried out in accordance with the research plan of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education for 2021-2025 on the topic "Improvement of technologies, means of mechanization, electrification and technical service in agricultural production. Prospects for rural development".

Summary

The study examines the corrosion inhibition effectiveness of lithium, sodium, potassium, and ammonium pentaborophosphates on 65G steel used in agricultural machinery. The results demonstrate their high protective capacity in neutral chloride environments, confirming their suitability as additives in detergent-passivating compounds.

Abstract

Introduction. Corrosion damage to agricultural machinery results in significant economic losses, accounting for up to 15 % of total corrosion losses in the agricultural sector, necessitating the development of effective corrosion inhibitors. The study focuses on pentaboron phosphate compounds (lithium, sodium, potassium, and ammonium), and examines their effect on the resistance of grade 65G steel in corrosive environments. **Object.** The object of the study is pentaboron phosphate compounds (lithium, sodium, potassium, and ammonium), and the subject of the study is their effect on the corrosion resistance of 65G steel in a neutral, aggressive environment. **Materials and methods.** To analyze the behavior of grade 65G steel in a 3 % NaCl solution with pentaboron phosphate additives, the study utilized a combination of methods, including gravimetric, electrochemical, and corrosion-fatigue analysis. The wettability and detergency of the compositions were also assessed using the contact angle method. **Results and conclusion.** It was found that pentaboron phosphates exhibit pronounced inhibitory properties, reducing the rate of steel corrosion by up to 95 % at a concentration of 8 % by weight, with sodium pentaboron phosphate proving the most effective. These data allow these compounds to be recommended for use in cleaning and passivating solutions used to preserve agricultural equipment and prevent corrosion during off-season storage.

Keywords: off-season storage of agricultural machinery, corrosion damage to machinery, conservation of machinery, pentaborophosphates, inhibitors.

Citation. Fadeev I. V., Uspensky I. A., Fomin S. D., Yukhin I. A., Byshov D. N., Egorov V. P., Kazarin A. S., Petrov S. R. The improving of the agricultural machinery corrosion resistance. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 532-540 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-56.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.3:620.197

ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

¹Фадеев И. В., доктор технических наук, профессор
²Успенский И. А., доктор технических наук, профессор
³Фомин С. Д., доктор технических наук, профессор
²Юхин И. А., доктор технических наук, профессор
²Бышов Д. Н., доктор технических наук, доцент
⁴Егоров В. П., кандидат технических наук, доцент
⁵Казарин А. С., аспирант
⁴Петров С. Р., магистрант

¹ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева»
г. Чебоксары, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева»
г. Рязань, Российская Федерация

³ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

⁴ФГБОУ ВО «Чувашский государственный аграрный университет»
г. Чебоксары, Российская Федерация

Работа выполнена в соответствии с планом НИР ФГБОУ ВО РГАУ на 2021-2025 годы по теме «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве. Перспективы развития сельских территорий».

Актуальность. Коррозионные повреждения сельскохозяйственной техники приводят к значительным экономическим потерям, составляющим до 15 % от общих потерь от коррозии в АПК, что обуславливает необходимость разработки эффективных ингибиторов коррозии. **Объект.** В качестве объекта исследования выступают пентаборфосфатные соединения (лития, натрия, калия и аммония), а предметом исследования является их влияние на стойкость стали 65Г в коррозионной среде. **Материалы и методы.** Для анализа поведения стали 65Г в 3 %-ном растворе NaCl с добавками пентаборфосфатов в исследовании был задействован комплекс методов, включающий гравиметрический, электрохимический и коррозионно-усталостный анализ. Также оценивалась смачиваемость и моющая способность составов методом краевого угла смачивания. **Результаты и выводы.** Установлено, что пентаборфосфаты проявляют выраженные ингибирующие свойства, снижая скорость коррозии стали до 95 % при концентрации 8 мас. %, причём наиболее эффективным оказался пентаборфосфат натрия. Полученные данные позволяют рекомендовать эти соединения для применения в моюще-пассивирующих растворах, используемых для консервации сельскохозяйственной техники и предотвращения её коррозии в период межсезонного хранения.

Ключевые слова: межсезонное хранение сельскохозяйственной техники, коррозионные повреждения техники, консервация техники, пентаборфосфаты, ингибиторы.

Цитирование. Фадеев И. В., Успенский И. А., Фомин С. Д., Юхин И. А., Бышов Д. Н., Егоров В. П., Казарин А. С., Петров С. Р. Повышение коррозионной стойкости сельскохозяйственной техники. *Известия НВ АУК. Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 532-540. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-56.

Авторский вклад. Все авторы, указанные в настоящей статье, принимали непосредственное участие в проведении исследований и обработке полученных данных. Все авторы ознакомлены с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Сельскохозяйственный комплекс страны характеризуется наличием значительного парка специализированной техники. Находясь на открытых площадках хранения и в процессе эксплуатации, машины подвергаются интенсивному коррозионному воздействию вследствие влияния атмосферных осадков, повышенной влажности, температурных колебаний, наличия коррозионно-агрессивных газов, солнечной радиации и технологических загрязнений [1, 2, 3].

Коррозионные процессы катализируют износ сопряженных узлов и деталей, снижают предел усталостной прочности материалов, что приводит к образованию трещин и разрушению металлоконструкций. Согласно данным исследований [4, 5] коррозионно-усталостные повреждения снижают эксплуатационную надежность и ресурс техники, повышают затраты на восстановительный ремонт и ликвидацию последствий коррозии, приводят к значительным экономическим потерям, составляющим до 15 % от общих потерь от коррозии в АПК, что обуславливает актуальность разработки высокоэффективных средств и методов защиты.

Перспективным направлением увеличения срока службы металлоемкого оборудования является применение ингибиторов коррозии [6, 7], получивших широкое распространение в мировой практике. Создание новых ингибиторных композиций и расширение их номенклатуры представляет существенную научную и практическую ценность. Особый интерес вызывают борфосфатные соединения, демонстрирующие высокий коэффициент ингибирования и полифункциональное действие в отношении различных видов коррозии [8, 9].

Цель исследования – оценить эффективность пентаборфосфатов лития, натрия, калия и аммония в качестве ингибиторов коррозии для повышения коррозионной стойкости стали 65Г, используемой в сельскохозяйственной технике.

Исследование направлено на оценку коррозионно-ингибирующей способности пентаборфосфатов щелочных металлов (Li, Na, K) и аммония с целью повышения долговечности сельскохозяйственных машин.

Материалы и методы. Для оценки ингибиторного потенциала пентаборфосфатных соединений (ПБФС): пентаборфосфата лития (ПБФЛ) брутто формулы $\text{LiB}_5\text{O}_8 \cdot 2\text{Li}_3\text{PO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, пентаборфосфата натрия (ПБФН) брутто формулы $\text{NaB}_5\text{O}_8 \cdot 2\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, пентаборфосфата калия (ПБФК) брутто формулы $\text{KB}_5\text{O}_8 \cdot 2\text{K}_3\text{PO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ и пентаборфосфата аммония (ПБФА) брутто-формулы $\text{NH}_4\text{B}_5\text{O}_8 \cdot 2(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ было изучено их влияние на стойкость стали 65Г в моделированной среде (3 %-ном растворе NaCl). Данная сталь была выбрана ввиду её распространённости в производстве рабочих органов сельскохозяйственных машин.

Методика синтеза и физико-химические свойства применяемых ПБФС были заимствованы из исследований [8, 10]. Индивидуальность пентаборфосфатов подтверждена кристаллооптическими исследованиями кристаллов иммерсионным методом на поляризационном микроскопе МИН-8. Показатели преломления N_D и N_P для ПБФЛ равны 1,684 и 1,642; ПБФН – 1,519 и 1,457; ПБФК – 1,597 и 1,556, ПБФА – 1,607 и 1,483 соответственно. Пикнометрическим методом в бензоле и толуоле определена плотность пентаборфосфатов, равная (в среднем): у ПБФЛ 1,681 г/см³, ПБФН – 1,690 г/см³, ПБФК – 1,722 г/см³, ПБФА – 1,468 г/см³.

Одним из основных требований к современным консервационным и антикоррозионным составам, применяемым для защиты сельскохозяйственной техники, является обеспечение высокой адгезионной способности [11, 12]. Важнейшим критерием, характеризующим смачивающую способность жидкости и, как следствие, ее адгезию к субстрату, выступает краевой угол смачивания (θ). В рамках экспериментальной работы краевой угол смачивания исследуемых растворов был определен методом сидячей капли на кварцевой пластине. Дозирование капли связующего раствора (1-2 мм³) проводили с помощью кварцевого капилляра. Измерение краевого угла выполняли на катетометре КМ-6 с угломерной головкой с точностью $\pm 1^\circ$ [13]. Влияние ПБФС на очистку поверхности оценивали по стандартной методике из [14].

Так как химический состав технологических жидкостей влияет на краевой угол смачивания, смачивающую способность, следовательно, и на моющие свойства, изучено влияние концентрации ПБФС на вышеуказанные характеристики.

Влияние ПБФС на коррозионную стойкость углеродистой стали 65Г исследовали гравиметрическим методом. Для испытаний использовали стальные пластины размером 120×10×1 мм, которые выдерживали в коррозионной среде (3 %-ном растворе NaCl) в течение 10 суток.

Эффективность ингибиторов оценивали по потере массы образцов. Скорость коррозии (K , г/(м²·ч)) рассчитывали по формуле:

$$K = \frac{m_0 - m}{S \cdot t},$$

где m_0 – масса образца до испытания, г; m – масса образца после испытания, г; S – площадь поверхности образца, м²; t – продолжительность испытания, ч.

Ингибиторную эффективность выражали через коэффициент торможения (γ) и степень защиты (Z , %), которые рассчитывали по формулам:

$$\gamma = \frac{K_0}{K},$$

$$Z = \frac{K_0 - K}{K_0} \cdot 100 \%,$$

где: K_0 – скорость коррозии в отсутствие ингибитора; K – скорость коррозии в присутствии ингибитора.

Изменение коррозионной устойчивости стали 65Г под влиянием ПБФС изучали электрохимическими испытаниями путем измерения стационарных потенциалов высокоомным вольтметром потенциостата П-5848.

Форма, размеры, характер подготовки образцов и методика электрохимических испытаний описаны в работах [15, 16].

Коррозионно-усталостные испытания проводили по методике, использованной авторами работ [17, 18] на базе $N = 2 \cdot 10^6$ циклов.

Результаты и обсуждение. Результаты исследования влияния концентрации ПБФА, ПБФК, ПБФЛ и ПБФН в 3 %-ном растворе синтетического моющего средства Лабомид-203 на краевой угол смачивания и степень очистки металлической поверхности при температуре раствора 20°C и продолжительности мойки 8 минут представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1 – Зависимость смачиваемости и очищающей способности моделированной среды (3 %-ного раствора Лабомид-203) от концентрации пентаборфосфатов

Table 1 – Dependence of wettability and cleaning capacity of a simulated medium (3 % solution of Labomid-203) on the concentration of pentaboron phosphates

Концентрация пентаборфосфатов в растворе, мас. % / Concentration of pentaboron phosphates in solution, wt. %	ПБФА / APBP		ПБФК / PPBP		ПБФЛ / LPBP		ПБФН / SPBP	
	Краевой угол смачивания, θ , град. / Contact angle, θ , deg.	Степень очистки, % / Degree of purification, %	Краевой угол смачивания, θ , град. / Contact angle, θ , deg.	Степень очистки, % / Degree of purification, %	Краевой угол смачивания, θ , град. / Contact angle, θ , deg.	Степень очистки, % / Degree of purification, %	Краевой угол смачивания, θ , град. / Contact angle, θ , deg.	Степень очистки, % / Degree of purification, %
0	85	16	85	16	85	16	85	16
2	72	35	68	37	65	40	56	47
4	62	45	52	48	53	53	44	64
6	56	50	50	55	44	63	40	75
8	52	52	44	60	37	70	32	82
10	50	54	41	62	34	73	27	85

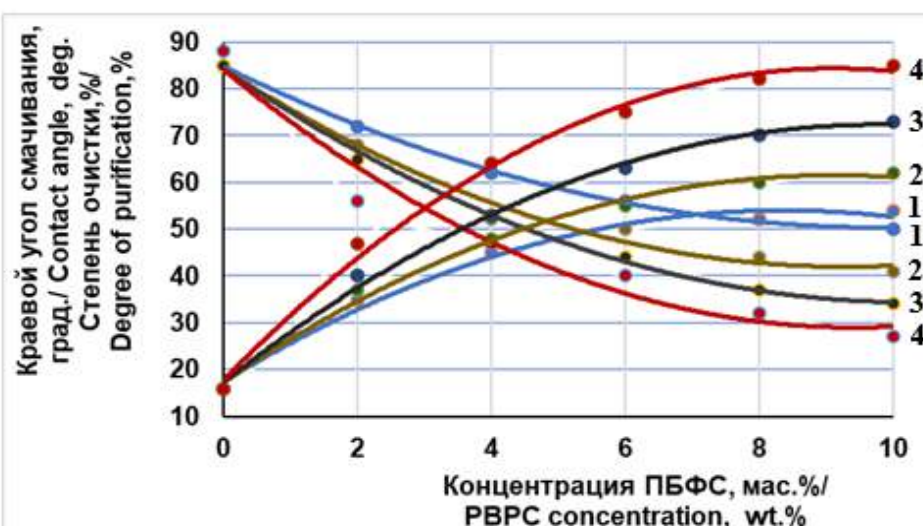


Рисунок 1 – Зависимость краевого угла смачивания (1', 2', 3', 4') и степени очистки (1, 2, 3, 4) металлической поверхности от концентрации и ПБФА (1' – 1), ПБФК (2' – 2), ПБФЛ (3' – 3), ПБФН (4' – 4) в 3 %-ном растворе синтетического моющего средства Лабомид-203

Figure 1 – Dependence of the contact angle of wetting (1', 2', 3', 4') and the degree of cleaning (1, 2, 3, 4) of the metal surface on the concentration of APBP (1' – 1), PPBP (2' – 2), LPBP (3' – 3), SPBP (4' – 4) in a 3 % solution of the synthetic detergent Labomid-203

Согласно данным таблицы 1 и рисунка 1 краевой угол смачивания и степень очистки поверхности стали зависят от концентрации ПБФС в растворе. При концентрации 8 мас. % пентаборфосфатов достигаются значения краевого угла смачивания (θ) и степени очистки,

соответствующие требованиям практического применения антикоррозионных и консервационных составов для сельскохозяйственной техники [1]. При этом ПБФН характеризуется более эффективными ингибиторными свойствами в последовательности ПБФН > ПБФЛ > ПБФК > ПБФА.

В таблице 2 представлены данные, характеризующие влияние ПБФС в концентрации 8 мас. % на коррозионное поведение стали 65Г. В ней оценены такие параметры, как средняя скорость коррозии, коэффициент торможения и степень защиты материала в течение 10-суточной экспозиции в моделированной среде (3 %-ном растворе NaCl).

Таблица 2 – Показатели ингибиторной эффективности ПБФС (8 мас. %) для стали 65Г в моделированной среде (3 %-ном растворе NaCl)

Table 2 – Indicators of the inhibitory efficiency of PBFS (8 wt. %) for 65G steel in a simulated environment (3 % NaCl solution)

Коррозионная среда / Corrosive environment	Концентрация пентаборфосфатов, мас. % / Pentaborophosphate concentration, wt. %	$K \cdot 10^{-3}$, г/м ² ·ч	γ	Z, %	pH
3 %-ный раствор NaCl (контроль) / 3 % NaCl solution (control)	–	61,24	1	0	7,0
ПБФЛ / LPBP	8,0	4,76	12,87	92,72	7,3
ПБФН / SPBP	8,0	2,82	21,72	95,40	7,6
ПБФК / PPBP	8,0	5,35	11,45	91,26	7,8
ПБФА / APBP	8,0	6,07	10,14	90,09	7,2

Из приведенных в таблице 2 данных видно, что, в то время как в растворе хлорида натрия сталь подвергается интенсивной коррозии, добавление ПБФС в среду обеспечивает существенное торможение этого процесса. Причем ингибиторное действие увеличивается в ряду пентаборфосфатов: ПБФА < ПБФК < ПБФЛ < ПБФН. Следует отметить, что среда растворов при добавлении ПБФС остается слабо-щелочной.

ПБФС ингибируют коррозию преимущественно по анодному механизму, не затрагивая катодную реакцию, что подтверждено электрохимическими измерениями и согласуется с результатами работы [19]. Соответствующие поляризационные кривые, иллюстрирующие поведение стали 65Г в 3 %-ном растворе NaCl с 8 мас. % ПБФС, показаны на рисунке 2.

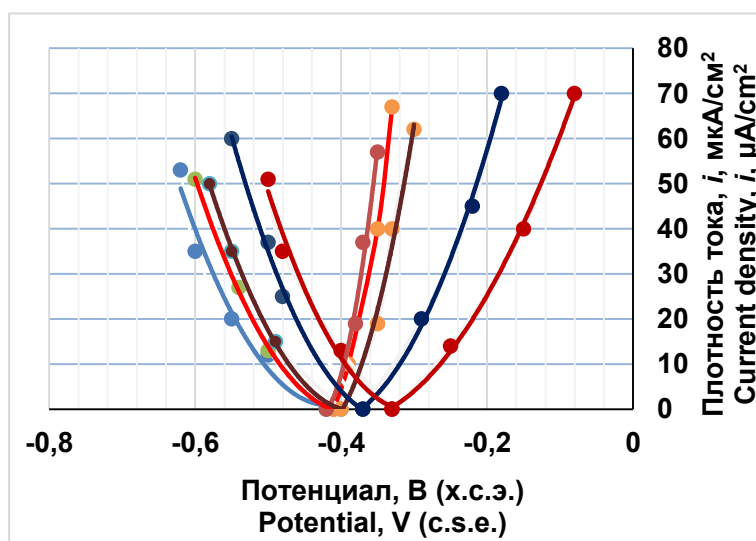


Рисунок 2 – Поляризационные кривые, иллюстрирующие поведение стали 65Г: — в 3 %-ном растворе NaCl; — в 3 %-ном растворе NaCl + ПБФА; — в 3 %-ном растворе NaCl + ПБФК; — в 3 %-ном растворе NaCl + ПБФЛ; — в 3 %-ном растворе NaCl + ПБФН

Figure 2 – Polarization curves illustrating the behavior of 65G steel: — in a 3% solution of NaCl; — in a 3% solution of NaCl + APBP; — 3% solution of NaCl + PPBP; — 3% solution of NaCl + LPBP; — 3% solution of NaCl + SPBP

В присутствии ПБФС в 3 %-ом растворе NaCl потенциалы коррозии металла (кривые —, —, —, —) смещены в положительную сторону относительно $E_{кор.}$ в фоновом электролите (кривые —). При этом ПБФН характеризуется большей ингибирующей способностью, чем ПБФА, ПБФК и ПБФЛ.

Имеются сведения, что падение циклической прочности металла является следствием синергетического действия коррозионной и коррозионно-механической деструкции. Эффективность ингибитора в данном случае обусловлена его способностью противодействовать обоим механизмам разрушения. На рисунке 3 представлены кривые усталости, демонстрирующие поведение стали в ингибированной (8 мас. % ПБФН) и неингибированной 3 %-ной хлоридной среде в сравнении с базовыми испытаниями в воздухе, полученные по методике работы [10].

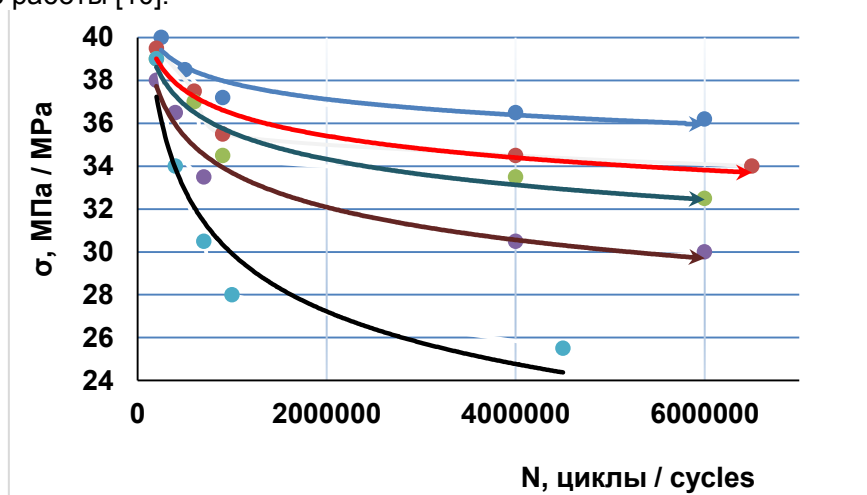


Рисунок 3 – Кривые усталости, иллюстрирующие поведение стали 65Г:

— в воздухе; — в 3 %-ном растворе NaCl; — в воздухе после предварительной выдержки в 3 %-ном растворе NaCl; — в 3 %-ном растворе NaCl + ПБФН; — в воздухе после предварительной выдержки в 3 %-ном растворе NaCl + ПБФН

Figure 3 - Fatigue curves illustrating the behavior of 65G steel:

— in air; — in a 3 % NaCl solution; — in air after preliminary exposure to a 3 % NaCl solution; — in a 3 % NaCl + SPBP solution; — in air after preliminary exposure to a 3 % NaCl + SPBP solution

Анализ данных рисунка 3 позволяет количественно оценить вклад различных факторов в снижение циклической прочности стали 65Г в 3 %-ном растворе NaCl. При $N = 2 \cdot 10^6$ циклов общая потеря прочности составляет 10,9 МПа (кривые — и —, из которых 57 % (6,2 МПа) приходится на коррозионные повреждения и 43 % (4,7 МПа) – на коррозионно-механические (кривые —, — и —). Добавка ПБФН компенсирует это снижение, повышая циклическую прочность (сравнить кривые — и —). Наблюдаемый эффект связан с неодинаковым ингибирующим действием ПБФН: его эффективность против коррозионных повреждений существенно выше, чем против коррозионно-механических (кривые —, — и —).

Проведенные исследования ПБФС, как ингибиторов коррозии, позволяют рекомендовать эти соединения для применения в моюще-пассивирующих растворах, используемых для консервации сельскохозяйственной техники и предотвращения её коррозии в период межсезонного хранения.

Заключение. 1. Проведенный комплекс экспериментов, включающий гравиметрический, электрохимический и коррозионно-усталостный анализ, подтвердил высокий эффект пентаборфосфатов лития, натрия, калия и аммония в качестве ингибиторов коррозии стали 65Г в нейтральной хлоридной среде. Наибольший ингибирующий эффект продемонстрировал пентаборфосфат натрия, обеспечив степень защиты до 95,4 % при концентрации 8 мас. %.

2. Установлено, что добавление пентаборфосфатов в моющие растворы снижает краевой угол смачивания и повышает степень очистки металлической поверхности, что свидетельствует о хорошей адгезии и моющей способности составов. Оптимальная концентрация для достижения требуемых эксплуатационных характеристик также составляет 8 мас. %.

3. Электрохимические данные подтверждают преимущественно анодный характер действия пентаборфосфатов, а коррозионно-усталостные испытания показали их способность снижать как чисто коррозионные, так и коррозионно-механические повреждения, тем самым повышая циклическую прочность стали.

4. Полученные данные позволяют рекомендовать пентаборфосфатные соединения для применения в моюще-пассивирующих растворах, используемых для консервации сельскохозяйственной техники и предотвращения её коррозии в период межсезонного хранения, что способствует увеличению её ресурса и снижению эксплуатационных затрат.

Conclusions. 1. A series of experiments, including gravimetric, electrochemical, and corrosion-fatigue analysis, confirmed the high effectiveness of lithium, sodium, potassium, and ammonium pentaboron phosphates as corrosion inhibitors for grade 65G steel in a neutral chloride environment. Sodium pentaboron phosphate demonstrated the greatest inhibitory effect, providing protection of up to 95.4 % at a concentration of 8 wt. %.

2. It was found that adding pentaboron phosphates to cleaning solutions reduces the contact angle and improves the cleaning efficiency of the metal surface, indicating good adhesion and cleaning ability of the compounds. The optimal concentration for achieving the required performance characteristics is also 8 wt. %.

3. Electrochemical data confirm the predominantly anodic nature of the action of pentaboron phosphates, and corrosion fatigue tests demonstrated their ability to reduce both purely corrosive and corrosion-mechanical damage, thereby increasing the cyclic strength of steel.

4. The obtained data allow pentaboron phosphate compounds to be recommended for use in cleaning and passivating solutions used to preserve agricultural equipment and prevent corrosion during off-season storage, thereby increasing its service life and reducing operating costs.

Библиографический список

1. Бышов Н. В., Борячев С. Н., Успенский И. А., Фадеев И. В. Разработка нового средства для защиты сельскохозяйственных машин при хранении. Техника и оборудование для села. 2019. № 6 (264). С. 38-42.
2. Фадеев И. В., Успенский И. А., Ушанев А. И. и др. Повышение эффективности технологии нанесения противокоррозионного состава при постановке сельскохозяйственных машин на хранение. Техника и оборудование для села. 2022. № 1 (295). С. 39-42.
3. Успенский И. А., Фадеев И. В., Пестряева Л. Ш. и др. Новые ингибиторы коррозии для защиты сельскохозяйственной техники. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 3 (59). С. 365-376.
4. Илларионов И. Е., Садетдинов Ш. В. Коррозия черных металлов в средах, имитирующих условия эксплуатации автомобилей. Черные металлы. 2019. № 4. С. 67-72.
5. Фадеев И. В., Успенский И. А., Пестряева Л. Ш., Садетдинов Ш. В. Глицероборатное моюще-пассивирующее средство для ремонтного производства автотракторной техники. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 2 (62). С. 431-441.
6. Фадеев И. В., Ременцов А. Н., Садетдинов Ш. В. Повышение противокоррозионных качеств моющих средств с применением амидоборатных соединений на автомобильном транспорте. Грузовик. 2015. № 4. С. 13-16.
7. Стрельников И. А., Пестряев Д. А., Садетдинов Ш. В. Коррозионные характеристики углеродистой стали в растворах синтетических моющих средств. Упрочняющие технологии и покрытия. 2020. Т. 16. № 3 (183). С. 112-115.
8. Илларионов И. Е., Садетдинов Ш. В., Стрельников И. А., Гартфельдер В. А. Влияние фосфатборатных соединений на противокоррозионную устойчивость углеродистой стали в нейтральных водных средах. Черные металлы. 2018. № 5. С. 47-53.
9. Фадеев И. В., Успенский И. А., Пестряев Д. А. и др. Дипинаконборатные добавки в растворы для мойки деталей для увеличения долговечности деталей и узлов транспортных средств. Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2021. № 5 (287). С. 37-40.
10. Садетдинов Ш. В., Пестряева Л. Ш., Фадеев И. В., Пестряев Д. А. Повышение коррозионной стойкости углеродистой стали с помощью дипинаконборатных соединений. Черные металлы. 2020. № 11. С. 40-45.
11. Фадеев И. В., Белова Н. Н., Садетдинов Ш. В. Экологически безвредный материал для защиты сельскохозяйственной техники от коррозии. Известия Международной академии аграрного образования. 2015. № 21. С. 56-59.
12. Byshov N. V., Uspensky I. A., Yukhin I. A., et al. Parameters of optimized system of technological process of waste water disinfection of livestock enterprises in integrated physico-chemical effects. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. The proceedings of the conference AgroCON-2019. 2019. P. 012140.
13. Бышов Н. В., Успенский И. А., Алексеев В. В., Фадеев И. В. Изменение контактных углов смачивания при добавлении в моющие растворы поверхностно-активных веществ. Инженерные технологии и системы. 2019. Т. 29. № 2. С. 295-305.
14. Фадеев И. В., Ременцов А. Н., Мороз С. М., Садетдинов Ш. В. Разработка композиции технологической жидкости для увеличения долговечности деталей и узлов транспортных средств. Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2017. № 3 (50). С. 90-97.
15. Успенский И. А., Фадеев И. В., Пестряева Л. Ш. и др. Присадка к средствам для мойки деталей автотракторной техники. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 4 (60). С. 414-425.
16. Фадеев И. В., Илларионов И. Е., Садетдинов Ш. В. Аминоборатный раствор для получения магнитных покрытий на стали. Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2016. № 1 (44). С. 68-74.

17. Fadeev I. V., Polovnyak V. K., Ereemeeva S. S., Sadetdinov Sh. V. Влияние амидоборатных соединений на противокоррозионные свойства стали. Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 3. С. 19-24.

18. Fadeev I. V., Sadetdinov Sh. V., Polovnyak V. K. Исследование растворимости и ингибиторного действия систем моно-, тетра-, пентаборат натрия - этилендиамин - вода при 25°C. Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 5. С. 13-17.

19. Fadeev I. V., Sadetdinov Sh. V. Влияние моноборатов лития, натрия, калия на моющие и противокоррозионные свойства синтетических моющих средств. Приволжский научный журнал. 2015. № 2 (34). С. 86-90.

References

1. Byshov N. V., Borychev S. N., Uspensky I. A., Fadeev I. V. Development of a New Agent for Protecting Agricultural Machinery During Storage. Machinery and Equipment for the Village. 2019. No. 6 (264). Pp. 38-42.

2. Fadeev I. V., Uspensky I. A., Ushanev A. I., et al. Improving the Efficiency of Applying Anti-Corrosion Composition to Agricultural Machinery During Storage. Machinery and Equipment for the Village. 2022. No. 1 (295). Pp. 39-42.

3. Uspensky I. A., Fadeev I. V., Pestryaeva L. Sh., et al. New Corrosion Inhibitors for the Protection of Agricultural Machinery. News of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2020. No. 3 (59). Pp. 365-376.

4. Illarionov I. E., Sadetdinov Sh. V. Corrosion of ferrous metals in environments simulating vehicle operating conditions. Ferrous Metals. 2019. No. 4. Pp. 67-72.

5. Fadeev I. V., Uspensky I. A., Pestryaeva L. Sh., Sadetdinov Sh. V. Glyceroborate detergent and passivating agent for the repair production of automotive and tractor equipment. News of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2021. No. 2 (62). Pp. 431-441.

6. Fadeev I. V., Rementsov A. N., Sadetdinov Sh. V. Improving the anticorrosion properties of detergents using amidoborate compounds in motor transport. Gruzovik. 2015. No. 4. Pp. 13-16.

7. Strelnikov I. A., Pestryaev D. A., Sadetdinov Sh. V. Corrosion characteristics of carbon steel in solutions of synthetic detergents. Hardening technologies and coatings. 2020. Vol. 16. No 3 (183). Pp. 112-115.

8. Illarionov I. E., Sadetdinov Sh. V., Strelnikov I. A., Gartfelder V. A. Effect of phosphate borate compounds on the anticorrosion resistance of carbon steel in neutral aqueous environments. Ferrous metals. 2018. No. 5. Pp. 47-53.

9. Fadeev I. V., Uspensky I. A., Pestryaev D. A., et al. Dipineconborate additives in solutions for washing parts of automotive and tractor equipment. Machinery and equipment for the village. 2021. No. 5 (287). Pp. 37-40.

10. Sadetdinov Sh. V., Pestryaeva L. Sh., Fadeev I. V., Pestryaev D. A. Increasing the corrosion resistance of carbon steel using dipineconborate compounds. Ferrous metals. 2020. No. 11. Pp. 40-45.

11. Fadeev I. V., Belova N. N., Sadetdinov Sh. V. Environmentally friendly material for the protection of agricultural machinery from corrosion. Bulletin of the International Academy of Agrarian Education. 2015. No. 21. Pp. 56-59.

12. Byshov N. V., Uspensky I. A., Yukhin I. A., et al. Parameters of an optimized system of technological process of waste water disinfection of livestock enterprises in integrated physicochemical effects. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. The proceedings of the conference AgroCON-2019. 2019. P. 012140.

13. Byshov N. V., Uspensky I. A., Alekseev V. V., Fadeev I. V. Change in contact angles upon adding surfactants to detergent solutions. Engineering Technologies and Systems. 2019. Vol. 29. No. 2. Pp. 295-305.

14. Fadeev I. V., Rementsov A. N., Moroz S. M., Sadetdinov Sh. V. Development of a Process Fluid Composition to Increase the Durability of Vehicle Parts and Assemblies. Bulletin of the Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI). 2017. No. 3 (50). Pp. 90-97.

15. Uspensky I. A., Fadeev I. V., Pestryaeva L. Sh., et al. Additive to Cleaning Agents for Automotive and Tractor Parts. News of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2020. No. 4 (60). Pp. 414-425.

16. Fadeev I. V., Illarionov I. E., Sadetdinov Sh. V. Aminoborate solution for producing magnetite coatings on steel. Bulletin of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI). 2016. No. 1 (44). Pp. 68-74.

17. Fadeev I. V., Polovnyak V. K., Ereemeeva S. S., Sadetdinov Sh. V. Influence of amidoborate compounds on the anticorrosive properties of steel. Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. 2015. No. 3. Pp. 19-24.

18. Fadeev I. V., Sadetdinov Sh. V., Polovnyak V. K. Study of solubility and inhibitory action of sodium mono-, tetra-, pentaborate – ethylenediamine – water systems at 25°C. Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. 2014. No. 5. Pp. 13-17.

19. Fadeev I. V., Sadetdinov Sh. V. Influence of lithium, sodium, and potassium monoborates on the detergent and anticorrosive properties of synthetic detergents. Volga Region Scientific Journal. 2015. No. 2 (34). Pp. 86-90.

Информация об авторах

Фадеев Иван Васильевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева» (Российская Федерация, 428000, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 38), e-mail: ivan-fadeev-2012@mail.ru

Успенский Иван Алексеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева» (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: ivan.uspensckij@yandex.ru

Фомин Сергей Денисович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26.), e-mail: fsd_58@mail.ru

Юхин Иван Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева» (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: yuival@rambler.ru

Бышов Дмитрий Николаевич, доктор технических наук, доцент, профессор, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева» (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: dmitry.byshov@yandex.ru

Егоров Виталий Петрович, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 428000, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29), e-mail: evp121@mail.ru

Казарин Александр Сергеевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева» (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: frady@inbox.ru

Петров Станислав Робертович, магистрант, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29), e-mail: staspetrov21@mail.ru

Authors' Information

Fadeev Ivan Vasilievich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Chuvash State Pedagogical University named after I. Ya. Yakovlev (Russian Federation, 428000, Cheboksary, K. Marx str., 38), e-mail: ivan-fadeev-2012@mail.ru

Uspensky Ivan Alekseevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department, Ryazan State Agro-technological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev str., 1), e-mail: ivan.uspensckij@yandex.ru

Fomin Sergey Denisovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: fsd_58@mail.ru

Yukhin Ivan Aleksandrovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department, Ryazan State Agro-technological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva str., 1), e-mail: yuival@rambler.ru

Dmitry Nikolaevich Byshov, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Ryazan State Agro-technological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev str., 1), e-mail: dmitry.byshov@yandex.ru

Vitaly Petrovich Egorov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Chuvash State Agrarian University (Russian Federation, 428000, Cheboksary, K. Marx str., 29), e-mail: evp121@mail.ru

Kazarin Aleksandr Sergeevich, Postgraduate Student, Ryazan State Agro-technological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev str., 1), e-mail: frady@inbox.ru

Petrov Stanislav Robertovich, Master's student, Chuvash State Agrarian University" (Russian Federation, 428000, Cheboksary, K. Marx str., 29), e-mail: staspetrov21@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-57

THE DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE WATER TREATMENT TECHNOLOGY AND TECHNICAL MEANS FOR FISH FARMING AND DRIP IRRIGATION IN CONDITIONS OF THE WATER RESOURCES SHORTAGE IN THE SOUTH OF RUSSIA

^{1,2}Khetsuriani E. D., ^{1,3}Bekbergenowa S. Z., ¹Khohrin M. S., ¹Khetsuriani T. E.

¹South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M. I. Platov
Novocherkassk, Russian Federation

²Donsky State Technical University (DSTU)
Rostov-on-Don, Russian Federation

³Astrakhan State University of Architecture and Construction
Astrakhan, Russian Federation

Corresponding author E-mail: goodga@mail.ru

Received 25.12.2025

Submitted 26.01.2026

Abstract

Introduction. Today, the country's main challenge is to ensure food security, for which irrigation and fish farming play a major role in agriculture, as the most vulnerable to the growing anthropogenic burden of the industry. The aim of the study is to improve the efficiency of purification of natural and wastewater (industrial enterprises) for irrigation in conditions of scarcity of water resources of southern Russia. Theoretical foundation, development and study of new technological solutions for water treatment with the use of zeolite purification devices for fish farms and crop irrigation by drip irrigation systems. **Materials and methods.** Scientific research on the performance of filtering materials was conducted in laboratory conditions according to VDGeo methodology. The laboratory model includes filter columns with a diameter of 0.15 m and a loading height of 0.8 and 1.2 m. **The object** to be studied is natural water taken from a local water source. Laboratory studies on the choice of filter filler materials included work to determine the efficiency of water purification from physical and chemical contaminants. In the work, the efficiency of water purification by a water receiving and filtering device under field conditions was considered. **Results.** As a result of scientific researches, it was studied the collimation-free production of ammonium nitrogen with the help of sorbents, revealed the efficiency of filtration on sorbents in which the main component is clinoptilolite and on catalyst AK-CM (d. Angarsk). The study determined the kinetics of ammonium ion (NH_4^+) residual concentrations in purified water as a function of time, and constructed Langmuir adsorption isotherms for different sorbents used to remove ammonium nitrogen. **Conclusions.** The farming of sturgeon in arid zones is a complex task requiring an integrated approach, innovative technologies and high-quality management. Solving these problems will provide great opportunities for future aquaculture development, as well as making a significant contribution to the conservation of sturgeon populations and ecosystems where they live.

Keywords: sturgeon species, zeolite minerals, ammonium nitrogen, water purification methods, water treatment technologies, drip irrigation.

Citation. Khetsuriani E. D., Bekbergenowa S. Z., Khohrin M. S., Khetsuriani T. E. The development and research of the water treatment technology and technical means for fish farming and drip irrigation in conditions of the water resources shortage in the south of Russia. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 540-549 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-57.

Authors' contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, execution or analysis of this study. All the authors of this article have read and approved the final version presented.

Conflict of interest. The authors state that there is no conflict of interest.

УДК 628.16+631.67+639.3

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ
ВОДОПОДГОТОВКИ ДЛЯ РЫБОРАЗВЕДЕНИЯ И КАПЕЛЬНОГО ПОЛИВА В УСЛОВИЯХ
ДЕФИЦИТА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ЮГА РОССИИ**^{1,2}Хецуриани Е. Д., доктор технических наук, профессор^{1,3}Бекбергенова С. З., соискатель¹Хохрин М. С., аспирант¹Хецуриани Т. Е., магистрант¹Южно-Российский государственный политехнический университет имени М. И. Платова
г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация²Донской государственный технический университет
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация³Астраханский государственный архитектурно-строительный университет
г. Астрахань, Российская Федерация

Актуальность. На сегодняшний день в стране немаловажной задачей является обеспечение продовольственной безопасности, для решения которой большую роль в сельском хозяйстве играют орошаемое земледелие и рыборазведение, как наиболее уязвимые от возрастающей антропогенной нагрузки отрасли. Целью исследования является повышение эффективности очистки природных и сточных вод (индустриальных предприятий) для орошения в условиях дефицита водных ресурсов юга России. Теоретическое обоснование, разработка и исследование новых технологических решений водоподготовки очистными устройствами с применением цеолитов для рыбоводных предприятий и орошения культур системами капельного полива. **Материалы и методы.** Научные исследования по эффективности работы фильтрующих материалов проводились в лабораторных условиях по методике НИИ ВОДГЕО. Лабораторная модель включает фильтрующие колонки диаметром 0,15 м и высотой загрузки 0,8 и 1,2 м. Исследуемым объектом является природная вода, взятая из местного водоемисточника. Лабораторные исследования по выбору загрузочных материалов для фильтров включали работы по определению эффективности очистки воды от физико-химических загрязнений. В работе рассмотрена эффективность очистки воды на водоприемно-фильтрующем устройстве в полевых условиях. **Результаты.** В результате научных исследований, было изучено бескольматационное выделение аммонийного азота с помощью сорбционных материалов, выявлена эффективность фильтрации на сорбционных материалах, в которых основным компонентом является клиноптилолит и на катализаторе АК-ЦМ (г. Ангарск). В исследовании была установлена кинетика остаточных концентраций ионов аммония (NH_4^+) в очищенной воде в зависимости от времени, а также были построены изотермы адсорбции Ленгмюра для различных сорбентов, применяемых для удаления аммонийного азота. **Выводы.** Разведение осетровых рыб в аридных зонах представляет собой сложную задачу, требующую комплексного подхода, инновационных технологий и высококачественного управления. Решение этих проблем предоставит широкие возможности для будущего развития аквакультуры, а также внесет значительный вклад в сохранение популяций осетровых и экосистем, где они обитают.

Ключевые слова: осетровые виды рыб, цеолитовые минералы, аммонийный азот, методы очистки воды, технологии водоподготовки, капельное орошение.

Цитирование. Хецуриани Е. Д., Бекбергенова С. З., Хохрин М. С., Хецуриани Т. Е. Разработка и исследование технологии и технических средств водоподготовки для рыборазведения и капельного полива в условиях дефицита водных ресурсов юга России. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 540-549. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-57.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В условиях дефицита водных ресурсов южных регионов России, в частности Астраханской области, актуальной задачей является оптимизация водопользования и повышение эффективности мелиоративных мероприятий для обеспечения устойчивого развития аквакультуры. Одной из ключевых проблем является обеспечение качества водных ресурсов, которое напрямую определяет физиологическое состояние, ростовые показатели и продуктивность водных организмов [1-3].

Аридные климатические условия региона характеризуются низким уровнем доступных пресных источников, высоким уровнем испарения и значительными колебаниями гидрохимических параметров воды [4]. Эти факторы требуют внедрения современных технологий мелиорации и водоподготовки, способных стабилизировать параметры водной среды и обеспечить её соответствие биологическим требованиям культивируемых видов.

В настоящее время одним из востребованных видов рыб в аквакультуре являются – осетровые, включающие в себя известные виды: белуга, осетр, стерлядь, севрюга и т.д. Чрезмерное потребление осетровых пород, привело к тому, что некоторые виды рыб были на грани исчезновения. В конце 20 века, возобновили выращивание осетровых видов рыб в искусственных водоемах [5, 6], однако чувствительность к условиям водной среды (к температуре, химическим веществам в воде, содержанию соли) [7, 8] приводит к уменьшению популяции рыб.

Качество водной среды является комплексным показателем, который включает в себя разнообразные параметры, такие как термодинамические характеристики, химические свойства, растворимость газов, ионный состав, наличие вредных веществ (например, аммиака, нитритов и нитратов) и биологическая чистота воды.

Повышенное содержание аммиака в воде может вызвать отравление у рыб, что приведет к снижению аппетита, замедлению роста и повышению смертности. Высокий уровень нитритов и нитратов также опасен, так как эти вещества могут нарушать работу дыхательной системы рыб и вызывать стресс [9]. Кроме того, недостаток кислорода в воде, который часто наблюдается в аридных зонах из-за высоких температур и интенсивного испарения, может привести к удушью рыб и массовой гибели. Поэтому контроль и регулирование качества воды являются неотъемлемой частью успешного разведения осетровых рыб. Для успешного разведения осетровых рыб в трудных условиях необходимо разработать и внедрить сооружения для очистки воды от вредных веществ. Разработка технологии и устройств для подготовки воды требует применения комплексного подхода, учитывающего специфику аридных зон. Важно также разработать компактные и энергоэффективные устройства, которые легко интегрируются в существующие системы водоподготовки.

Материалы и методы. Эффективность работы установки водоподготовки была доказана научным исследованием, которое проводили в несколько этапов. Первый этап включал в себя исследование сорбционных материалов на лабораторной установке, в виде фильтрующей колонны, с расходом воды 0.1-0.3 дм³/ч и концентрацией загрязняющих веществ из рыбоводного водоема. Загрязненную воду пропускали через адсорбционную колонну с высотой слоя адсорбента от 20 до 50 см и размером частиц загрузки в диапазоне 0,8-2,5 мм со скоростью 2-5 мм/мин. В очищенной фазе проводилось измерение остаточной концентрации загрязняющих веществ. На основе собранных данных осуществлялся анализ эффективности удаления соединений, содержащих азот, а также создавались графики для анализа динамических характеристик процесса адсорбции.

С применением математического моделирования адсорбционных процессов и уравнения Шилова [10] определили коэффициент z задерживающего эффекта сорбционного слоя при различных его толщинах, а также длину зоны массопередачи, необходимую для расчета процесса, и потерю времени защитного действия. Второй этап проходил в полевых условиях на опытно-промышленной модели, выполняющей функцию водоприемного и фильтрующего устройства. Эффективность работы устройства доказана с помощью сорбционной загрузки.

Результаты и обсуждения. В научной работе исследования проводились на фильтрующих колонках, в качестве загрузки использовали природные сорбенты [11]. Результаты исследования зависимости остаточной концентрации аммонийного азота в зависимости от концентрации сорбента и времени представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения остаточной концентрации азота аммонийного в зависимости от времени
Table 1 – Values of the residual concentration of ammonium nitrogen depending on time

Время, Т мин / Time, T min	Концентрация адсорбента, мг/л / Adsorbent concentration, mg/l	Остаточная концентрация азота аммонийного в зависимости от времени на сорбентах / Residual concentration of ammonium nitrogen depending on time on sorbents	
		Клиноптилолит / Clinoptilolite	АК-ЦМ / AK-CM
5	5	4	5
10	4	1	1,5
20	3	0,3	0,5
30	2	0,25	0,3
40	1	0,1	0,2
50	0	-	0

Исследование процесса сорбции на клиноптилолите и катализаторе АК-ЦМ крупностью зерен 1-2 мм представлена на рисунке 2.

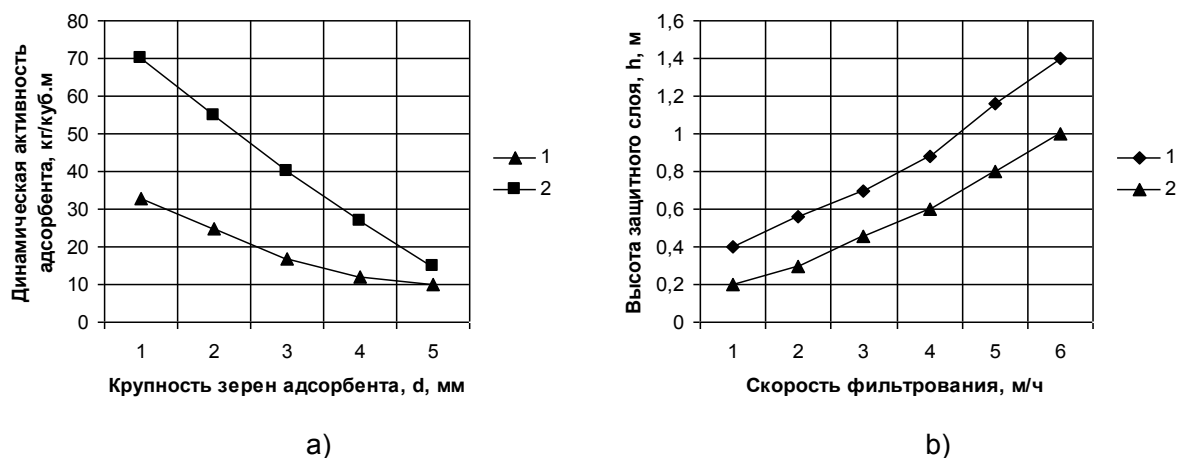


Рисунок 2 – Сорбционная характеристика процесса
а) характеристика динамической активности адсорбента, б) скорость фильтрации воды сквозь защитный слой адсорбента; 1 – клиноптилолит, 2 – катализатор АК-ЦМ
Figure 2 – Sorption characteristics of the process
а) characteristics of the dynamic activity of the adsorbent depending on the grain size;
b) water filtration rate through the adsorbent protective layer; 1 – clinoptilolite, 2 – AK-CM catalyst

В научном исследовании анализировали адсорбент – сокирнит [12] при исследовании кинетики адсорбции была обнаружена остаточная концентрация аммонийного азота в очищенной воде (рисунок 3).

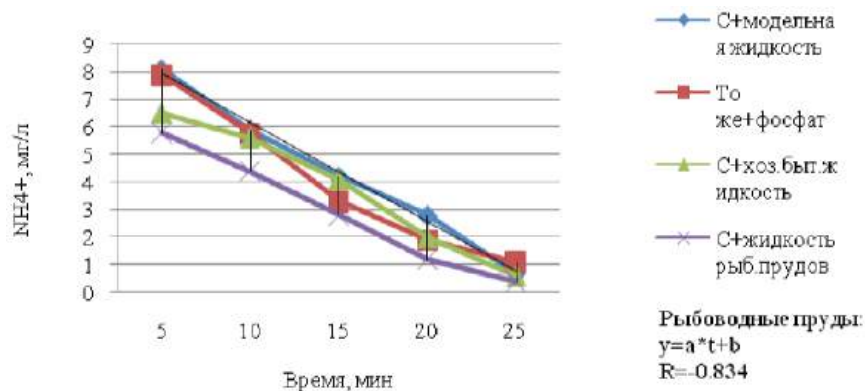


Рисунок 3 – Кинетика сорбции при определении остаточных концентраций NH_4^+
Figure 3 – Sorption kinetics in the determination of residual NH_4^+ concentrations

Из рисунка 3 можно сделать вывод, что концентрации аммонийного азота в очищенной воде не превышали предельно допустимых концентраций (ПДК). Высокая корреляция ($R = 0,834$) указывает на значительную зависимость между параметрами, исследуемыми в рамках эксперимента, и подтверждает достоверность полученных данных.

На рисунке 4 представлены изотермы адсорбции ионов аммония на клиноптилолите при использовании различных сорбционных материалов. Эти изотермы позволяют проанализировать поведение ионов аммония в зависимости от концентрации, а также оценить способность клиноптилолита к адсорбции.

Результаты, полученные в ходе экспериментов, показывают, что клиноптилолит является эффективным сорбентом для адсорбции ионов аммония. Это подтверждается не только данными изотерм, где наблюдается высокая степень адсорбции при низких концентрациях ионов, но и практическими наблюдениями, сделанными во время эксперимента.

Кроме того, важно отметить влияние факторов, таких как время контакта, pH среды и температура, на эффективность адсорбции.

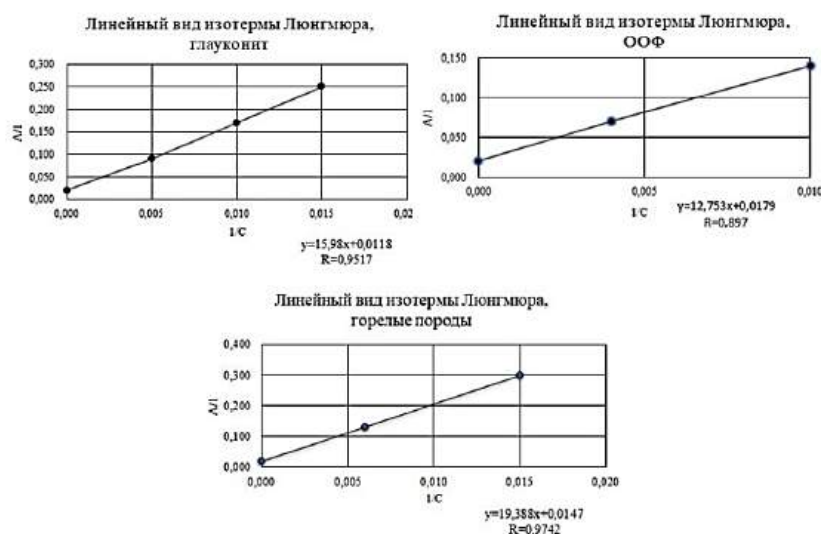


Рисунок 4 – Изотермы адсорбции для различных сорбентов
Figure 4 – Adsorption isotherms for various sorbents

С помощью полученных результатов были определены эксплуатационные и расчетные параметры процесса очистки воды. В частности, высокие показатели динамической емкости были отмечены для клиноптилолита, что свидетельствует о его высокой эффективности в качестве адсорбента. Скорость фильтрации составила 3,5-4 м/ч, что является удовлетворительным показателем для практического применения в системах водоочистки. При этом высота загрузки колонки составила от 0,8 до 1 м, а размер частиц адсорбента находится в диапазоне 1-2,5 мм, что оптимально для достижения высокой степени отделения загрязняющих веществ.

Кроме того, в ходе исследования было установлено, что при изменении температуры и значений pH аммонийный азот может преобразовываться в аммиак. Этот процесс имеет особое значение, так как аммиак представляет собой более токсичную форму для осетровых рыб, что подчеркивает важность контроля условий окружающей среды (рисунок 5).

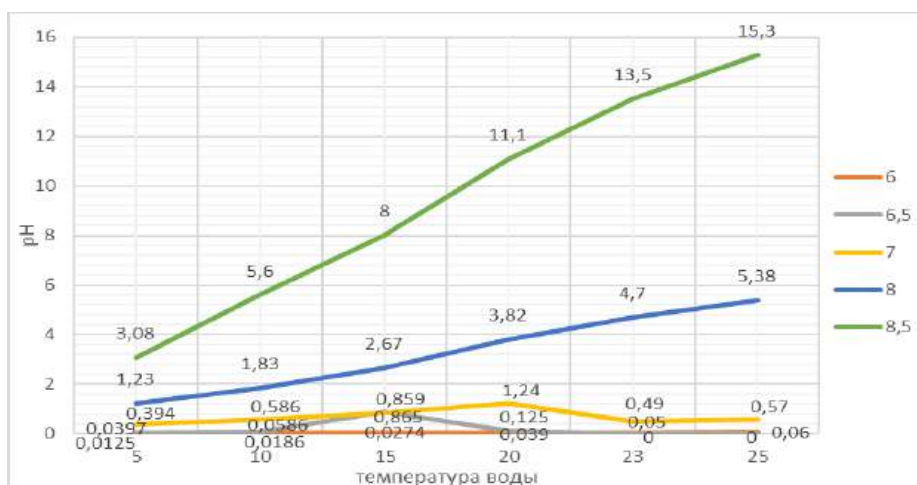


Рисунок 5 – Количество свободного аммиака, образующегося в воде, в зависимости от pH и температуры воды, мг/л

Figure 5 – The amount of free ammonia formed in water, depending on pH and water temperature, mg/l

Полевые испытания по очистке вод прудов были проведены на экспериментальной установке, заполненной фильтрующим материалом цеолитом с размером частиц 2-3 мм, и наружным диаметром 0,25 м. Высота слоя загрузки составляет 0,8 м, объем цеолитового наполнителя равен 0,057 м³, а масса загрузки составляет 62 кг. Расход воды из пруда варьировался от 0,14 до 0,3 м³/час, что соответствует скорости фильтрации от 2 до 4 м/ч.

Исследования показали, что в реальных условиях сорбционная способность цеолита почти исчерпывается на 9-й день эксплуатации, в то время как фактическая продолжительность фильтрационного цикла варьировала от 80 до 90 часов. Регенерация ионообменной способности проводилась с использованием 2 % раствора NaCl и 5 % раствора NaOH в течение 20-30 минут. Тем не менее, для окончательных выводов о целесообразности замены цеолита или его регенерации необходимы дополнительные наблюдения и исследования. Полевые испытания очистки прудовых вод подтвердили эффективность работы водоприемно-очистного устройства.

Исследования по подготовке воды для орошения проводились на опытных полях площадью порядка 3,5 га, где осуществлялась посадка яблоневого сада с капельным орошением в ООО «КАСПИЙ» Володарского района, Астраханской области.

Климат в данной местности резко-континентальный с ярко выраженными сезонами: высокой температурной амплитудой и нестабильными зимами. Глубина промерзания почвы составляет 85,0 см.

Особенностью климата района является ограниченное количество осадков – менее 290 мм в год. Преобладающие направления ветра зимой – юго-восточные, а в летние месяцы – юго-восточные и северо-восточные. Преобладают ветры со скоростью 4-8 м/с, но в отдельных случаях скорость возрастает до 12-20 м/с и более.

На орошаемый участок вода подавалась через промышленную фильтрационную установку в систему капельного полива ООО «КАСПИЙ» с забором из р. Сарбай.

На одно опытное поле вода подавалась через мобильно-фильтрующее водоприемно-очистное устройство, которое было установлено на рыбноводном хозяйстве. Другое поле капельного полива яблоневого сада было контрольным. Показатели минерализации воды р. Сарбай, в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты химического анализа воды р. Сарбай

Table 2 – Results of the chemical analysis of water p. Sarbai

Минерализация воды, г/л / Water mineralization, g/l	Ca ²⁺ мг/л / mg/l	Cl ⁻ мг/л / mg/l	SO ₄ ²⁻ мг/л / mg/l	Na ⁺ мг/л / mg/l	K ⁺ мг/л / mg/l	HCO ₃ ⁻ мг/л / mg/l	Mg ²⁺ мг/л / mg/l
0,35	54	62	130	85	3,8	172	2,3

Для предотвращения засорения капельных линий и микроперфорационных выпусков системы капельного орошения в яблоневых садах, а также для обеспечения стабильной производительности и повышения качества применяемой водоподачи, на одном из экспериментальных участков была установлена фильтрующая водоприемно-очистная установка (рисунок 6). На контрольном опытном поле аналогичная установка не монтировалась, что позволило осуществить сравнительный анализ эффективности очистки воды и степени предотвращения засорения капельных систем.

Каждое опытное поле представляло собой прямоугольник площадью 1,75 длиной 1750 метров, шириной 100 метров с расположением на них по 200 капельных линий с шагом 0,5 м (рисунок 6).



Рисунок 6 – Общий вид яблоневого сада с применением капельного полива
Figure 6 – General view of the apple orchard with drip irrigation

Капельная лента представляла собой полиэтиленовую трубку диаметром 16 мм с толщиной стенки 0,2 мм с шагом капельниц 0,5 м, расходом 2,0 л/ч, которая каждая укладывалась и прищипывалась к земле между двумя линиями в саду. За поливной период 2023 года оросительная норма на поливе яблоневого сада составила 1050 м³/га, что определило проведение 10 поливов нормой 600,0 м³/га. При этом продолжительность одного полива составляла порядка 2,0 часов.

В течение поливного периода в яблоневом саду на опытных полях подекадно велись наблюдения за состоянием и нарушениями работы капельной системы из-за выхода из строя отдельных капельниц и капельных линий. После прекращения полива отдельные участки капельной ленты интенсивно промывались или менялись на новые части. Учет засорения и выхода из строя отдельных участков капельных линий определялся как 25, 50, 75 и 100 % длины одной (1,0) линии в 100 метров или ее части: четверть (0,25) – 25,0 м; половина (0,5) – 50,0 м; три четвертых (0,75) – 75 м. Данные участки восстанавливались заменой на новые или после промывки. Результаты выхода из рабочего состояния капельных линий на опытных полях с фильтрующей установкой и без нее представлены в таблице 4.

Таблица 3 – Поврежденные капельные линии на опытном поле
Table 3 – Damaged drop lines in test field

срок наблюдения / period of observation засорение / clogging	месяц / month									Засорение капельных линий за сезон, шт. / Clogging of drip lines per season, pcs.
	июнь / June			июль / July			август / August			
	декада / decade			декада / decade			декада / decade			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Без фильтрующей установки / Without a filter unit	0	1,0	2,95	3,0	3,95	4,2	4,45	7,95	9,45	36,95
С фильтрующей уста- новкой / With a filter unit	0	0	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,75	3,0

Приведенные данные таблицы показывают, что на опытном поле капельного орошения без установки дополнительного водоприемно-очистного фильтра из 200 капельных линий, каждая длиной 100 метров, вышло из рабочего состояния 39,95 шт. или 18,48 %. С дополнительной очисткой поливной воды с помощью мобильной фильтрующей водоприемно-очистной установки было зафиксировано, что выход из работоспособного состояния трех капельных линий, составивший 1,25 %, означает уменьшение засоряемости в 12,3 раза.

Обеспечение надежной и долговременной эксплуатации капельных систем является ключевой задачей в сфере орошения и сельскохозяйственной мелиорации (Вентцель Е. С., 1986; Шемшур Е. А., 2017). Засорение эмиттеров и других элементов систем приводит к снижению эффективности орошения, ухудшению урожайности культур, нерациональному расходу водных ресурсов за счет сбросных вод, а также возрастающим затратам трудовых ресурсов на очистку и замену дорогостоящих капельных лент. Эффективное решение этих проблем является важным для повышения стабильности функционирования ирригационных систем и повышения их экономической целесообразности.

Анализ показателей безотказной работы системы позволяет определить уровень ее надежности в процессе эксплуатации. Такой подход обеспечивает возможность прогнозирования эффективности проведения поливных мероприятий при использовании дополнительных мобильных фильтрующих установок, что способствует увеличению интервалов между очистками капельных элементов и капельных лент. В результате повышается степень планирования агротехнических работ, а также увеличиваются сроки службы компонентов капельных систем, что в целом способствует повышению их эксплуатационной надежности и экономической эффективности.

В рамках исследования проведена сравнительная оценка статистических данных о надежной работе капельных линий и их компонентов на опытном участке при эксплуатации с использованием и без применения мобильной фильтрующе-водоприемно-очистной установки (МФОУ). Данные, полученные за поливной период, позволяют проследить влияние внедрения дополнительного фильтрующего оборудования на надежность системы. Таблица 4 демонстрирует показатели безотказной работы и их вариации в зависимости от условий эксплуатации, что помогает определить эффективность и обоснование внедрения МФОУ в системы капельного орошения.

Таблица 4 – Данные статистической оценки безотказной работы капельных лент
Table 4 – Data for the statistical evaluation of the continuous operation of drip tapes

Время поливного периода, сутки по декадам / Time of the irrigation period, day by decade	количество засоренных линий, n / number of clogged lines, n		кол-во чистых капельных линий на конец периода, N-n / number of clean drip lines at the end of the period, N-n		кол-во отказов капельных линий нараст. итогом на конец периода / the number of drop line failures is cumulative at the end of the period		вероятность безотказной работы капельных линий P (t) / probability of trouble-free operation of drip lines P(t)	
	без МФОУ	с МФОУ	без МФОУ	с МФОУ	без МФОУ	с МФОУ	без МФОУ	с МФОУ
0-10	0	0	200	200	0	0	1,0	1,0
10-20	1,0	0	199	200	1,0	0	0,99	1,0
20-30	2,95	0,25	196,05	199,75	3,95	0,25	0,98	0,999
30-40	3,0	0,25	193,05	199,5	6,95	0,5	0,97	0,998
40-50	3,95	0,25	189,1	199,25	10,9	0,75	0,95	0,996
50-60	4,2	0,5	184,9	198,75	15,1	1,25	0,93	0,993
60-70	4,45	0,5	180,45	198,25	19,55	1,75	0,91	0,991
70-80	7,95	0,5	172,5	197,75	27,5	2,25	0,87	0,986
80-90	9,45	0,75	163,05	197,0	36,95	3,0	0,85	0,985

Для наглядного представления оценки безотказной работы капельных линий и их частей на рисунке 8 показаны графические функции надежности $P(t) = f(N-n)/N$, за поливной период на опытном поле с МФОУ и без нее.

В рамках исследования были построены аналитические модели вероятности безотказной работы капельных линий в условиях засорения за поливной период (рисунок 7).

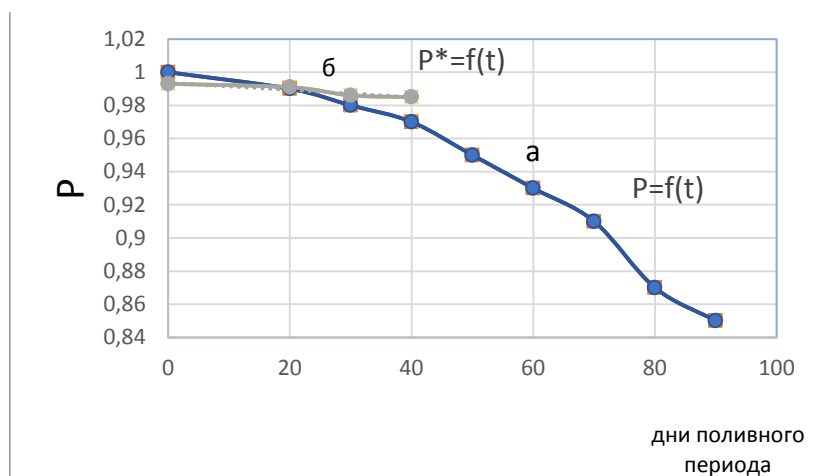


Рисунок 7 – Кривые функции надежности
Figure 7 – Reliability function curves

Для этого были использованы эмпирические функции, отвечающие за динамику изменения вероятности отказа в зависимости от степени засорения, выраженной параметром $N-n$.

Анализ показал, что функция вероятности отказа без использования дополнительного фильтрующего оборудования характеризуется следующей квадратичной зависимостью:

$$P^*(t) = y = -3E-06x^2 - 0,0001x + 0,9932 \quad (1)$$

с достаточно высокой степенью точности моделирования $R^2 = 0,9187$.

В то же время при использовании мобильной фильтрующе-водоприемно-очистной установки (МФОУ) функция вероятности безотказной работы приобретает следующий вид:

$$P(t) = y = -2E-05x^2 - 8E-05x + 0,9997 \quad (2)$$

с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,9955$.

Следовательно, данная модель свидетельствует о существенном повышении надёжности системы за счет внедрения дополнительного оборудования. Графические материалы, построенные на основе этих функций, демонстрируют значительное увеличение

вероятности безотказной работы капельных линий с применением МФОУ в условиях засорения. Это позволяет сделать вывод о возможности сокращения объема регулярных контрольных мероприятий и визуальных проверок работы системы, что существенно повышает эффективность орошаемых полей.

Выводы. При проведении полевых испытаний были отмечены высокие показатели эффективности предложенной методики. Эффективности сорбционной очистки достигли за счет установленного соответствия между размерами фракций цеолита. Использование сорбционных радиальных фильтров позволит снизить концентрацию аммонийного азота в искусственных рыбных прудах, поддержать обитаемость в прудовых экосистемах и оптимизировать процессы рыбоводства.

Внедрение рекомендованных инженерных решений в практику даст возможность не только обеспечить качественную очистку вод, но и орошать эколокультуры.

Разработанные технологии могут быть также адаптированы для других водоемов, что открывает новые горизонты для дальнейших исследований и практического применения.

Результаты исследования подтверждают целесообразность применения МФОУ на стадии проектирования и эксплуатации систем капельного орошения. Внедрение данного оборудования способствует повышению надежности и долговечности систем, что, в свою очередь, способствует повышению продуктивности и экономической эффективности мелиоративных мероприятий.

Conclusions. During the field trials, high performance indicators of the proposed methodology were noted. The efficiency of sorption purification was achieved due to the established correspondence between the sizes of zeolite fractions. The use of sorption radial filters will allow the concentration of ammonium nitrogen in artificial fish ponds, maintaining habitability in pond ecosystems and optimizing fish farming processes. The implementation of recommended engineering solutions in practice will make it possible not only to ensure high-quality water treatment, but also makes it possible to irrigate eco cultures. The developed technologies can also be adapted for other reservoirs which opens up new horizons for further research and practical application. The results of the study confirm the expediency of using MFIs at the design and operation stage of drip irrigation systems. The introduction of this equipment helps to increase the reliability and durability of the systems, which, in turn, contributes to increased productivity and economic efficiency of land reclamation activities.

Библиографический список

1. Калайда М. Л., Дементьев Д. С. Качество вод как важная компонента развития форелеводческих фермерских хозяйств в поволжском регионе. Бутлеровские сообщения. 2017. Т. 49. № 1. С. 145-152.
2. Алексеева В. Н. Приоритетные заболевания осетровых рыб при выращивании в установке замкнутого водоснабжения. Актуальные проблемы науки и техники: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2022. С. 27-28.
3. Матишов Г. Г. и др. Гидрохимический состав подземных вод и их применение в рыбоводческих хозяйствах. Наука Юга России. 2023. Т. 19. № 4. С. 93-102.
4. Юрченко И. Ф. Планирование системного водораспределения: современное состояние и приоритетные направления совершенствования. Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13. № 1. С. 184-199.
5. Судакова Н. В., Микодина Е. В., Васильева Л. М. Смена парадигмы искусственного воспроизводства осетровых рыб (Acipenseridae) в Волжско-Каспийском бассейне в условиях дефицита производителей естественных генераций. Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 4. С. 698-711.
6. Заделенов В. А. и др. Осетровые рыбы (Acipenseridae) р. Енисей в аквакультуре (обзор). Вестник КрасГАУ. 2022. № 9 (186). С. 191-198.
7. Левина О. А., Металлов Г. Ф., Пономарев С. В. Оценка биогенной нагрузки и эффективности выращивания русского осетра при солоноватоводном режиме в условиях замкнутого водообеспечения. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2017. № 4. С. 109-117.
8. Наумова В. В., Кирьянов Д. А., Свешникова Е. В. Безопасность стерляди, выращенной в условиях УЗВ. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 4 (40). С. 81-85.
9. Смирнова Н. В., Лозовская М. В. Влияние различных концентраций кислорода, диоксида углерода, аммиака на выживаемость осетровых рыб и пути ее повышения. Современные проблемы науки и образования. 2011. № 5. С. 104.
10. Зыкова И. В., Исаков В. А. Адсорбция фенолов на примере резорцина из модельных растворов различными сорбентами в динамических условиях. Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2017. № 4. С. 66-70.
11. Серпокровлов Н. С., Боронина Л. В., Тажиева С. З. Результаты экспериментальных исследований процессов очистки прудовой воды на фильтрах с радиально-восходящим потоком жидкости. Градостроительство и архитектура. 2016. № 2 (23). С. 36-42.
12. Харламова А. Э., Серпокровлов Н. С., Бекбергенова С. З. Разработка технологии и устройств подготовки вод для разведения осетровых рыб (на примере аридных зон). Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2022. № 4 (156). С. 62-67.

References

1. Kalaida M. L., Dementyev D. S. Water quality as an important component of trout farming development in the Volga region. The Butlerite messages. 2017. Vol. 49. No. 1. Pp. 145-152.
2. Alekseeva V. N. Priority diseases of sturgeon fish during cultivation in a closed-circuit water supply installation. Actual problems of science and technology: proceedings of the All-Russian (national) Scientific and Practical Conference. Rostov-on-Don: Don State Technical University, 2022. Pp. 27-28.

3. Matishov G. G. et al. Hydrochemical composition of groundwater and their use in fish farming. Science of the South of Russia. 2023. Vol. 19. No. 4. Pp. 93-102.
4. Yurchenko I. F. Planning of system water distribution: current state and priority areas of improvement. Land reclamation and hydraulic engineering. 2023. Vol. 13. No. 1. Pp. 184-199.
5. Sudakova N. V., Mikodina E. V., Vasilyeva L. M. Paradigm shift in artificial reproduction of sturgeon (Acipenseridae) in the Volga-Caspian basin in conditions of shortage of natural generation producers. Agricultural biology. 2018. Vol. 53. No. 4. Pp. 698-711.
6. Zadelenov V. A. et al. Sturgeon fish (Acipenseridae) of the Yenisei River in aquaculture (review). Bulletin of the KrasGau. 2022. No 9 (186). Pp. 191-198.
7. Levina O. A., Metallov G. F., Ponomarev S. V. Assessment of the biogenic load and efficiency of growing Russian sturgeon under brackish water conditions in closed water supply. Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries. 2017. No 4. Pp. 109-117.
8. Naumova V. V., Kiryanov D. A., Sveshnikova E. V. Safety of sterlet grown in the conditions of ultrasound. Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2017. No 4 (40). Pp. 81-85.
9. Smirnova N. V., Lozovskaya M. V. The influence of various concentrations of oxygen, carbon dioxide, and ammonia on the survival of sturgeon fish and ways to increase it. Modern problems of science and education. 2011. No. 5. P. 104.
10. Zyкова I. V., Isakov V. A. Adsorption of phenols using the example of resorcinol from model solutions by various sorbents under dynamic conditions. Bulletin of the St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1: Natural and Technical Sciences. 2017. No 4. Pp. 66-70.
11. Serpokyrov N. S., Boronina L. V., Tazhieva S. Z. Results of experimental studies of pond water purification processes on filters with radially ascending liquid flow. Urban planning and architecture. 2016. No. 2 (23). Pp. 36-42.
12. Kharlamova A. E., Serpokyrov N. S., Bekbergenova S. Z. Development of technology and devices for water treatment for breeding sturgeon (on the example of arid zones). Bulletin of the Donbass National Academy of Construction and Architecture. 2022. No 4 (156). Pp. 62-67.

Информация об авторах

Хецуриани Елгуджа Демурович, доктор технических наук, профессор, доцент кафедры, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М. И. Платова (Российская Федерация, Ростовская область, г. Новочеркасск), <https://orcid.org/0000-0002-0746-740X>, e-mail: Goodga@mail.ru

Бекберенова Светлана Загировна, соискатель, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М. И. Платова (Российская Федерация, Ростовская область, г. Новочеркасск), e-mail: polet-11@mail.ru

Хохрин Максим Сергеевич, аспирант, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М. И. Платова (Российская Федерация, Ростовская область, г. Новочеркасск).

Хецуриани Тимур Елгуджаевич, магистр, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М. И. Платова (Российская Федерация, Ростовская область, г. Новочеркасск), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0013-4119>, e-mail: xeczuriani.tima@mail.ru

Authors' Information

Hetsuriani Jelguja Demurovic, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Associate Professor, South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M. I. Platov (Russian Federation, Rostov region, Novocherkassk), <https://orcid.org/0000-0002-0746-740X>, e-mail: Goodga@mail.ru

Bekbergenova Svetlana Zagirovna, applicant, South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M. I. Platov (Russian Federation, Rostov region, Novocherkassk), e-mail: polet-11@mail.ru

Khoirin Maksim Sergeyevich, graduate student, South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M. I. Platov (Russian Federation, Rostov region, Novocherkassk).

Khetsuriani Timur Elgudzhavich, Master, South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M. I. Platov (Russian Federation, Rostov region, Novocherkassk), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0013-4119>, e-mail: xeczuriani.tima@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-58

THE PRE-SOWING SEED PREPARATION – THE MAGNETIC FIELD TREATMENT

¹Yudaev I. V., ¹Daus Yu. V., ²Arylov Yu. N., ³Fomin S. D., ²Bolaev B. K., ²Kurepina N. L.,
²Okonov M. M., ⁴Byshov D. N.

¹Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin
Krasnodar, Russian Federation

²Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov
Elista, Republic of Kalmykia, Russian Federation

³Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

⁴Ryazan Agro-technological University named after P. A. Kostychev
Ryazan, Russian Federation

Corresponding author E-mail: etsh1965@mail.ru

Received 29.11.2025

Submitted 20.01.2026

The work was carried out according to the subject of scientific research, based on the Krasnodarskoye experimental farm.

Abstract

Introduction. Sustainable agricultural development is impossible without normal crop production, with high yields. The success of crop production directly depends on the quality of seed preparation before sowing. Currently, considerable attention is being paid to the potential of using a variety of environmentally safe and

technologically efficient methods for pre-sowing stimulation, such as electromagnetic stimulation. Magnetic fields are particularly prominent among these methods. An analysis of their effectiveness revealed that gradient magnetic fields with intensities ranging from several milliteslas to tens of milliteslas (medium-intensity fields) offer research and practical benefits. **Materials and Methods.** The study was conducted using a custom-built setup for treating forage grass seeds in a gradient magnetic field. Several exposure modes, ranging from 0.83 to 8.0 mT, were studied for various agricultural plants. Growth energy and laboratory germination were assessed using standard methods used in Russia for such studies. **Results and Conclusions.** The results of treating herbaceous seeds in a gradient magnetic field confirmed the feasibility of magnetic priming as a method for pre-sowing seed stimulation. Despite the extremely short treatment time of 1.5-3 seconds, seeds in most experiments showed a positive laboratory germination response to magnetic stimulation. Seeds of alfalfa (*Medicago x varia* Martyn) cultivar "Nakhodka" and red clover (*Trifolium pratense*) cultivar VIK-77 demonstrated high sensitivity to magnetic treatment. The average sensitivity was demonstrated by the seeds of perennial ryegrass (*Lolium perenne*) variety 'VIK-66' and red fescue (*Festuca rubra*) under magnetic treatment conditions with induction of 2.51, 3.34, 4.2, 5.04 and 6.7 mT. The less than average sensitivity was demonstrated by the seeds of white clover (*Trifolium repens*) variety 'Lugovik' and meadow fescue (*Festuca pratensis*), while the seeds of orchard grass (*Dactylis glomerata*) variety 'VIK-26' demonstrated the lowest response to treatment in a gradient magnetic field slightly above the background of the control sowing. The most effective, in terms of achieving high germination rates, were the gradient magnetic field conditions with induction of 3.34; 4.2; 5.04 and 6.7 mT on the seeds of different grasses.

Keywords: perennial grass seeds, gradient magnetic field, pre-sowing seed treatment, seed germination, treatment regimens, magnetic field induction.

Citation. Yudaev I. V., Daus Yu. V., Arylov Yu. N., Fomin S. D., Bolaev B. K., Kurepina N. L., Okonov M. M., Byshov D. N. The pre-sowing seed preparation – the magnetic field treatment. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 549-566 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-58.

Authors' Contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this article have read and approved the submitted final version.

Conflict of Interest. The authors declare no conflicts of interest.

УДК 633.2+631.53.027.3

ПРЕДПОСЕВНАЯ ПОДГОТОВКА СЕМЯН – ОБРАБОТКА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

¹Юдаев И. В., доктор технических наук, профессор

¹Даус Ю. В., доктор технических наук, доцент

²Арылов Ю. Н., доктор биологических наук, профессор

³Фомин С. Д., доктор технических наук, профессор

²Болаев Б. К., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

²Курепина Н. Л., доктор экономических наук, профессор

²Оконов М. М., доктор биологических наук, профессор

⁴Бышов Д. Н., доктор технических наук, доцент

¹ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»
г. Краснодар, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова»
г. Элиста, Республика Калмыкия, Российская Федерация

³ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград Российская Федерация

⁴ФГБОУ ВО «Рязанский агротехнологический университет имени П. А. Костычева»
г. Рязань, Российская Федерация

Работа выполнена согласно тематике научно-исследовательских работ, на базе учебно-опытного хозяйства «Краснодарское».

Актуальность. Устойчивое развитие сельскохозяйственного производства не возможно без нормально функционирующего, с высокими собираемыми урожаями, растениеводства, успех которого напрямую зависит от того как подготовлены семена перед посевом. В настоящее время пристальное внимание уделяется возможности использовать для предпосевной стимуляции разнообразные способы, которые характеризуются экологической безопасностью и технологической эффективностью, как например воздействия электромагнитной природы, среди которых выделяются варианты применения для этого магнитного поля. Анализ эффективности его применения показал, что исследовательский и практический интерес проявляется, если для этого использовать градиентные магнитные поля с интенсивностью от нескольких единиц до десятков миллиТесла (поля средней интенсивности). **Материалы и методы.** Исследования проводились на специально изготовленной установке, в которой проходила обработка семян кормовых трав в градиентном магнитном поле. Изучались не-

сколько режимов воздействия от 0,83 до 8,0 мТл на различные растения, культивируемые в сельском хозяйстве. Оценку на энергию роста и лабораторную всхожесть проводили по стандартным методикам, применяемым в стране для такого рода исследований. **Результаты и выводы.** Результаты обработки семян травянистых культур в градиентном магнитном поле подтвердили возможность использования магнитного прайминга, как способа стимуляции семян перед посевом. Несмотря на крайне низкое время обработки 1,5-3 секунды, семена в большей части экспериментов проявили положительную реакцию лабораторной всхожести на влияющее магнитное воздействие. Высокую чувствительность к магнитной обработке проявили семена люцерны изменчивой (*лат. Medicago x varia Martyn*) сорта «Находка» и клевера лугового (*лат. Trifolium pratense*) сорта «ВИК-77»; среднюю чувствительность – семена райграсса пастбищного (*лат. Lolium perenne*) сорта «ВИК-66» и овсяницы красной (*лат. Festuca rubra*), что проявилось на режимах магнитной обработки с индукцией 2,51; 3,34; 4,2; 5,04 и 6,7 мТл. Менее среднюю – семена клевера ползучего (*лат. Trifolium repens*) сорта «Луговик» и овсяницы луговая (*лат. Festuca pratensis*), а вот семена ежи сборной (*лат. Dactylis glomerata*) сорта «ВИК-26» проявили самую низкую отзывчивость на обработку в градиентном магнитном поле несколько выше фона контрольного засева. Наиболее результативно, с точки зрения достижения высоких показателей всхожести, проявили себя на семенах разных трав режимы градиентного магнитного поля с индукцией 3,34; 4,2; 5,04 и 6,7 мТл.

Ключевые слова: семена многолетних трав, градиентное магнитное поле, предпосевная обработка семян, всхожесть семян, режимы обработки семян, индукция магнитного поля.

Цитирование. Юдаев И. В., Даус Ю. В., Арылов Ю. Н., Фомин С. Д., Болаев Б. К., Курепина Н. Л., Оконов М. М., Бышов Д. Н. Предпосевная подготовка семян – обработка в магнитном поле. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 549-566. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-58.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В 2015 году в качестве «плана достижения лучшего и более устойчивого будущего для всех» под эгидой ООН были сформулированы взаимосвязанные цели устойчивого развития, в основе которых лежала концепция, объединившая в себе три основных базисных вектора: экономика, социальная политика и устойчивость окружающей среды. В результате появились на свет 17 глобальных целей и соответствующие им задачи: 1) ликвидация нищеты; 2) ликвидация голода; 3) хорошее здоровье и благополучие; 4) качественное образование; 5) гендерное равенство; 6) чистая вода и санитария; 7) доступная и чистая энергия; 8) достойная работа и экономический рост; 9) индустриализация, инновации и инфраструктура; 10) сокращение неравенства; 11) устойчивые города и сообщества; 12) ответственное потребление и производство; 13) борьба с изменением климата; 14) сохранение морских экосистем; 15) сохранение экосистем суши; 16) мир, справедливость и эффективные институты; 17) партнёрство в интересах устойчивого развития. Все перечисленные целеуказания подразумевают, прежде всего, принятие таких мер, которые были бы направлены на оптимальное и рачительное использование имеющихся ограниченных природных ресурсов, широкое и повсеместное применение экологически безопасных, природо-, энерго-, и ресурсосберегающих технологий, сохранение стабильности и динамичное развитие социокультурных систем, обеспечение целостности и устойчивости биологических и природных систем. Даже беглое знакомство и анализ показывает, что основной лейтмотив этих принимаемых к исполнению действий, напрямую связан с производством продуктов питания, долголетием, новыми источниками энергии, чистыми водными ресурсами, экологической безопасностью и т. п., и реализовать которые можно за счет максимальной их интеграции с аграрным сектором экономики, затрагивая сельское хозяйство во всех его проявлениях [1].

Сегодня самой серьезной поднимаемой в обществе проблемой является проблема обеспечения населения планеты продуктами питания, которые как в виде готового товара, так и в качестве сырья для последующей переработки, производятся на сельскохозяйственных угодьях и территориях. Также можно отметить, что на протяжении всего своего жизненного цикла – от производства до потребления – продукты питания напрямую влияют на окружающую среду и экологию пространства. При этом основой для производства продуктов питания является продукция растениеводства, которая должна быть необходимого для потребителей качества и выращена в достаточном для насыщения рынков количестве. Получить планируемый урожай можно, если в первую очередь подготовить основу для производства растениеводческой продукции – кондиционные и качественные семена к по-

сеvu. Как подтверждают ученые-агроарии и фиксируют на практике землепользователи – качество семян, пожалуй, самый важный фактор в растениеводстве, так как именно качественный посевной материал обеспечивает высокую урожайность, улучшает «здоровье» растений и позволяет эффективно использовать ресурсы для роста и развития возделываемых культур. Хорошо известно, что семена являются основополагающим фактором для повышения урожайности: только за счёт использования высококачественных семян можно ее увеличить примерно на 25-30 %, что связано, в первую очередь с тем, что они обладают лучшей всхожестью, устойчивостью к болезням и вредителям и т.п. проявлениям [2, 3].

По словам руководителей агропромышленного комплекса страны, в 2025 году доля отечественных семян приблизилась к 70 %, тогда как в 2022 году этот показатель составлял 60 %, а в ближайшие 2-3 года его планируется довести до 75 %. Сегодня средняя отпускная цена семян отечественных сортов ниже зарубежных аналогов, но при этом средняя их урожайность отстает, например, по кукурузе среднеспелых гибридов она ниже на 32 %, по сое – на 24 %, по подсолнечнику, сахарной свекле, кукурузе поздних гибридов – на 12 %, при этом не в пользу отечественных семян еще сказывается и то обстоятельство, что импортный посевной материал меньше реагирует на изменение почвенно-климатических условий, и он более устойчив к заболеваниям [4]. Как следствие, в стране пока еще сохраняется зависимость от импортных семян по таким культурам, как подсолнечник, кукуруза, сахарная свёкла, цветы, соя, яровой рапс, картофель и некоторые овощные культуры. Отечественное семеноводство динамично развивается, но при этом сохраняются вызовы, требующие системных решений, инновационных подходов и наращивания инвестиций в отрасль. Поэтому необходим поиск новых, а в некоторых случаях восстановление непросто забытых способов подготовки семян к посеву, что является той агротехнологической необходимостью сегодняшнего дня, которая поможет и отечественным семеноводам, и землепользователям добиться высоких урожаев, обеспечить себя семенами, а столы жителей и прилавки торговых организаций качественной, в достаточном для удовлетворения спросе количестве экологически чистой и безопасной продукцией [5].

Основная задача подготовки семян к посеву, это, прежде всего, выполнение последовательности агротехнологических операций и мероприятий, в результате чего семена переходят из состояния покоя к прорастанию и активному росту, формируя в итоге новое растение. Покой семян – адаптивный признак, который блокирует прорастание семян при благоприятных условиях окружающей среды; прорастание же семян – сложный физиологический процесс, который начинается с поглощения воды покоящимся сухим семенем и заканчивается прорастанием корешка через покровные слои семени. Сам процесс протекает только при соблюдении необходимых для этого условий, а именно для развития семени крайне необходимы такие влияющие на это факторы, как влага, тепло, свет и др. [6, 7].

К физическим факторам, положительно воздействующим на семена и позволяющим добиться предварительной обработкой планируемых результатов по обеспечению «здоровья» растений и повышения их урожайности, прежде всего, относят: гравитационное поле; электромагнитные излучения различных диапазонов (гамма-излучение, рентгеновское излучение, УФ-излучение, видимое оптическое излучение, концентрированное солнечное излучение полного спектра, ИК-излучение, радио-излучение); электростатическое поле; электрическое поле коронного разряда; низкочастотное магнитное поле; магнитное поле постоянного тока; градиентное магнитное поле и др. [8-11].

Одним из перспективных методов повышения посевных качеств семян является их магнитная обработка или магнитный прайминг. Этот вариант предпосевной обработки заключается в организации воздействий искусственно созданных магнитных полей на семенной материал. Наряду с гравитацией, светом, температурой и доступностью воды, геомагнитное поле планеты присутствовало с самого начала эволюции на ней растений. За исключением гравитационного поля, все остальные влияющие факторы, включая и геомагнитное поле, постоянно менялись в ходе исторического развития растений, представляя собой важные абиотические стрессовые факторы, что в конечном итоге способствовало диверсификации и видообразованию растений. Поэтому многие ученые и исследователи отмечают тот факт, что растения в популяциях отличаются индивидуальной чувствительностью к изменению напряженности и индукции магнитного поля [12].

Анализ существующих подходов по обработке семян в искусственно созданных магнитных полях. В качестве методики анализа результатов существующих способов обработки семян в магнитных полях, воспользуемся принципом описательной анали-

тики, оценив имеющиеся результаты, достигаемые такого рода обработкой, обобщив имеющиеся представления о механизмах влияния магнитного поля на растительные организмы, рассмотрев параметры и режимы магнитного прайминга семян.

Магнитные, впрочем, как и электрические поля представляют собой особую форму существующей вокруг нас материи, в виде электромагнитного поля. Изменяющееся электрическое поле порождает магнитное, а изменяющееся магнитное поле, в свою очередь, порождает электрическое, что позволяет им существовать вместе как единое целое. Существование магнитного поля определяется движением электрических зарядов или наличием его источника – постоянных магнитов. Сегодня для любого исследователя понятен тезис, что магнитное поле – это неперенное условие для существования биологической жизни на планете, и поэтому можно достоверно говорить, что рост и развитие растений напрямую зависят от существующей на планете магнитной активности. Растительные организмы за все время своего существования приспособились к геомагнитному полю Земли, и, следовательно, любое воздействие на них магнитным полем, например, искусственно созданным человеком, откликается в растительном организме. Магнитное поле Земли характеризуется, прежде всего, географическими вариациями интенсивности от 25 до 65 мкТл, а также его наклоном и склонением.

При изучении влияния магнитных полей на растительные объекты использовали искусственно созданные поля следующих интенсивностей: 1) сверхслабые (ниже 100 нТл); 2) слабые (от 100 нТл до 50 мТл); 3) средние (от 50 до 400 мТл); 4) сильные (от 400 до 1000 мТл); 5) сверхсильные (свыше 1000 мТл). Кроме этого в зависимости от чувствительности растительных организмов, выделили и воздействие поля четырех типов: «1) слабые статические однородные магнитные поля (0-100 мкТл, включая геомагнитное поле планеты), 2) сильные однородные магнитные поля (от миллиТл до Тесла), 3) сильные неоднородные магнитные поля, 4) крайне низкочастотные магнитные поля с низкой или умеренной (несколько сотен мкТл) плотностью магнитного потока» [13]. Электромагнитные воздействия рассматривали формируемыми как низкочастотными магнитными полями (от 7,5 Гц до 18 Гц), так и полями промышленной частоты (50-60 Гц). Экспериментальные исследования проводили также с однородными и неоднородными, градиентными магнитными полями, создаваемыми постоянным и переменным электрическим током различной частоты [14, 15].

Первоначальные исследования обнаружили простую причинно-следственную связь между обработкой магнитным полем и ростом растений, и по результатам анализа экспериментальных данных отмечалось, что магнитные воздействия влияли на метаболизм и рост различных растений в зависимости от типа используемого магнита, интенсивности магнитного поля, а также полярности, ориентации и продолжительности воздействия [16, 17].

Сила прорастания семян характеризовалась «теми их свойствами, которые определяют потенциал для быстрого, равномерного появления и развития нормальных сеянцев в широком диапазоне полевых условий» [18].

Магнитные поля, по мнению многих авторов и исследователей, служат в растениеводческой отрасли сельского хозяйства в качестве агротехнологической операции по физической предобработке семян для улучшения их прорастания и появления всходов, с целью увеличения собираемого урожая, возделываемых из них культур без негативного антропогенного воздействия на окружающую среду. Известно, что обработанные таким образом семена показывают более высокую всхожесть, большую высоту проростков и увеличенную сырую и сухую массу по сравнению с растениями из необработанных семян. Такой подход при предпосевной стимуляции семян помогает последним эффективнее поглощать воду и активирует важные ферменты, такие как α -амилаза, способствуя тем самым расщеплению запасенных питательных веществ в семенах и обеспечивая энергией растущее растение. Кроме этого, стимулируется выработка оксида азота – соединения, помогающего растениям справляться со стрессом, и возможным изменением экспрессии генов, связанных с прорастанием семян, повышая устойчивость к стрессу [19].

Фиксируемое при этом биостимулирующее воздействие, как установлено экспериментально, зависит от таких влияющих факторов как: генотип, частота переменного магнитного поля, плотность магнитного потока, время воздействия на семена, абсолютная доза воздействия и полярность.

В настоящее время имеются многочисленные результаты такого рода экспериментов, и поэтому исследовательский интерес представляют результаты анализа как параметров и режимов воздействия, так и реакции на них со стороны семян, появившихся ростков и растений (см. таблицу № 1).

Таблица 1 – Анализ и сравнение результатов, проведенных исследований по изучению влияния магнитного поля на семена

Table 1 – Analysis and comparison of the results of studies conducted on the influence of magnetic fields on seeds

Семена растения / Plant seeds	Вид магнитного поля (МП), его характеристики и достигнутые результаты / Type of magnetic field (MF), its characteristics and achieved results
1	2
Сверхслабые и слабые магнитные поля (ниже 100 нТл и от 100 нТл до 50 мТл) / Ultra-weak and weak magnetic fields (below 100 nT and from 100 nT to 50 mT)	
Импульсные магнитные поля / Pulsed magnetic fields	
Соя (<i>лат. Glycine max</i>) [20] / Soy	Импульсное МП: индукция – 1500 нТл; режим обработки – 5 часов в день в течение 20 дней; 0,1; 1,0; 10,0 и 100,0 Гц. Достигнутые результаты: улучшенное прорастание (10 и 100 Гц); увеличение сырой массы побегов и корней на 28 %, сухой массы вещества на 44 %; увеличение площади листьев и высоты сеянцев на 10 % (1,0 и 10 Гц); увеличение количества стручков на 15 % и семян – на 10 % / Pulse MF: induction – 1500 NT; processing mode – 5 hours per day for 20 days; 0.1, 1.0, 10.0 and 100.0 Hz. Results achieved: improved germination (10 and 100 Hz); an increase in the wet mass of shoots and roots by 28 %, dry matter by 44 %; an increase in leaf area and seedling height by 10 % (1.0 and 10 Hz); an increase in the number of pods by 15 % and seeds by 10 %
Хлопчатник (<i>лат. Gossypium</i>) [21] / Cotton	Импульсное МП: индукция – 2,25; 1,66; 1,49 мТл; время обработки – 15, 30 минут Достигнутые результаты: улучшение по всем измерениям (скорость транспирации, скорость фотосинтеза, устьичная проводимость, рост корней, рост побегов и процентное содержание N, P, K, Ca и Mg) развития растений из обработанных в МП семян / Pulsed MF: induction – 2.25, 1.66, 1.49 MT; treatment time – 15, 30 minutes Results achieved: improvement in all measurements (transpiration rate, photosynthesis rate, stomatal conductivity, root growth, shoot growth and percentage of N, P, K, Ca and Mg) of plant development from treated in MP seeds
Постоянные магнитные поля / Constant magnetic fields	
Лук (<i>лат. Allium cepa</i>), рис (<i>лат. Oryza sativa</i>) [22] / Onion, rice	Постоянное МП: индукция – 1500 нТл; время обработки – 12 часов Достигнутые результаты: увеличение всхожести на 127,3 % и удельного веса на 36,6 % по сравнению с контрольными семенами лука; увеличение удельного веса на 161,48 % у риса / Constant MF: induction – 1500 NT; processing time – 12 hours Results achieved: an increase in germination by 127.3 % and specific gravity by 36.6 % compared to control onion seeds; an increase in specific gravity by 161.48 % in rice
Пшеница мягкая (<i>лат. Triticum aestivum</i>), фасоль обыкновенная (<i>лат. Phaseolus vulgaris</i>) [23] / Soft wheat, common beans	Постоянное МП: индукция – 4 и 7 мТл; различные среды с осмотическим давлением 0; 2; 6 и 10 атмосфер, приготовленных с сахарозой или солью Достигнутые результаты: улучшенное прорастание; увеличение накопления сухой биомассы корней и побегов во всех вариантах обработки для пшеницы, но не во всех для фасоли / Constant MF: induction – 4 and 7 MT; various media with osmotic pressure of 0, 2, 6 and 10 atmospheres, prepared with sucrose or salt Results achieved: improved germination; increased accumulation of dry biomass of roots and shoots in all processing options for wheat, but not all for beans
Подсолнечник однолетний (<i>лат. Helianthus annuus</i>), Кукуруза сахарная (<i>лат. Zea mays</i>) [24] / Annual sunflower, sugar corn	Постоянное статическое МП: индукция – 5 мТл; время обработки – 2 часа; режим обработки – при действии МП параллельно силе тяжести (поле вниз) и антипараллельно (поле вверх) Достигнутые результаты: снижалась концентрация хлорофилла у растений кукурузы, но увеличивалась у подсолнечника при любом направлении МП; увеличивалась длина листьев и стеблей у растений кукурузы при любом направлении МП; длина листьев не изменялась у подсолнечника, а длина стебля увеличивалась при направлении вниз МП; снижалась концентрация фитогормонов в растениях кукурузы в обоих направлениях МП / Constant static MF: induction – 5 MT; processing time – 2 hours; processing mode – when the MP is applied parallel to gravity (field down) and antiparallel (field up) Results achieved: the concentration of chlorophyll in corn plants decreased, but increased in sunflower in any direction of MP; the length of leaves and stems increased in plants corn in any direction of MP; the length of the leaves did not change in sunflower, and the length of the stem increased in the downward direction of MP; the concentration of phytohormones in corn plants decreased in both directions of MF

Продолжение таблицы 1

1	2
Низкочастотные переменные магнитные поля / Low-frequency alternating magnetic fields	
Редис (<i>лат. Raphanus sativus</i>) [25] / Radish	Низкочастотное МП: индукция – 10; 20 и 30 мкТл; время обработки – 30; 60; 90 и 120 минут. Достигнутые результаты: улучшенное прорастание (20 мкТл, 120 мин и 20 мкТл, 60 мин) / Low-frequency MF: induction – 10, 20 and 30 μ T; treatment time – 30, 60, 90 and 120 minutes Results achieved: improved germination (20 μ T, 120 min and 20 μ T, 60 min)
Чечевица алтайская (<i>лат. Lens culinaris</i>) [26] / Lentil	Низкочастотное МП: индукция – 8 и 12 мТл; время обработки – 9 минут; частота 16 Гц; направление силовых линий МП против силы тяжести. Достигнутые результаты: увеличивается всхожесть на 15 % (8 мТл, 9 минут, 16 Гц); ускоряется прорастание семян и увеличивается их вегетативная масса (12 мТл, 9 минут, 16 Гц); замедляется процесс прорастания и снижается всхожесть на 26 % (9 минут, 100 кГц) и на 50 % (30 минут, 100 кГц) / Low-frequency MF: induction - 8 and 12 MT; processing time – 9 minutes; frequency – 16 Hz; direction of the MF lines of force against gravity. Achieved results: germination increases by 15 % (8 MT, 9 minutes, 16 Hz); seed germination accelerates and their vegetative mass increases (12 MT, 9 minutes, 16 Hz); germination slows down and germination decreases by 26 % (9 minutes, 100 kHz) and by 50 % (30 minutes, 100 kHz)
Магнитные поля переменного тока / Magnetic fields of alternating current	
Картофель (<i>лат. Solanum tuberosum</i>) [27] / Potato	Переменное МП: индукция – 1,5 мкТл; режим обработки – 15 мин воздействия, 5 мин перерыва в течение 1 часа перед посадкой; частота – 125 Гц Достигнутые результаты: увеличение скорости прорастания; улучшение роста и развития картофеля; повышение общей урожайности / Variable MF: induction – 1.5 μ T; treatment mode – 15 min exposure, 5 min break for 1 hour before landing; frequency – 125 Hz Results achieved: increased germination rate; improved potato growth and development; increased overall yield
Кукуруза сахарная (<i>лат. Zea mays</i>) [28] / Sugar corn	Переменное МП: индукция МП – 1 мТл; время обработки – 60 минут; частота – 10; 20; 30; 40 и 50 Гц; тип сигнала –: синусоида и меандр Достигнутые результаты: стимулирование прорастания («синусоида», 20 Гц, 1 мТл, 60 минут) и («меандр», от 10 до 50 Гц, 1 мТл, 60 минут); увеличение длины стебля и корневой системы растений («синусоида», 20 и 50 Гц, 1 мТл, 60 минут) / Variable MF: MF induction – 1 MT; processing time – 60 minutes; frequency – 10, 20, 30, 40 and 50 Hz; signal type –: sinusoid and meander Achieved results: stimulation of germination ("sinusoid", 20 Hz, 1 MT, 60 minutes) and ("meander", from 10 to 50 Hz, 1 MT, 60 minutes); increase in the length of the stem and root system of plants ("sinusoid", 20 and 50 Hz, 1 MT, 60 minutes)
Ячмень (<i>лат. Hordeum vulgare</i>), кукуруза (<i>лат. Zea mays</i>), фасоль (<i>лат. Phaseolus</i>), пшеница (<i>лат. Triticum</i>) [29] / Barley, beans, wheat	Переменное МП: индукция МП – 5 мТл; время обработки – 2 часа; частота – 16,0 и 50,0 Гц Достигнутые результаты: стимулирование прорастания семян и всхожести; увеличение скорости роста и развития проростков / Variable MF: induction MF – 5 MT; processing time – 2 hours; frequency – 16.0 and 50.0 Hz Achieved results: stimulating seed germination and germination; increasing the rate of growth and development of seedlings
Пшеница (<i>лат. Triticum</i>) [30] / Wheat	Переменное МП: индукция МП – от 3 до 75 мТл; время обработки – от 10 до 30 минут; частота – 1-100 Гц Достигнутые результаты: увеличение содержаний гликозидных связей, отражающих процесс биохимического преобразования крахмала и жира в вещества, необходимые для прорастания семян (10 мТл, 25 минут, 16 Гц) / Variable MF: MF induction – from 3 to 75 MT; processing time – from 10 to 30 minutes; frequency – 1-100 Hz Results achieved: an increase in the content of glycoside bonds reflecting the process of biochemical transformation of starch and fat into substances necessary for seed germination (10 MT, 25 minutes, 16 Hz)
Яровая пшеница (<i>лат. Triticum aestivum</i>); яровой ячмень (<i>лат. Hordeum vulgare</i>); озимая пшеница (<i>лат. Triticum aestivum</i>) [31] / Spring wheat, spring barley, winter wheat	Переменное МП: индукция МП – 10 и 25 мТл; время обработки – 5 и 25 минут; частота – 16; 50 и 75 Гц Достигнутые результаты: эффективность обработки доказана приростом урожайности для следующих сортов: 16 Гц, 25 мТл, 25 мин – для сортов яровой пшеницы Эстер (прирост 13 %); 50 Гц, 25 мТл, 25 мин – для ярового ячменя Знатный (прирост 5 %); 75 Гц, 25 мТл, 5 мин – для сортов озимой пшеницы Поволжская 21 (прирост 22 %); 16 Гц, 10 мТл, 25 мин – для озимой пшеницы Поволжская Нива (прирост 19 %), Московская 39 (прирост 13 %) / Variable MF: induction MF – 10 and 25 MT;

Продолжение таблицы 1

1	2
	processing time – 5 and 25 minutes; frequency – 16, 50 and 75 Hz Results achieved: the efficiency of processing was proved by an increase in yield for the following varieties: 16 Hz, 25 MT, 25 min – for spring wheat varieties Ester (13 % increase); 50 Hz, 25 MT, 25 min – for Noble spring barley (5 % increase); 75 Hz, 25 MT, 5 min – for winter wheat varieties Povolzhskaya 21 (increase of 22 %); 16 Hz, 10 MT, 25 min – for winter wheat Povolzhskaya Niva (increase of 19 %), Moskovskaya 39 (increase of 13 %)
Соя (<i>лат. Glycine max</i>) [32] / Soy	Переменное МП: индукция – 30 мТл; время обработки – 60 секунд Достигнутые результаты: улучшение всхожести у всех сортов; увеличение общего количества растений; увеличение сырой массы / Variable MF: induction – 30 MT; processing time – 60 seconds Results achieved: improved germination in all varieties; an increase in the total number of plants; an increase in the raw mass
Средние магнитные поля (от 50 мТл до 400 мТл) / Medium magnetic fields (from 50 mT to 400 mT)	
Импульсные магнитные поля / Pulsed magnetic fields	
Кукуруза (<i>лат. Zea mays</i>) [33] / Corn	Импульсное МП: индукция – 100 мТл; режим обработки – 2 часа, с интервалом 6 минут Достигнутые результаты: улучшение всхожести в партии семян с низкой энергией роста было больше по сравнению с партией с высокой энергией роста; Эффект обработки более выражен по сравнению с обработкой в постоянном МП / Pulse MF: induction – 100 MT; processing mode – 2 hours, with an interval of 6 minutes / The results achieved: the improvement in germination in the batch of seeds with low growth energy was greater compared to the batch with high growth energy; The effect of treatment is more pronounced compared to treatment in constant MF
Постоянные магнитные поля / Constant magnetic fields	
Томат (<i>лат. Solanum lycopersicum</i>), салат (<i>лат. Lactuca</i>), руккола (<i>лат. Eruca sativa</i>) [34] / Tomato, lettuce, arugula	Постоянное МП: индукция – 45; 150; 300 мТл; время обработки – 60 и 90 минут Достигнутые результаты: улучшение роста рассады: томатов (45 мТл; 60 и 90 минут) и рукколы (150 мТл; 60 и 90 минут); для рассады салата неясно, следует ли применять более низкую (45 мТл) или более высокую (300 мТл) плотность потока / Constant MF: induction – 45, 150, 300 MT; processing time – 60 and 90 minutes Results achieved: improved growth of seedlings: tomatoes (45 MT; 60 and 90 minutes) and arugula (150 MT; 60 and 90 minutes); for lettuce seedlings, it is unclear whether a lower (45 MT) or higher (300 MT) flow density
Кукуруза (<i>лат. Zea mays</i>) [35] / Corn	Постоянное МП: индукция – 0,15 Тл; время обработки – 10, 15, 20 и 30 минут Достигнутые результаты: стимулирование развитие проростков; увеличение энергии прорастания с 56 до 80 %; увеличение сырой массы на 72 % и длины побегов на 25 % / Constant MF: induction – 0.15 T; processing time – 10, 15, 20 and 30 minutes Achieved results: stimulating the development of seedlings; increase in germination energy from 56 to 80 %; increase in crude weight by 72 % and shoot length by 25 %
Нут (<i>лат. Cicer arietinum</i>) [36] / Chickpeas	Постоянное МП: индукция – от 0 до 250 мТл с шагом 50 мТл; время обработки – от 1 до 4 часа с шагом в 1 час Достигнутые результаты: стимулирование прорастания; увеличение длины сеянцев и корней; повышенная корневая площадь и их объем / Constant MF: induction – from 0 to 250 MT in 50 MT increments; treatment time – from 1 to 4 hours in 1 hour increments Results achieved: stimulating germination; increasing the length of seedlings and roots; increased root area and volume
Нут (<i>лат. Cicer arietinum</i>) [37] / Chickpeas	Постоянное МП: индукция – от 0 до 250 мТл с шагом 50 мТл; время обработки – от 1 до 4 часа с шагом в 1 час Достигнутые результаты: улучшение всхожести и энергии прорастания семян низкого качества, увеличение длины проростков и сухой массы (50 мТл и 2 часа; 100 мТл и 1 час; 150 мТл и 2 часа) / Constant MF: induction – from 0 to 250 MT in 50 MT increments; processing time – from 1 to 4 hours in 1 hour increments Results achieved: improved germination and germination energy of low-quality seeds, increased seedling length and dry weight (50 MT and 2 hours; 100 MT and 1 hour; 150 mTl and 2 hours

Окончание таблицы 1

1	2
Подсолнечник (лат. <i>Helianthus annuus</i>) [38] / Sunflower seeds	Постоянное МП: индукция – 50; 100 и 150 мТл; время обработки – 5; 10 и 15 минут; замачивание в обработанной магнитом воде Достигнутые результаты: улучшение всхожести; увеличение скорости роста и урожайности растений / Constant MF: induction – 50, 100 and 150 MT; treatment time – 5, 10 and 15 minutes; soaking in magnetically treated water Results achieved: improved germination; increased growth rate and yield of plants
Подсолнечник (лат. <i>Helianthus annuus</i>) [39] / Sunflower seeds	Постоянное МП: индукция – от 50 до 250 мТл с шагом 50 мТл; время обработки – от 1 до 4 часа с шагом в 1 час Достигнутые результаты: улучшилась целостность мембраны семенной оболочки (50 и 200 мТл, 2 часа); большее удлинение побегов (6-41 %); большее удлинение корней (16-80 %) / Constant MF: induction – from 50 to 250 MT in 50 MT increments; processing time – from 1 to 4 hours in 1 hour increments Results achieved: improved membrane integrity of the seed coat (50 and 200 MT, 2 hours); greater elongation of shoots (6-41 %); greater elongation of roots (16-80 %)
Томат (лат. <i>Solanum lycopersicum</i>) [40] / Tomato	Постоянное МП: индукция – 50,6 ± 10,5 мТл; 108,7 ± 26,9 мТл; 332,1 ± 37,8 мТл; время обработки – 1; 2 и 24 часа Достигнутые результаты: стимулирование прорастания / Constant MF: induction – 50.6 ± 10.5 MT; 108.7 ± 26.9 MT; 332.1 ± 37.8 MT; processing time – 1, 2 and 24 hours Achieved results: stimulating germination
Рис посевной (лат. <i>Oryza sativa</i>) [41] / Rice	Постоянное МП: индукция – 125 и 250 мТл; время обработки – 1; 10; 20 минут, 1 и 24 часа, и непрерывно Достигнутые результаты: независимо от интенсивности МП, проростки были длиннее при непрерывном воздействии МП 58,58 мм (125 мТл) и 80,63 мм (250 мТл) против 45,36 мм в контроле / Constant MF: induction – 125 and 250 MT; treatment time – 1, 10, 20 minutes, 1 and 24 hours, and continuously Achieved results: regardless of the intensity of MP, seedlings were longer with continuous exposure to MP 58.58 mm (125 MT) and 80.63 mm (250 MT) versus 45.36 mm in the control
Тритикале (лат. <i>x Triticosecale Wittmack</i>) [42] / Triticale	Постоянное МП: индукция – 125 и 250 мТл; время обработки – 1 и 24 часа, и непрерывно Достигнутые результаты: улучшенное прорастание: сокращение времени прорастания (1 и 24 часа); большая длина проростков (24 часа) / Constant MP: induction – 125 and 250 MT; treatment time – 1 and 24 hours, and continuously Achieved results: improved germination: shorter germination time (1 and 24 hours); longer seedling length (24 hours)
Соя (лат. <i>Glycine max</i>) [43] / Soy	Постоянное МП: индукция – 130 мТл; время обработки – 17 часов Достигнутые результаты: Концентрация белков в листьях растений некоторых сортов сои была заметно выше у растений, выращенных из стимулированных семян / Constant MF: induction – 130 MT; processing time – 17 hours Results achieved: The protein concentration in the leaves of some soybean varieties was noticeably higher in plants grown from stimulated seeds
Соя (лат. <i>Glycine max</i>) [44] / Soy	Постоянное МП: индукция – 200 мТл; время обработки – 1 час; замачивание в обработанной магнитом воде Достигнутые результаты: Улучшение характеристик роста растений; увеличение количества корневых клубеньков; увеличение сырой массы; накопление большей биомассы / Constant MF: induction – 200 MT; processing time – 1 hour; soaking in magnetically treated water Results achieved: Improved plant growth characteristics; increased number of root nodules; increased crude mass; accumulation of more biomass
Резуховидка Таля (лат. <i>Arabidopsis thaliana</i>) [45] / <i>Arabidopsis thaliana</i>	Постоянное МП: индукция – 300 и 600 мТл; режим обработки – при действии МП параллельно силе тяжести (поле вниз), антипараллельно (поле вверх) и перпендикулярно (поле поперек) Достигнутые результаты: рост корней значительно усиливается обработками 600 мТл, за исключением обработки полем вверх, но не любыми обработками 300 мТл; обработка в поле вниз приводит к более активному делению клеток меристемы и более высокому содержанию ауксина / Constant MF: induction – 300 and 600 MT; processing mode – when the MP is acting parallel to gravity (field down), antiparallel (field up) and perpendicular (field across) Results achieved: root growth is significantly enhanced by treatments of 600 MT, with the exception of field-up treatment, but not by any treatments of 300 MT; field-down treatment leads to more active cell division of the meristem and a higher auxin content

Оценивая влияние неоднородных слабых постоянных магнитных полей было выявлено, что их воздействие на семенной материал характеризуется замедлением роста проростков, в то время как влияние постоянных полей высокого градиента и магнитной напряженности проявляется внешне и визуально, и подтверждается показателями: морфометрическими (изменяется длина и внешний вид корней), физиологическими (изменяется уровень дыхания, хемилюминисценция, и т. д.), цитологическими (нарушается нормальное деление, растяжение и дифференциация клеток) [12].

Одновременно с этим было зафиксировано положительное и нейтральное влияние неравномерного магнитного поля на сырую массу и всхожесть, также была обнаружена значимая связь между равномерным магнитным полем и всхожестью, но в тоже время исследователи подтверждают, что неравномерные магнитные поля улучшают рост и развитие растений [46].

Экспериментально было доказано, что применение низкочастотных магнитных полей положительно влияет на факторы, связанные с ростом растений. Исследования продемонстрировали улучшение роста побегов, общей длины растений и всхожести семян. Кроме того, было выявлено, что такие жизненно важные процессы в развитии растений как биосинтез белков, клеточное «производство», фотохимическая активность, скорость дыхания, функциональность ферментов и уровни нуклеиновых кислот извлекают пользу из обработки магнитными полями. Результаты экспериментов позволили предположить, что биоэнергетическое структурное возбуждение, которое вызывает клеточную накачку и ферментативную стимуляцию, является основным механизмом, определяющим влияние магнитного воздействия на прорастание семян и рост растений [47].

Оценив полученные результаты от воздействия магнитных полей на семена и развитие растений, можно выделить некоторые морфологические, физиологические и биохимические эффекты такого магнитобиологического влияния (рисунок 1).

Анализ режимов обработки выявил, что эффективность воздействия на растительные объекты зависит от таких параметров магнитного поля, как напряженность и градиент, а также скорость перемещения семян в зоне обработки и времени воздействия на семена.

Воспроизводимость с высоким процентом достоверности рассмотренных вариантов магнитной обработки семян по заявлению исследователей «может наблюдаться лишь в строго определенных условиях применения энергетического воздействия, учитывая природу растения, его морфологию, состав и структуру клеток, энергетическую восприимчивость – те факторы, которые заложены не только типом, но сортом растения, его геномом» [15].

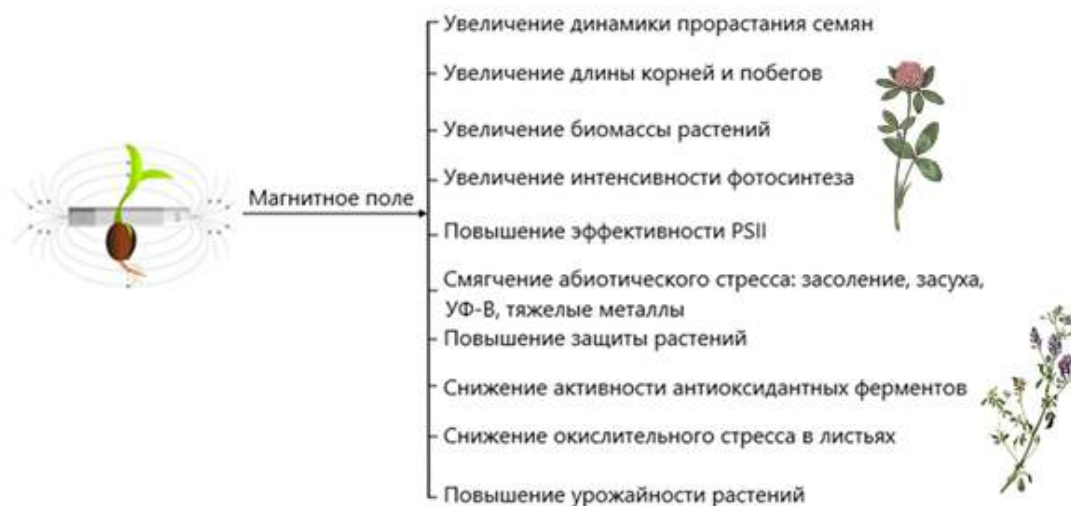


Рисунок 1 – Положительные морфологические, физиологические и биохимические эффекты от воздействия магнитного поля на растительные объекты [48]

Figure 1 – Positive morphological, physiological and biochemical effects of magnetic field exposure on plant objects

Для повышения всхожести семян, увеличения их продуктивности и развития сельскохозяйственных культур необходимо, прежде всего, правильное сочетание интенсивности воздействия магнитного поля и времени обработки. Многочисленные проведенные исследования доказали, что магнитное влияние положительно влияет на всхожесть семян,

длину корней и побегов, поглощение воды и CO_2 , позволяет повысить содержание фотосинтетических пигментов и, в конечном итоге, увеличить продуктивность культуры, даже в условиях абиотического стресса. Но в тоже время, другие исследователи выявили, что вышеупомянутые параметры при этом не улучшились, а, скорее, оставались без отклика или даже ухудшались, а само магнитное поле вызывало угнетение роста растений [12].

Как итог проведенного анализа-обзора уже выполненных исследований по изучению влияния магнитных полей на растительные организмы, а в нашем, конкретном случае на семена, можно сформулировать промежуточное заключение следующим образом: необходимы дальнейшие исследования для расширения имеющихся представлений и знаний о механизмах, протекающих в растительных объектах при магнитном воздействии, а также реакции на него растительных тканей в виде ускорения прорастания семян, повышения энергии прорастания и усиления фотосинтетической способности растений и других проявлений, в условиях, например, как нормального, естественного роста и развития последних, так и при абиотическом стрессе.

Целью представляемых исследований в статье является обзор существующих подходов и полученных результатов по предпосевной обработке семян в магнитных полях, а также результаты изучения влияния на семена многолетних трав градиентного магнитного поля постоянного тока.

Материалы и методы. Семена многолетних трав подвергали обработке градиентным магнитным полем, создаваемым протекающим по катушкам постоянным током на специально сконструированной электротехнологической установке [49]. Для исследований отобрали семена культивируемых многолетних трав следующих сортов: ежа сборная (*лат. Dactylis glomerata*) сорта «ВИК-26»; райграс пастбищный (*лат. Lolium perenne*) сорта «ВИК-66»; люцерна изменчивая (*лат. Medicago x varia Martyn*) сорта «Находка»; клевер луговой (*лат. Trifolium pratense*) сорта ВИК-77; клевер ползучий (*лат. Trifolium repens*) сорта «Луговик»; овсяница луговая (*лат. Festuca pratensis*); овсяница красная (*лат. Festuca rubra*).

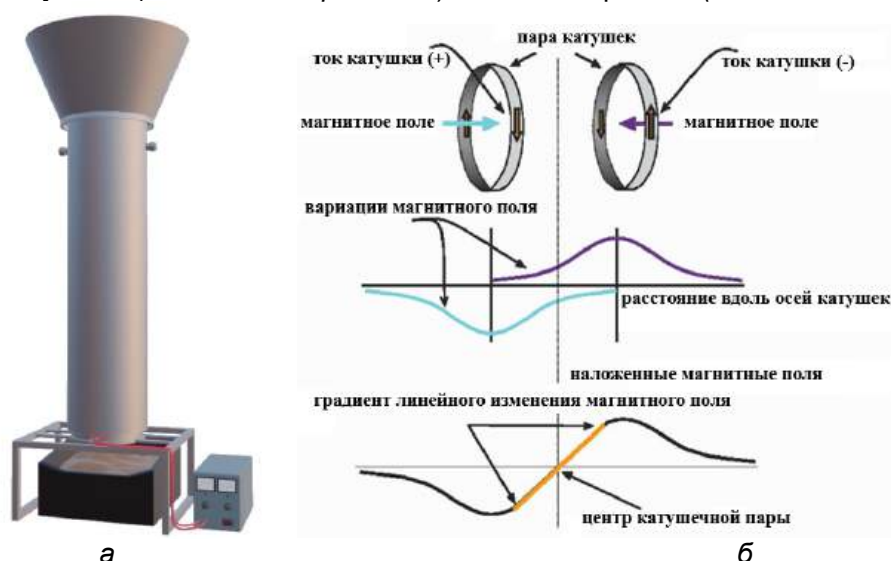


Рисунок 2 – Внешний вид установки для предпосевной обработки семян в градиентном магнитном поле постоянного тока (а); представление о формировании линейного градиента магнитного поля между парой катушек, по которым протекает постоянный ток в разном направлении (б)

Figure 2 – External appearance of the installation for pre-sowing treatment of seeds in a gradient magnetic field of direct current (a); the idea of the formation of a linear gradient of the magnetic field between a pair of coils through which direct current flows in different directions (b)

Установка для предпосевной обработки (рисунок 2, а) семян состоит из следующих структурных блоков: источник постоянного тока с регулируемыми выходными параметрами – напряжением и током; рабочий орган (активатор) – рабочую камеру, в которой осуществляется обработка семян; загрузочный бункер-воронка и приемный бункер. Конструкция рабочей камеры представляет собой вертикальную цилиндрическую колонну, состоящую из внутреннего несущего цилиндрического основания, изготовленного из немагнитного материала с размещенными на ней несколькими обмотками и внешней трубы-кожуха, пред-

ставляющей собой защитный корпус из немагнитной нержавеющей стали. На внутреннем основании закреплены, последовательно друг за другом согласованно и встречно соединенные обмотки. Обмотки соединены таким образом, что протекающий по ним постоянный ток, создает по длине активной части рабочей камеры градиентное магнитное поле.

Отдельные градиенты магнитного поля создаются внутри рабочего пространства активатора с помощью катушечных пар, по которым протекает постоянный ток определенной амплитуды и направления. По отдельным, рядом расположенным катушкам протекают постоянные токи противоположного направления, создающие магнитные поля разной полярности. При совместном изменении магнитных полей отдельных катушек формируется их пересечение, что создает линейный градиент магнитного поля (рисунок 2, б). Из характера распределения магнитного поля витка с током следует, что наибольшее значение поля и его градиента расположено в области, примыкающей к цилиндрическому основанию установки на котором смонтированы катушки (витки с током).

Семена, высыпаясь из загрузочной воронки и перемещаясь по активному пространству рабочей камеры, поступают в накопительный выгрузной бункер. Питание на установку подается от промышленно выпускаемого источника постоянного тока с регулируемыми на выходе параметрами: током и напряжением, значения которых были предварительно оттарированы в соответствии с индукцией магнитного поля.

Для определения работоспособности установки были проведены предварительные поверочные испытания, в результате которых были определены следующие параметры и режимы ее работы: 1) индукция магнитного поля, измеренная во внутреннем пространстве рабочей камеры, составила диапазон значений от 0,83 до 8,0 мТл; 2) сила тока для полученных значений индукции варьировалась от 0,2 до 2,0 А; 3) напряжение питания, подаваемое на катушечные группы (обмотки) изменялось от 2,5 до 25 В [50].

Характер изменения индукции магнитного градиентного поля на поверхности защитного кожуха по активной длине рабочей камеры показан на рисунке 3.

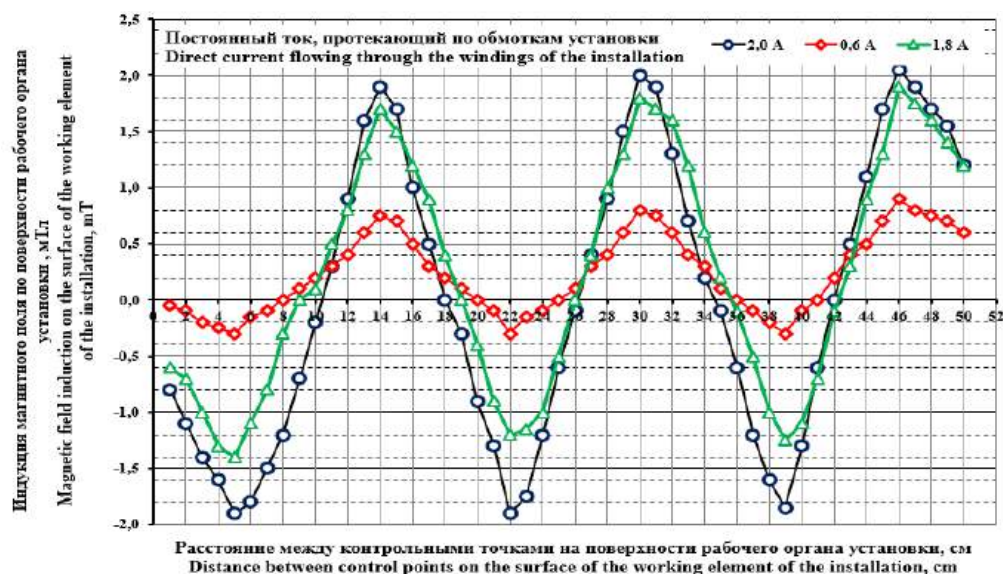


Рисунок 3 – Распределение магнитной индукции на поверхности рабочего органа установки для предпосевной обработки семян в градиентном магнитном поле по длине ее активной части
Figure 3 – Distribution of magnetic induction on the surface of the working element of the installation for pre-sowing treatment of seeds in a gradient magnetic field along the length of its active part

Схема опыта, в соответствии с которым семена были подвергнуты магнитной обработке в градиентном поле была следующей: контроль – без обработки; вариант 1 – обработка в поле с индукцией 0,83 мТл; вариант 2 – 1,68 мТл; вариант 3 – 2,51 мТл; вариант 4 – 3,34 мТл; вариант 5 – 4,20 мТл; вариант 6 – 5,04 мТл; вариант 7 – 5,81 мТл; вариант 8 – 6,70 мТл; вариант 9 – 7,35 мТл; вариант 10 – 8,00 мТл. Время обработки во всех опытах было практически одинаковым и составляло значение от 1,5 до 3 секунд.

При проведении исследований пользовались общепринятыми методиками, так лабораторную всхожесть семян и их энергию прорастания определяли по ГОСТ 12038-84. Общее количество высеванных для исследований семян равнялась 50 единицам.

Результаты и их обсуждение. Осуществив обработку семян на электротехнологической установке в градиентном магнитном поле и учтя рекомендации, приведенные в стандарте по определению лабораторной всхожести семян были получены экспериментальные данные, сгруппировав которые (см. таблицу 2) можно проанализировать результативность предпосевной стимуляции посевного материала многолетних трав в градиентном магнитном поле различной интенсивности.

Таблица 2 – Влияние предпосевной обработки семян кормовых трав в градиентном магнитном поле, 2024 год

Table 2 – Effect of pre-sowing treatment of forage grass seeds in a gradient magnetic field, 2024

Показатель / Indicator	Контроль / Control	Индукция магнитного поля, мТл / Magnetic field induction, mT									
		0,83	1,68	2,51	3,34	4,20	5,04	5,81	6,70	7,35	8,00
Ежа сборная (лат. <i>Dactylis glomerata</i>) сорта «ВИК-26» / <i>Dactylis glomerata</i> of the variety "VIC-26"											
Пророщенные семена, шт. / Sprouted seeds, pcs.	4	2	6	8	7	1	7	3	4	1	2
Непророщенные семена, шт. / Unsprouted seeds, pcs.	46	48	44	42	43	49	43	47	46	49	48
Всхожесть семян, % / Seed germination, %	8	4	12	16	14	2	14	6	8	2	4
Рейграс пастбищный (лат. <i>Lolium perenne</i>) сорта «ВИК-66» / Pasture reigras (<i>Lolium perenne</i>) of the "VIC-66" variety											
Пророщенные семена, шт. / Sprouted seeds, pcs.	2	8	12	13	18	24	7	10	13	11	9
Непророщенные семена, шт. / Unsprouted seeds, pcs.	48	42	38	37	32	26	43	40	37	39	41
Всхожесть семян, % / Seed germination, %	4	16	24	26	36	48	14	20	26	22	18
Овсяница красная (лат. <i>Festuca rubra</i>) / Red fescue (<i>Festuca rubra</i>)											
Пророщенные семена, шт. / Sprouted seeds, pcs.	2	7	5	8	24	10	15	7	3	3	3
Непророщенные семена, шт. / Unsprouted seeds, pcs.	48	43	45	42	26	40	35	43	47	47	47
Всхожесть семян, % / Seed germination, %	4	14	10	16	48	20	30	14	6	6	6
Клевер ползучий (лат. <i>Trifolium repens</i>) сорта «Луговик» / Creeping clover (<i>Trifolium repens</i>) of the Lugovik variety											
Пророщенные семена, шт. / Sprouted seeds, pcs.	7	11	8	10	13	7	10	8	15	14	8
Непророщенные семена, шт. / Unsprouted seeds, pcs.	43	39	42	40	37	43	40	42	35	36	42
Всхожесть семян, % / Seed germination, %	14	22	16	20	26	14	20	16	30	28	16
Овсяница луговая (лат. <i>Festuca pratensis</i>) / Meadow fescue (<i>Festuca pratensis</i>)											
Пророщенные семена, шт. / Sprouted seeds, pcs.	11	7	9	16	14	18	18	12	12	13	15
Непророщенные семена, шт. / Unsprouted seeds, pcs.	39	43	41	34	36	32	32	38	38	37	35
Всхожесть семян, % / Seed germination, %	22	14	18	32	28	36	36	24	24	26	30
Клевер луговой (лат. <i>Trifolium pratense</i>) сорта «ВИК-77» / Meadow clover (<i>Trifolium pratense</i>) of the VIK-77 variety											
Пророщенные семена, шт. / Sprouted seeds, pcs.	15	18	22	15	20	13	28	20	13	24	18
Непророщенные семена, шт. / Unsprouted seeds, pcs.	35	32	28	35	30	37	22	30	37	26	32
Всхожесть семян, % / Seed germination, %	30	36	44	30	40	26	56	40	26	48	36
Люцерна изменчивая (лат. <i>Medicago x varia Martyn</i>) сорта «Находка» / Variable alfalfa (<i>Medicago x varia Martyn</i>) of the Nakhodka variety											
Пророщенные семена, шт. / Sprouted seeds, pcs.	25	23	38	35	40	38	35	18	40	20	27
Непророщенные семена, шт. / Unsprouted seeds, pcs.	25	27	12	15	10	12	15	32	10	30	23
Всхожесть семян, % / Seed germination, %	50	46	36	70	80	76	70	36	80	40	54

Анализ представленных в таблице 2 результатов проведенных экспериментов свидетельствует, что семена кормовых трав избирательно чувствительны к воздействию магнитным полем разной интенсивности.

Наиболее чувствительными к магнитной обработке оказались семена люцерны изменчивой (*лат. Medicago x varia Martyn*) сорта «Находка» – всхожесть семян варьировалась в диапазоне от 36 до 80 % при этом же показателе в контроле равном 50 %. Следует отметить, что некоторые режимы обработки в градиентном магнитном поле, а это обработка с интенсивностью 0,83; 1,68; 5,81 и 7,35 мТл, показали результативность посевных качеств несколько меньшую, чем было зафиксировано в контрольном варианте.

Высокую чувствительность показали и семена клевера лугового (*лат. Trifolium pratense*) сорта «ВИК-77», всхожесть семян которого изменялась в диапазоне от 26 до 56 %, в то время как в контроле она равнялась 30 %. Магнитная обработка также выявила режимы, при которых результативность была меньшей, чем в случае контрольных наблюдений – это обработка с индукцией 4,2 и 6,7 мТл, при этом обработка с плотностью магнитного потока 2,51 мТл совпала с результатами контроля.

Существенное увеличение всхожести с 4 % в контроле до 20–48 % на режимах градиентной магнитной обработки показали семена райграса пастбищного (*лат. Lolium perenne*) сорта «ВИК-66» и овсяницы красной (*лат. Festuca rubra*), что проявилось на режимах магнитной обработки с индукцией 2,51; 3,34; 4,2; 5,04 и 6,7 мТл.

Семена таких кормовых трав, как клевер ползучий (*лат. Trifolium repens*) сорта «Луговик» и овсяница луговая (*лат. Festuca pratensis*) проявили достаточно низкую отзывчивость на обработку в градиентном магнитном поле. Но они в целом откликнулись положительно на обработку, увеличив всхожесть с 14 % и 22 % в контроле на значения всхожести в 28–30 % на отдельных режимах обработки (6,7 и 7,35 мТл) и 32–36 % (4,2 и 5,04 мТл) соответственно. Также можно отметить, что на всех режимах не наблюдались провалы по значению всхожести относительно контрольных результатов.

Семена ежи сборной (*лат. Dactylis glomerata*) сорта «ВИК-26» проявили самую низкую отзывчивость на обработку в градиентном магнитном поле. Семена этой культуры на шести режимах (0,83; 4,2; 5,81; 6,7; 7,35 и 8,00 мТл) показали всхожесть ниже контрольного варианта и только на режимах обработки в 2,51; 3,34 и 5,04 мТл превысили контрольную всхожесть достигнув значения 16 % и 14 %, по сравнению с 8 % в контроле.

Заключение. Обработка семян многолетних трав позволила выявить следующие наблюдения:

1) Многолетние травы по-разному показали свою реакцию на воздействие магнитного градиентного поля разной интенсивности: наиболее отзывчивыми на обработку оказались семена люцерны изменчивой (*лат. Medicago x varia Martyn*) сорта «Находка» и клевера лугового (*лат. Trifolium pratense*) сорта «ВИК-77»; среднюю отзывчивость проявили райграса пастбищного (*лат. Lolium perenne*) сорта «ВИК-66» и овсяницы красной (*лат. Festuca rubra*); ежа сборная (*лат. Dactylis glomerata*) сорта «ВИК-26» практически не отреагировала на обработку.

2) Из всех изученных режимов обработки наиболее результативно, с точки зрения достижения высоких показателей всхожести, проявили себя на семенах разных трав режимы градиентного магнитного поля с индукцией 3,34; 4,2; 5,04 и 6,7 мТл.

3) Режимы обработки с магнитной интенсивностью 0,83 и 1,68 мТл минимально оказывали воздействие на способность семян образовывать нормально развитые проростки, как и режим, характеризующийся индукцией 8,0 мТл.

Conclusion. Seed treatment of perennial grasses revealed the following observations:

1) Perennial grasses showed their reaction to the effects of a magnetic gradient field of varying intensity in different ways: alfalfa seeds were the most responsive to treatment (*Lat. Medicago x varia Martyn*) of the Nakhodka variety and meadow clover (*Latin Trifolium pratense*) of the VIC-77 variety; pasture ryegrass (*Latin Lolium perenne*) of the VIC-66 variety and red fescue (*Latin Festuca rubra*) showed average responsiveness; hedgehog (*Latin Dactylis glomerata*) The VIK-26 cultivar practically did not respond to the treatment.

2) Of all the treatment modes studied, in terms of achieving high germination rates, the modes of a gradient magnetic field with induction of 3.34, 4.2, 5.04 and 6.7 MT proved to be the most effective on seeds of various grasses.

3) The treatment modes with a magnetic intensity of 0.83 and 1.68 MT had a minimal effect on the ability of seeds to form normally developed seedlings, as well as the mode characterized by an induction of 8.0 MT.

Библиографический список

1. Manzoor S., Fayaz U., Dar A. H. et al. Sustainable development goals through reducing food loss and food waste: A comprehensive review. *Future Foods*. 2024. Vol. 9. 100362.
2. Wang Y., Sun X., Peng J. et al. Regulation of seed germination: ROS, epigenetic, and hormonal aspects. *Journal of Advanced Research*. 2025. Vol. 71. Pp. 107-125.
3. Gupta S., Van Staden J., Doležal K. An understanding of the role of seed physiology for better crop productivity and food security. *Plant Growth Regul.* 2022. Vol. 97. Pp. 171-173.
4. Рыжкова С. М., Кручинина В. М. Рынок семян для сельскохозяйственного производства в России на современном этапе. Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2024. № 2 (108). С. 108-119.
5. Каменецкая О. В. Импортзамещение в семеноводстве как фактор обеспечения продовольственной безопасности Союзного государства. *Russian Journal of Management*. 2024. Т. 12. № 3. С. 250-265.
6. Tuan P. A., Sharma D., Kalota R. et al. 1-Molecular mechanisms of seed germination. *Sprouted Grains (Second Edition). Nutritional Value, Production, and Applications*. Woodhead Publ. & Cereals & Grains Assoc, 2025. Pp. 1-33.
7. Gupta S., Van Staden J., Doležal K. An understanding of the role of seed physiology for better crop productivity and food security. *Plant Growth Regul.* 2022. Vol. 97. Pp. 171-173.
8. Рубцова Е. И., Безгина Ю. А., Авдеева В. Н. и др. Использование физических факторов в сельском хозяйстве. Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 9. С. 84-86.
9. Костин В. И., Дозоров А. В., Исайчев В. А. К вопросу о стимуляции сельскохозяйственных растений под действием физических и химических факторов при обработке семян. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 2 (42). С. 67-77.
10. Навроцкая Л. В., Навроцкая С. Р. Аддитивная обработка семян. Международный технико-экономический журнал. 2022. № 4. С. 137-146.
11. Донцова В. Ю., Казакова А. С., Юдаев И. В., Брагинец С. В. Влияние предпосевной обработки семян ярового ячменя переменным электрическим полем на урожайность. *Зерновое хозяйство России*. 2025. Т. 17. № 3. С. 65-70.
12. Новицкий Ю. И., Новицкая Г. В. Действие постоянного магнитного поля на растения. М.: Наука, 2016. 352 с.
13. Galland P., Pazur A. Magnetoreception in plants. *Journal of Plant Research*. 2005. Vol. 118. Pp. 371-389.
14. Хорт Д. О., Филиппов Р. А., Кутырев А. И. Изучение влияния электрических полей на растения. Энергетика и автоматика. 2019. № 5 (45). С. 42-62.
15. Шибряева Л. С., Чаплыгин М. Е., Жалнин Э. В. и др. Влияние электромагнитных полей на продуктивность семян. Химия высоких энергий. 2024. Т. 58. № 1. С. 2-18.
16. Audus L. J. Magnetotropism: A new plant growth response. *Nature*. 1960. Vol. 185. Pp. 132-134.
17. Pittman U. J. Effects of magnetic seed treatment on yields of barley, wheat and oats on Southern Alberta. *Canadian Journal of Plant Science*. 1977. Vol. 57. Pp. 37-45.
18. Association of Official Seed Analysis (AOSA) Seed Vigor Testing Handbook. Contribution No. 32 to the handbook on Seed Testing, 1983.
19. Raj A. A., Palathingal V. F., Bastian D. et al. Enhancing seed quality by magnetic seed treatment: review. *International Journal of Agriculture and Environmental Research*. 2025. V. 11 (03). Pp. 805-815.
20. Radhakrishnan R., Kumari B. D. R. Influence of pulsed magnetic field on soybean (*Glycine max* L.) seed germination, seedling growth and soil microbial population. *Indian Journal of Biochemistry and Biophysics*. 2013. Vol. 50. Pp. 312-317.
21. Bilalis D. J., Katsenios N., Efthimiadou A. et al. Magnetic field pre-sowing treatment as an organic friendly technique to promote plant growth and chemical elements accumulation in early stages of cotton. *Australian Journal of Crop Science*. 2013. Vol. 7 (1). Pp. 46-50.
22. Alexander M. P., Doijode S. D. Electromagnetic field, a novel tool to increase germination and seedling vigour of conserved onion (*Allium cepa* L.) and rice (*Oryza sativa* L.) seed with low viability. *Plant Genet Res Newsllett*. 1995. Vol. 104. Pp. 1-5.
23. Cakmak T., Dumlupinar R., Erdal S. Acceleration of germination and early growth of wheat and bean seedlings grown under various magnetic field and osmotic conditions. *Bio electromagnetics*. 2010. Vol. 31. Pp. 120-129.
24. Turker M., Temirci C., Battal P., Erez M. E. The effects of an artificial and static magnetic field on plant growth, chlorophyll and phytohormone levels in maize and sunflower plants. *Phyton-Annales Rei Botanicae*. 2007. Vol. 46. Pp. 271-284.
25. Xianzong X., Zając-Woźnialis A., Padula G. et al. Effect of low frequency magnetic field (LFMF) on germination and vigour of accelerated aged radish (*Raphanus sativus* L.) seeds. *Folia Horticulturae*. 2024. V. 36 (3).
26. Орехова С. М. Влияние магнитного поля различных конфигураций на всхожесть семян чечевицы. Зернобобовые и крупяные культуры. 2023. № 2 (46). С. 66-73.
27. Зайнуллин В. Г., Турлакова А. М., Пожирицкая А. Н. и др. Влияние предпосевной обработки переменными магнитными полями и повышенных доз органических удобрений на урожай картофеля. Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. 2024. № 7. С. 48-53.
28. Корниенко В. О., Яицкий А. С., Авдеева К. А. Влияние переменного магнитного поля с различной формой сигнала на морфометрию и онтогенез кукурузы сахарной (*Zea mays* L.). Самарский научный вестник. 2023. Т. 12. №4. С. 51-57.
29. Rochalska M., Orzeszko-Rywka A. Magnetic field treatment improves seed performance. *Seed Science and Technology*. 2005. Vol. 33. Pp. 669-674.
30. Дорохов А. С., Чаплыгин М. Е., Аксенов А. Г. и др. Обработка семян зерновых культур в низкочастотном электромагнитном поле. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. № 17 (4). С. 4-11.
31. Аксенов А. Г., Чаплыгин М. Е., Шибряева Л. С. и др. Предпосевная обработка семян зерновых культур низкочастотным электромагнитным полем. Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91. № 6. С. 843-852.
32. Dziwulska-Hunek A., Niemczynowicz A., Kycia R. A. et al. Stimulation of soy seeds using environmentally friendly magnetic and electric fields. *Scientific Report*. 2023. Vol. 13. Article 18085.
33. Sharma V., Dadlani M., Basu S. et al. Comparison between Pulsed and Static Magnetic Treatment for Enhancement of Germination Characteristics in Differentially Aged Maize Seeds. *Chemical Science Review and Letters*. 2017. Vol. 6 (23). Pp. 1617-1622.

34. Koukounaras A., Boursianis A., Kostas S. et al. Pre-Sowing Static Magnetic Field Treatment of Vegetable Seeds and Its Effect on Germination and Young Seedlings Development. *Seeds*. 2023. Vol. 2 (4). Pp. 394-405.
35. Aladjadjiyan A. Study of the influence of magnetic field on some biological characteristics of Zea mays. *Journal of Central European Agriculture*. 2002. Vol. 3. Pp. 89-94.
36. Vashisth A., Nagarajan S. Exposure of seeds to static magnetic field enhances germination and early growth characteristics in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Bio electromagnetics*. 2008. Vol. 29. Pp. 571-578.
37. Rashmi S., Sunita T., Pandey et al. Effect of physical and metaphysical energy on germination and seedling vigor of Chick pea // *International Journal of Basic and Applied Agricultural Research*. 2014. Pp. 339-345.
38. Afzal I., Saleem S., Skalicky M. et al. Magnetic Field Treatments Improves Sunflower Yield by Inducing Physiological and Biochemical Modulations in Seeds. *Molecules*. 2021. No 1. V. 26 (7). Article 2022.
39. Vashisth A., Nagarajan S. Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. *Journal of Plant Physiology*. 2010. Vol. 167. Pp.149-156.
40. Poinapen D., Brown D. C. W., Beeharry G. K. Seed orientation and magnetic field strength have more influence on tomato seed performance than relative humidity and duration of exposure to non-uniform static magnetic fields. *Journal of Plant Physiology*. 2013. Vol. 170. Pp. 1251-1258.
41. Florez M., Carbonell M. V., Martinez E. Early sprouting and first stages of growth of rice seeds exposed to a magnetic field. *Electromagnetic Biology and Medicine*. 2004. Vol. 23. Pp. 157-166.
42. Flórez M., Martínez E., Carbonell M. V. et al. Germination and initial growth of triticale seeds under stationary magnetic treatment. *Journal of Advances in Agriculture*. 2014. Vol. 2 (2). Pp. 72-79.
43. Dziwulska-Hunek A., Niemczynowicz A., Kycia R. A. et al. Stimulation of soy seeds using environmentally friendly magnetic and electric fields. *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13. Article 18085.
44. Baghel L., Kataria S., Guruprasad K. N. Static magnetic field treatment of seeds improves carbon and nitrogen metabolism under salinity stress in soybean. *Bio electromagnetics*. 2016. Vol. 37. Pp. 455-470.
45. Jin Y., Guo W., Hu X. et al. Static magnetic field regulates Arabidopsis root growth via auxin signaling. *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9 (1). Article 14384.
46. Tapia-Belmonte F., Concha A., Poupin M. J. The Effects of Uniform and Non uniform Magnetic Fields in Plant Growth: A Meta-Analysis Approach. *Bio electromagnetics*. 2023 Jul-Sep. Vol. 44 (5-6). Pp. 95-106.
47. Gopalsamy A., Tamilman E., Shanmugam K. et al. Seeds of Excellence: Review on impact of seed quality enhancement on babygreens biomass production. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2025. V. 19. 101597.
48. Sarraf M., Kataria S., Taimourya H. et al. Magnetic Field (MF) Applications in Plants: An Overview. *Plants*. 2020. Vol. 9. Article 1139.
49. Кутис С. Д., Кутис Т. Л. Электромагнитные технологии в растениеводстве. Часть 1. Электромагнитная обработка семян и посадочного материала. М.: ЛитРес, 2017. 76 с.
50. Yudaev I. V., Akimov A. A., Belenkov A. I., Plotnitsky I. O. Influence of pre-sowing seed treatment in a magnetic gradient field on growth, development and productivity of long-staple flax. *Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources (FIES 2024): International Scientific and Practical Conference*. Kazan: EDP Sciences. 2025. 00062.

References

1. Manzoor S., Fayaz U., Dar A. H. et al. Sustainable development goals through reducing food loss and food waste: A comprehensive review. *Future Foods*. 2024. Vol. 9. 100362.
2. Wang Y., Sun X., Peng J. et al. Regulation of seed germination: ROS, epigenetic, and hormonal aspects. *Journal of Advanced Research*. 2025. Vol. 71. Pp. 107-125.
3. Gupta S., Van Staden J., Doležal K. An understanding of the role of seed physiology for better crop productivity and food security. *Plant Growth Regul.* 2022. V. 97. Pp. 171-173.
4. Ryzhkova S. M., Kruchinina V. M. The market of seeds for agricultural production in Russia at the present stage. *Economics, labor, management in agriculture*. 2024. No. 2 (108). Pp. 108-119.
5. Kamenetskaya O. V. Import substitution in seed production as a factor in ensuring food security of the Union State. *Russian Journal of Management*. 2024. Vol. 12. No. 3. Pp. 250-265.
6. Tuan P. A., Sharma D., Kalota R. et al. 1-Molecular mechanisms of seed germination. *Sprouted Grains (Second Edition). Nutritional Value, Production, and Applications*. Woodhead Publ. & Cereals & Grains Assoc, 2025. Pp. 1-33.
7. Gupta S., Van Staden J., Doležal K. An understanding of the role of seed physiology for better crop productivity and food security. *Plant Growth Regul.* 2022. Vol. 97. Pp. 171-173.
8. Rubtsova E. I., Bezgina Yu. A., Avdeeva V. N. et al. The use of physical factors in agriculture. *Achievements of science and technology of the agroindustrial complex*. 2015. Vol. 29. No. 9. Pp. 84-86.
9. Kostin V. I., Dozorov A.V., Isaichev V. A. On the issue of stimulation of agricultural plants under the influence of physical and chemical factors during seed treatment. *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2018. No. 2 (42). Pp. 67-77.
10. Navrotskaya L. V., Navrotskaya S. R. Additive seed treatment. *International Technical and Economic Journal*. 2022. No 4. Pp. 137-146.
11. Dontsova V. Yu., Kazakova A. S., Yudaev I. V., Braginets S. V. The effect of pre-sowing treatment of spring barley seeds with an alternating electric field on yield. *Grain farming in Russia*. 2025. Vol. 17. No 3. Pp. 65-70.
12. Novitskaya Yu. I., Novitskaya G. V. The effect of a permanent magnetic field on plants. Moscow: Nauka, 2016. 352 p.
13. Galland P., Pazur A. Magnetoreception in plants. *Journal of Plant Research*. 2005. Vol. 118. Pp. 371-389.
14. Hort D. O., Filippov R. A., Kutyrev A. I. Studying the effect of electric fields on plants. *Energy and automation*. 2019. No. 5 (45). Pp. 42-62.
15. Shibryaeva L. S., Chaplygin M. E., Zhalnin E. V. et al. The effect of electromagnetic fields on seed productivity. *High-energy chemistry*. 2024. Vol. 58. No 1. Pp. 2-18.
16. Audus L. J. Magnetotropism: A new plant growth response. *Nature*. 1960. Vol. 185. Pp. 132-134.
17. Pittman U. J. Effects of magnetic seed treatment on yields of barley, wheat and oats on Southern Alberta. *Canadian Journal of Plant Science*. 1977. Vol. 57. Pp. 37-45.
18. Association of Official Seed Analysis (AOSA) Seed Vigor Testing Handbook. Contribution No. 32 to the handbook on Seed Testing, 1983.

19. Raj A. A., Palathinga V. F., Bastian D. et al. Enhancing seed quality by magnetic seed treatment: review. *International Journal of Agriculture and Environmental Research*. 2025. V. 11 (03). Pp. 805-815.
20. Radhakrishnan R., Kumari B. D. R. Influence of pulsed magnetic field on soybean (*Glycine max* L.) seed germination, seedling growth and soil microbial population. *Indian Journal of Biochemistry and Biophysics*. 2013. Vol. 50. Pp. 312-317.
21. Bilalis D. J., Katsenios N., Efthimiadou A. et al. Magnetic field pre-sowing treatment as an organic friendly technique to promote plant growth and chemical elements accumulation in early stages of cotton. *Australian Journal of Crop Science*. 2013. Vol. 7 (1). Pp. 46-50.
22. Alexander M. P., Dojode S. D. Electromagnetic field, a novel tool to increase germination and seedling vigour of conserved onion (*Allium cepa* L.) and rice (*Oryza sativa* L.) seed with low viability. *Plant Genet Res Newslett*. 1995. Vol. 104. Pp. 1-5.
23. Cakmak T., Dumlupinar R., Erdal S. Acceleration of germination and early growth of wheat and bean seedlings grown under various magnetic field and osmotic conditions. *Bio electromagnetics*. 2010. Vol. 31. Pp. 120-129.
24. Turker M., Temirci C., Battal P., Erez M. E. The effects of an artificial and static magnetic field on plant growth, chlorophyll and phytohormone levels in maize and sunflower plants. *Phyton-Annales Rei Botanicae*. 2007. Vol. 46. Pp. 271-284.
25. Xianzong X., Zając-Woźnialis A., Padula G. et al. Effect of low frequency magnetic field (LFMF) on germination and vigour of accelerated aged radish (*Raphanus sativus* L.) seeds. *Folia Horticulturae*. 2024. V. 36 (3).
26. Orekhova S. M. The influence of a magnetic field of various configurations on the germination of lentil seeds. *Leguminous and cereal crops*. 2023. No. 2 (46). Pp. 66-73.
27. Zainullin V. G., Turlakova A. M., Pozhiritskaya A. N. et al. The effect of pre-sowing treatment with alternating magnetic fields and increased doses of organic fertilizers on potato yield. *Proceedings of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2024. No 7. Pp. 48-53.
28. Kornienko V. O., Yaitsky A. S., Avdeeva K. A. The effect of an alternating magnetic field with a different waveform on the morphometry and ontogenesis of sugar corn (*Zea mays* L.). *Samara Scientific Bulletin*. 2023. Vol. 12. No 4. Pp. 51-57.
29. Rochalska M., Orzeszko-Rywka A. Magnetic field treatment improves seed performance. *Seed Science and Technology*. 2005. Vol. 33. Pp. 669-674.
30. Dorokhov A. S., Chaplygin M. E., Aksenov A. G. and others. Processing of grain seeds in a low-frequency electromagnetic field. *Agricultural machinery and technology*. 2023. No. 17 (4). Pp. 4-11.
31. Aksenov A. G., Chaplygin M. E., Shiryayeva L. S. et al. Pre-sowing treatment of grain seeds with a low-frequency electromagnetic field. *Tractors and agricultural machines*. 2024. Vol. 91. No 6. Pp. 843-852.
32. Dziwulska-Hunek A., Niemczynowicz A., Kycia R. A. et al. Stimulation of soy seeds using environmentally friendly magnetic and electric fields. *Scientific Report*. 2023. Vol. 13. Article 18085.
33. Sharma V., Dadlani M., Basu S. et al. Comparison between Pulsed and Static Magnetic Treatment for Enhancement of Germination Characteristics in Differentially Aged Maize Seeds. *Chemical Science Review and Letters*. 2017. Vol. 6 (23). Pp. 1617-1622.
34. Koukounaras A., Boursianis A., Kostas S. et al. Pre-Sowing Static Magnetic Field Treatment of Vegetable Seeds and Its Effect on Germination and Young Seedlings Development. *Seeds*. 2023. Vol. 2 (4). Pp. 394-405.
35. Aladjadjian A. Study of the influence of magnetic field on some biological characteristics of *Zea mays*. *Journal of Central European Agriculture*. 2002. Vol. 3. Pp. 89-94.
36. Vashisth A., Nagarajan S. Exposure of seeds to static magnetic field enhances germination and early growth characteristics in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Bio electromagnetics*. 2008. Vol. 29. Pp. 571-578.
37. Rashmi S., Sunita T., Pandey et al. Effect of physical and metaphysical energy on germination and seedling vigor of Chick pea // *International Journal of Basic and Applied Agricultural Research*. 2014. Pp. 339-345.
38. Afzal I., Saleem S., Skalicky M. et al. Magnetic Field Treatments Improves Sunflower Yield by Inducing Physiological and Biochemical Modulations in Seeds. *Molecules*. 2021. No 1. V. 26 (7). Article 2022.
39. Vashisth A., Nagarajan S. Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. *Journal of Plant Physiology*. 2010. Vol. 167. Pp. 149-156.
40. Poinapen D., Brown D. C. W., Beeharry G. K. Seed orientation and magnetic field strength have more influence on tomato seed performance than relative humidity and duration of exposure to non-uniform static magnetic fields. *Journal of Plant Physiology*. 2013. Vol. 170. Pp. 1251-1258.
41. Florez M., Carbonell M. V., Martinez E. Early sprouting and first stages of growth of rice seeds exposed to a magnetic field. *Electromagnetic Biology and Medicine*. 2004. Vol. 23. Pp. 157-166.
42. Flórez M., Martínez E., Carbonell M. V. et al. Germination and initial growth of triticale seeds under stationary magnetic treatment. *Journal of Advances in Agriculture*. 2014. Vol. 2 (2). Pp. 72-79.
43. Dziwulska-Hunek A., Niemczynowicz A., Kycia R. A. et al. Stimulation of soy seeds using environmentally friendly magnetic and electric fields. *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13. Article 18085.
44. Baghel L., Kataria S., Guruprasad K. N. Static magnetic field treatment of seeds improves carbon and nitrogen metabolism under salinity stress in soybean. *Bio electromagnetics*. 2016. Vol. 37. Pp. 455-470.
45. Jin Y., Guo W., Hu X. et al. Static magnetic field regulates *Arabidopsis* root growth via auxin signaling. *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9 (1). Article 14384.
46. Tapia-Belmonte F., Concha A., Poupin M. J. The Effects of Uniform and Non uniform Magnetic Fields in Plant Growth: A Meta-Analysis Approach. *Bio electromagnetics*. 2023 Jul-Sep. Vol. 44 (5-6). Pp. 95-106.
47. Gopalsamy A., Tamilmann E., Shanmugam K. et al. Seeds of Excellence: Review on impact of seed quality enhancement on babygreens biomass production. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2025. V. 19. 101597.
48. Sarraf M., Kataria S., Taimourya H. et al. Magnetic Field (MF) Applications in Plants: An Overview. *Plants*. 2020. V. 9. Article 1139.
49. Kutis S. D., Kutis T. L. Electromagnetic technologies in crop production. Part 1. Electromagnetic treatment of seeds and planting material. Moscow: LitRes, 2017. 76 p.

50. Yudaev I. V., Akimov A. A., Belenkov A. I., Plotnitsky I. O. Influence of pre-sowing seed treatment in a magnetic gradient field on growth, development and productivity of long-staple flax. Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources (FIES 2024): International Scientific and Practical Conference. Kazan: EDP Sciences. 2025. 00062.

Информация об авторах

Юдаев Игорь Викторович, доктор технических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, г Краснодар, ул. Калинина, 13), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3435-4873>, e-mail: etsh1965@mail.ru

Даус Юлия Владимировна, доктор технических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, г Краснодар, ул. Калинина, 13), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9120-7637>, e-mail: zirochka2505@gmail.com

Арылов Юрий Нимеевич, доктор биологических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6490-3837>, e-mail: kalmisaiga@mail.ru

Фомин Сергей Денисович, доктор технических наук, профессор, заведующий Центром наукометрического анализа и международных систем индексирования, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

Болаев Баатр Канурович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8210-9971>, e-mail: kanur64@mail.ru

Курепина Наталья Леонидовна, доктор экономических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9337-3903>, e-mail: kurepinanl@mail.ru

Оконов Мутул Максимович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), e-mail: okonov.51@mail.ru

Бышов Дмитрий Николаевич, доктор технических наук, доцент кафедры, Рязанский ГАТУ им. П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: university@rgatu.ru

Authors' Information

Yudaev Igor Viktorovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, Krasnodar, Kalinin str., 13), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3435-4873>, e-mail: etsh1965@mail.ru

Daus Yuliia Vladimirovna, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, Krasnodar, Kalinin str., 13), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9120-7637>, e-mail: zirochka2505@gmail.com

Arylov Yuri Nimeevich, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, Kalmykia, Elista, Pushkin str., 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6490-3837>, e-mail: kalmisaiga@mail.ru

Fomin Sergey Denisovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Center for Scientometric Analysis and International Indexing Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

Bolaev Baatr Kanurovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, Kalmykia, Elista, Pushkin str., 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8210-9971>, e-mail: kanur64@mail.ru

Kurepina Natalya Leonidovna, Doctor of Economics, Professor of the Department, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, Kalmykia, Elista, Pushkin str., 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9337-3903>, e-mail: kurepinanl@mail.ru

Okonov Mutul Maksimovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, Kalmykia, Elista, Pushkin str., 11), e-mail: okonov.51@mail.ru

Byshov Dmitry Nikolaevich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Ryazan State Agrarian Technical University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev str., 1), e-mail: university@rgatu.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-59

THE TRANSPORTATION AND THE DAMAGE INDICATORS OF THE AGRICULTURAL GOODS

¹Anikin N. V., ¹Uspensky I. A., ¹Yukhin I. A., ²Belyu L. P., ¹Byshov D. N., ³Limarenko N. V.

¹Ryazan Agro-technological University named after P. A. Kostychev
Ryazan, Russian Federation

²Moscow Institute of Economics
Moscow, Russian Federation

³Don state technical university
Rostov-on-Don, Russian Federation

Corresponding author E-mail: kutyraev@bk.ru

Received 11.11.2025

Submitted 26.12.2025

Abstract

Introduction. In Russia, there is a need to ensure the availability of standard sets of agricultural products for populations in various regions, which requires attention to a variety of factors affecting logistics efficiency. **Object.** The object of the study is the processes of agrological logistics, including the sequence of agri-

cultural operations, transportation of agricultural goods, road surface conditions, meteorological conditions and packaging methods, as well as factors influencing the efficiency of logistics processes in the field of agricultural production. **Materials and methods.** The study of damage caused to goods during transportation utilized data analytics to achieve predetermined results. A key component of the study was collecting data on the impact of asphalt pavement quality on vibration intensity. Statistical data analysis enabled the identification of the root causes of defects and the development of methods to minimize them. **Results and conclusion.** An analysis of agricultural product transportation revealed that numerous factors influence its efficiency. From road surface conditions to weather conditions, all play a role. However, the selection of the appropriate mode of transport for each road category and the varying requirements of product transportation remain critical. Given this, the researchers propose developing a specialized strategy for each mode of transportation. This will expedite the delivery process and reduce potential losses from product damage in transit. Emphasis should be placed on reliable packaging and ensuring the safety of the cargo during transportation, which guarantees the quality and freshness of the products upon delivery to the end consumer. The study concludes by noting that various factors must be considered when choosing agricultural product transportation methods, including the specific features of road transport.

Keywords: transportation of agricultural goods, transportation of goods, damage to products, road surface, agricultural logistics, logistics efficiency.

Citation. Anikin N. V., Uspensky I. A., Yukhin I. A., Belyu L. P., Byshov D. N., Limarenko N. V. The transportation and the damage indicators of the agricultural goods. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 566-581 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-59.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 338.43:658.778.5

ТРАНСПОРТИРОВКА И ПОКАЗАТЕЛИ ПОВРЕЖДЕНИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГРУЗОВ

¹Аникин Н. В., кандидат технических наук, доцент

¹Успенский И. А., доктор технических наук, профессор

¹Юхин И. А., доктор технических наук, профессор

²Белю Л. П., кандидат технических наук, доцент

¹Бышов Д. Н., доктор технических наук, доцент

³Лимаренко Н. В., доктор технических наук, профессор

¹ ФГБОУ ВО «Рязанский агротехнологический университет имени П. А. Костычева»
г. Рязань, Российская Федерация

²НОЧУ ВО «Московский экономический институт»
г. Москва, Российская Федерация

³ФГБОУ ВО Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Актуальность. В условиях России существует необходимость гарантировать доступность стандартных комплектов агропродукции для населения различных регионов, что требует внимания к множеству факторов, влияющих на эффективность логистики. **Объект.** Объектом исследования являются процессы агрологистики, включая последовательность агротехнических операций, транспортировку сельскохозяйственных грузов, состояние дорожного покрытия, метеорологические условия и методы упаковки, а также факторы, влияющие на эффективность логистических процессов в сфере агропроизводства. **Материалы и методы.** Проведенное исследование ущерба, причиненного товарным позициям в процессе транспортировки, включало использование метода аналитики данных для достижения заранее определенных результатов. Ключевым моментом исследования явился процесс сбора данных о влиянии качества асфальтового покрытия на интенсивность вибраций. Применение статистического анализа данных позволило идентифицировать основные причины дефектов и разработать методы их минимизации. **Результаты и выводы.** Анализ транспортировки агропродукции показал, что множество факторов влияет на её эффективность. От состояния дорожного покрытия до метеорологических условий – все это имеет значение. Однако критической переменной остаётся выбор подходящего вида транспорта для каждой категории дорог и различия в требованиях перевозках разных продуктов. Учитывая это, исследователи предлагают разработку специализированной стратегии для каждого вида перевозки. Что ускорит процесс доставки и уменьшит потенциально возможные убытки от повреждений продукции в пути. Стоит акцентировать внимание на надёжной упаковке и обеспечении сохранности груза во время его транспортировки, что гарантирует качество и свежесть продукции при доставке к конечному потребителю. В заключение исследования можно отметить, что необходимо учитывать различные факторы при выборе методов перевозки сельскохозяйственной продукции, включая особенности автомобильного транспорта.

Ключевые слова: перевозка сельскохозяйственных грузов, транспортировка грузов, повреждение продукции, дорожное покрытие, аграрная логистика, эффективность логистики.

Цитирование. Аникин Н. В., Успенский И. А., Юхин И. А., Белю Л. П., Бышов Д. Н., Лимаренко Н. В. Транспортировка и показатели повреждений сельскохозяйственных грузов. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 566-581. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-59.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. За последние десять лет в России зафиксирован стабильный рост производства аграрных товаров. Производство продукции животноводства удвоилось, а объемы растениеводства увеличились в три раза. Производственные объемы сельскохозяйственной продукции варьируются в зависимости от федерального округа: например, Центральный округ производит 28 % от общего объема растениеводческой продукции страны, в то время как Северо-Западный – только 3 %. Это различие между регионами обусловлено климатическими и географическими факторами. Тем не менее, спрос на стандартный набор сельскохозяйственных продуктов среди населения разных округов практически идентичен, что создает необходимость организации транспортировки продуктов по всей территории страны. Транспортировка агропродукции включает использование различных видов транспорта [2, 3], причем значительная доля приходится на автомобильные перевозки. Этот метод обладает уникальными особенностями, связанными с качеством дорожной инфраструктуры и самого дорожного покрытия, а также с влиянием метеорологических условий на повреждение груза.

Эффективный транспорт [11, 12] является ключевым компонентом успешного агро-маркетинга. Нерегулярные, качественно уступающие (с высокими рисками повреждений) или дорогостоящие транспортные услуги ставят аграриев в не выгодное положение.

Сезонные ограничения подвижности транспорта из-за плохих дорожных условий, а также несоответствующие транспортные услуги для конкретных агропродуктов могут привести к высоким потерям, особенно при транспортировке легкопортящихся товаров, включая свежие фрукты и овощи. Перевозка через дороги с гравийным или грунтовым покрытием может повысить риск убытков из-за повреждения продуктов. Следовательно, транспортные расходы являются значительным фактором, влияющим на доступность аграрной продукции и способствующим эффективности сельскохозяйственной отрасли.

Строгие нормы ЕС по импорту агропродукции охватывают такие ключевые аспекты как устойчивость к порче, сопротивляемость патогенным микроорганизмам, механическая неповрежденность, состояние при хранении в охлажденных условиях, а также качество после обработки продуктов. Отдельные параметры, включая устойчивость к механическим повреждениям во время транспортировки, зависят от сортовых особенностей фруктов и овощей. Однако выбор более устойчивых к повреждениям сортов иногда может не соответствовать ожидаемым вкусовым качествам продукции, которые требуются потребителями.

Дополнительно, применение передовых методов транспортировки и упаковки не исключает вероятности механических повреждений товара. Процесс охлаждения, необходимый для разных категорий плодоовощной продукции [5] и учитывающий их чувствительность к температуре, часто приводит к снижению качества, делая дефекты заметными для потребителя. Исследования, направленные на снижение повреждений продукции в пути, в значительной мере сосредотачиваются на улучшении используемой тары и методов укладки, что напрямую влияет на сохранность продуктов.

Аграрный сектор и логистика тесно переплетены, поскольку продовольствие и аграрные товары должны быть оперативно доставлены от производителей к потребителям. Следовательно, развитая инфраструктура транспорта и оптимизированные перевозки критичны для эффективной дистрибуции агропродукции на внутренние и внешние рынки, гарантируя доступность товаров и стабильность в агросекторе [1].

Эффективность сектора дорожного строительства во многом определяется уровнем применяемых в проектах инженерных и технологических решений, а также подходов к управлению и исполнению строительных работ. В аспекте менеджмента особенно важно

обоснование выбранных стратегий. Применение экономико-математического моделирования является одним из наиболее эффективных инструментов для подтверждения корректности управленческих решений в сфере автомобильных дорог. Профессор Ю. А. Мальцев описывает «Экономико-математические модели» как инструменты, базирующиеся на традиционной математике и теории операций, направленных на анализ экономических параметров. В перспективе в этой области также возможно применение метатеории для более глубокого анализа транспортных процессов.

Материалы и методы. В арсенале инструментария для экономико-математического моделирования в сфере автотранспорта, дорожной инфраструктуры и логистики грузовых перевозок особо выделяется техника сетевого планирования. Эта методология эффективно обеспечивает визуализацию и последующую оптимизацию разнообразных процессов управления, включая обслуживание и ремонт автомобильной техники, проведение строительных работ, а также выполнение логистических задач. В обобщенной сетевой модели мы видим следующие аспекты:

- последовательность шагов различных этапов в технологической операции;
- порядок использования технологий, ресурсов и трудовых мощностей;
- сроки начала и завершения логистических процессов по перевозке грузов различного назначения;
- наличие резервных возможностей по времени, оборудованию и материалам.

Следует подчеркнуть, что эффективность сельскохозяйственной логистики и выполняемых агротехнических мероприятий может быть обеспечена за счет использования мультифункциональной агротехники. Это дает возможность сократить ассортимент специальной техники, необходимой для выполнения разнообразных агротехнических операций [1, 2].

Изначально линейные календарные графики были широко использованы из-за своей ясности, наглядности и легкости в изготовлении, предоставляя информацию о временных рамках и деталях проектов. Однако, эти графики фиксируют только одну из множества возможностей выполнения задач, что является ограничением. Транспортировка грузов, в том числе сельскохозяйственных продуктов, представляет собой сложный вероятностный процесс с динамикой, требующей учета возможных отклонений от первоначального плана. Линейные графики жестки и не всегда поддаются корректировке без полного пересмотра, что создает трудности при выделении важных задач без возможных альтернативных решений, что ограничивает их применение в управлении производственными процессами в аграрном транспорте. Это стимулировало поиск альтернатив, и в результате начали применять сетевые модели, которые интегрируют достижения современной математики и информационных технологий.

Результаты и обсуждение. Транспортировка аграрной продукции характеризуется высокой сложностью и многофункциональностью, подвергаясь влиянию многочисленных внешних и внутренних факторов. Значительное число этих параметров действует как прямые и косвенные ограничения, вызванные уникальностью аграрного сектора, налагая специфические требования как на производителя, так и на логистические процессы перевозки разнообразных агропродуктов.

Разные виды транспортировки грузов предполагают специфические воздействующие факторы. Так, элементы влияния на международные логистические операции, вероятно, будут не релевантны для внутренних или региональных перевозок, учитывая различия в законодательных и инфраструктурных условиях.

Внутрирайонная логистика сельскохозяйственных грузов означает последовательность операций по транспортировке продукции аграрного сектора от производителя до конечного потребителя или от поставщика к аграрному предприятию в рамках одной административно-территориальной единицы – будь то субъект Российской Федерации, муниципальное образование и прочее.

На рисунке 1 представлены логистические схемы внутрирайонной перевозки сельхозгрузов [12].

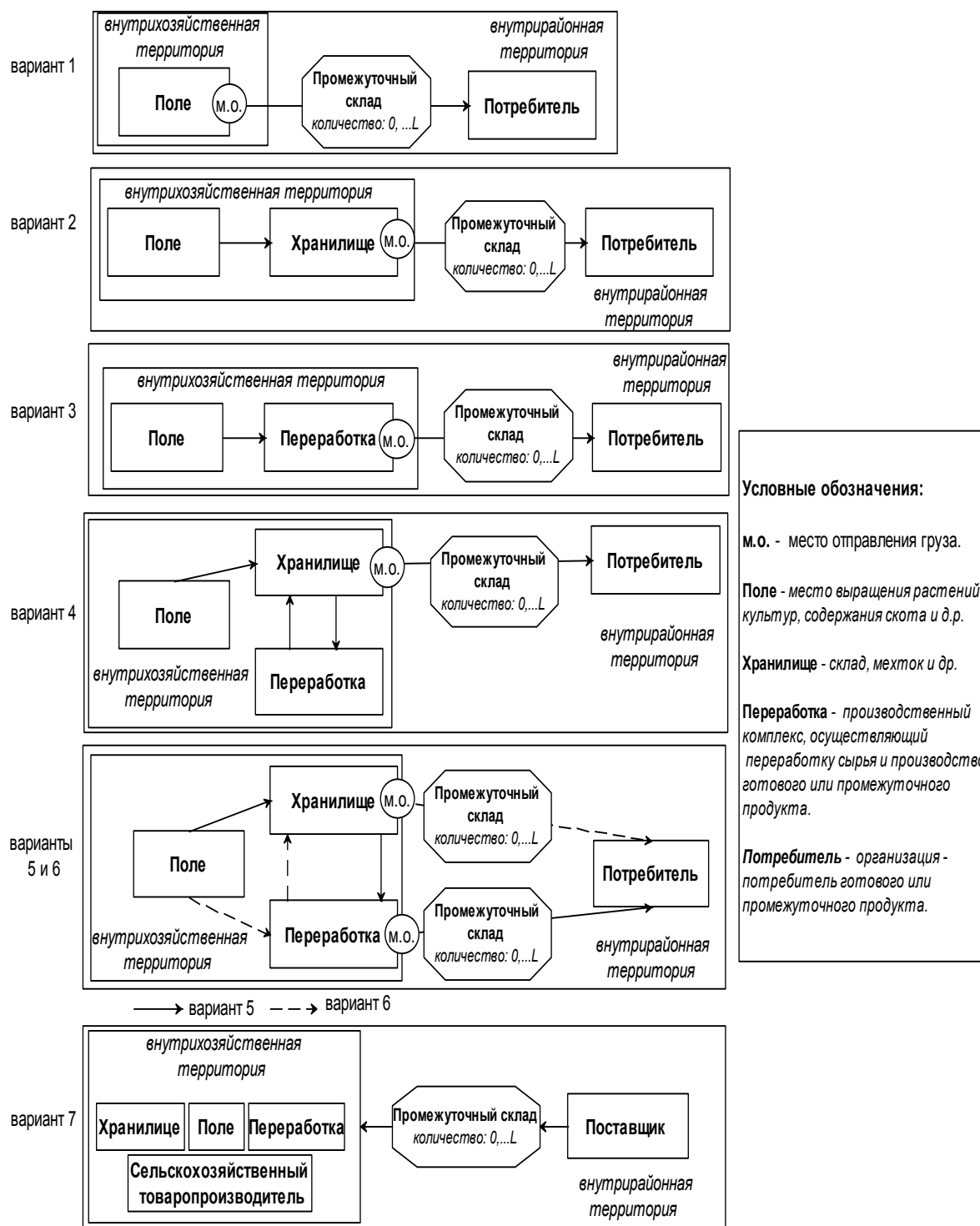


Рисунок 1 – Логистические схемы процесса внутрирайонной перевозки сельскохозяйственных грузов
Figure 1 – Logical diagrams of the process of intra-district transportation of agricultural goods

На рисунке 2, исходя из понимания процесса внутрирайонной перевозки сельскохозяйственных грузов, представлены факторы его внешнего и внутреннего окружения.

Влияние факторов внешнего и внутреннего окружения на формирование системы критериев и ограничений внутрирайонной перевозки сельскохозяйственных грузов представлены в таблице 1.

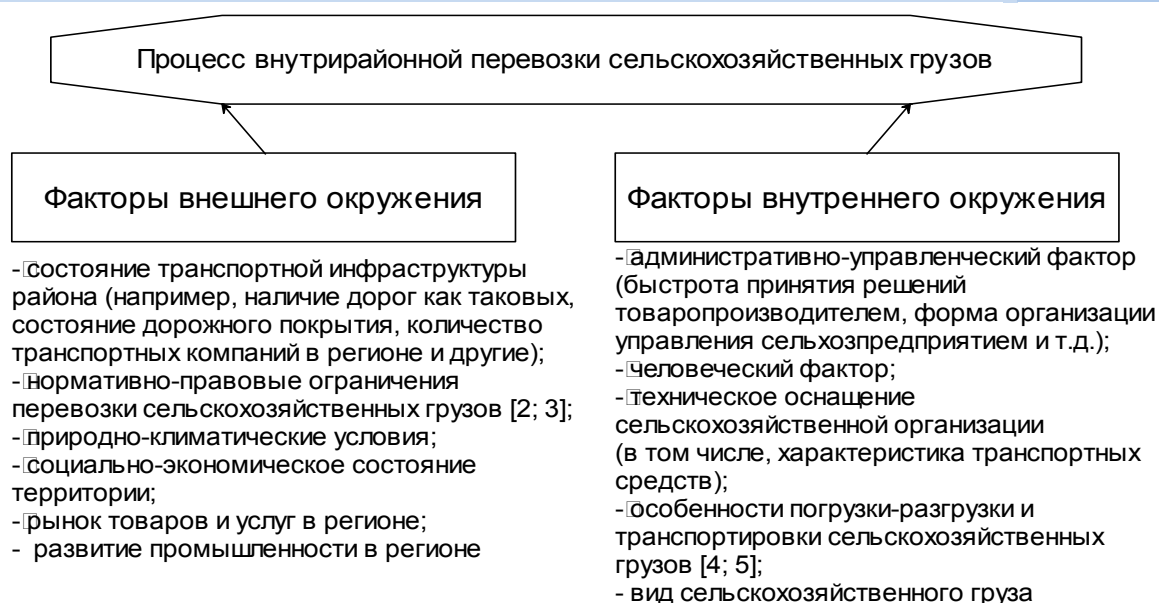


Рисунок 2 – Факторы внешнего и внутреннего окружения, формирующие систему критериев и ограничений внутрирайонной перевозки сельскохозяйственных

Figure 2 – Factors of the external and internal environment that form the system of criteria and restrictions for intra-regional transportation of agricultural products

Такие факторы как «*социально-экономическое состояние территории*» и «*развитие промышленности в регионе*» сами по себе ограничения не формируют, однако оказывают влияние на развитие перерабатывающего сектора и производства, состояние транспортной инфраструктуры и т.д.

Таблица 1 – Влияние факторов внешнего и внутреннего окружения на формирование системы критериев и ограничений внутрирайонной перевозки сельскохозяйственных грузов

Table 1 – The influence of external and internal environmental factors on the formation of a system of criteria and restrictions for intra-regional transportation of agricultural goods

Вид фактора / Type of factor	Фактор / The factor	Содержание фактора / The content of the factor	Формируемое ограничение / Generated restriction	Показатели системы «критериев и ограничений» / Indicators of the "criteria and restrictions" system
1	2	3	4	5
Внешнее окружение / The external environment	состояние транспортной инфраструктуры района / the state of the district's transport infrastructure	состояние дорожного покрытия / condition of the road surface	скорость движения транспорта / traffic speed	– сроки перевозки; – повреждение груза / – terms of transportation; – cargo damage
		протяженность дорог / length of roads	требования к транспортному средству / vehicle requirements	– тип транспортного средства / type of vehicle
	нормативно-правовые ограничения грузоперевозки / regulatory and legal restrictions on cargo transportation	нормативы перевозки определенного типа груза / standards for the transportation of a certain type of cargo	мин расстояние между пунктом отправления и пунктом назначения / min is the distance between the point of departure and the destination	– сроки перевозки; – повреждение груза; – стоимость перевозки / эксплуатационные расходы – terms of transportation; – cargo damage; – cost of transportation / operating costs
			требования к процессу организации перевозки (например, температурные условия) / requirements for the transportation process (for example, temperature conditions)	– сроки перевозки; – тип транспортного средства / – terms of transportation; – type of vehicle

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
	природно-климатические условия / natural and climatic conditions	длительность сезона сбора/посадки / duration of the harvest / planting season	установленные сроки сбора / вывоза культур / established deadlines for the collection/export of crops	– сроки перевозки; – повреждение груза / – terms of transportation; – cargo damage
		погодные условия в процессе перевозки / weather conditions during transportation	скорость движения транспорта, внешние (погодные) условия реализации погрузочно-разгрузочных работ / the speed of transport, the external (weather) conditions for the implementation of loading and unloading operations	– сроки перевозки; – техническая скорость движения; – повреждение груза / – terms of transportation; – technical speed of movement; – cargo damage
		рельеф местности / the terrain	тип дорожного покрытия, длина пути / type of road surface, path length	– сроки перевозки; – техническая скорость движения; – повреждение груза / – terms of transportation; – technical speed of movement; – cargo damage
	рынок товаров и услуг / the market of goods and services	уровень цен в регионе / the price level in the region	стоимость товаров и услуг (цена на топливо, стоимость рабочей силы и др.) / the cost of goods and services (fuel price, labor cost, etc.)	– стоимость перевозки / – cost of transportation
		развитость рынка товаров и услуг / the development of the market of goods and services	количество организаций, предоставляющих услуги по перевозке грузов, наличие (развитость рынка) рабочей силы в регионе и др. / the number of organizations providing cargo transportation services, the availability (market development) of labor in the region, etc.	– сроки перевозки / – terms of transportation
	административно-управленческий / administrative and managerial	форма организации деятельности сельскохозяйственного товаропроизводителя / the form of organization of the agricultural producer's activities	способы организации перевозки (самостоятельно, централизованно, аутсорсинг) / methods of transportation organization (independently, centrally, outsourcing)	– стоимость перевозки – повреждение груза; – стоимость перевозки/ – cost of transportation – cargo damage; – cost of transportation
			механизация погрузочно-разгрузочных работ / mechanization of loading and unloading operations	– сроки перевозки; – повреждение груза; – стоимость перевозки/ – terms of transportation; – cargo damage; – cost of transportation

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
Внутреннее окружение / The inner environment	административно-управленческий / administrative and managerial	форма организации деятельности сельскохозяйственного товаропроизводителя / the form of organization of the agricultural producer's activities	способы организации перевозки (самостоятельно, централизованно, аутсорсинг) / methods of transportation organization (independently, centrally, outsourcing) /	– стоимость перевозки – повреждение груза / – cost of transportation – cargo damage
			механизация погрузочно-разгрузочных работ / mechanization of loading and unloading operations	– сроки перевозки; – повреждение груза; – стоимость перевозки / – terms of transportation; – cargo damage; – cost of transportation
	человеческий / the human factor	влияние человеческого фактора на процесс перевозки / the influence of the human factor on the transportation process	четкое выполнение обязанностей (отклонение от маршрута и др.) / ошибки при принятии управленческих решений / clear performance of duties (deviation from the route, etc.)/mistakes in making managerial decisions	– сроки перевозки; – повреждение груза; – стоимость перевозки / – terms of transportation; – cargo damage; – cost of transportation
	техническое оснащение организации (особенности погрузки-разгрузки и транспортировки продукта) / technical equipment of the organization (features of loading and unloading and transportation of the product)	наличие (доступность) транспортных и технических средств определенного типа / availability (accessibility) of vehicles and technical facilities of a certain type	количество, тип и грузоподъемность транспортных средств / number, type and load capacity of vehicles	– сроки перевозки; – повреждение груза; – стоимость перевозки / эксплуатационные расходы; – соблюдение условий перевозки; – грузоподъемность (при выполнении 1 рейса) / – terms of transportation; – cargo damage; – cost of transportation / operating costs; – compliance with the conditions of carriage; – carrying capacity (for 1 flight)
			средства механизации погрузки-разгрузки / means of mechanization of loading and unloading	– сроки перевозки; – повреждение груза; – стоимость перевозки/эксплуатационные расходы / – terms of transportation; – cargo damage; – cost of transportation / operating costs

Сетевая модель – это вид сетевого графа, отражающий транспортный процесс как систему взаимосвязанных событий и действий, подчиненную математической и логической структуре.

Ключевые компоненты сетевой архитектуры включают:

События определяются как моменты начала (инициативный элемент, дающий начало транспортной операции) или окончания (конечный этап, сигнализирующий о завершении транспортной задачи) определенного процесса или действия. Особенно следует указать, что события лишены временной продолжительности и не требуют привлечения каких-либо ресурсов.

Часто для визуализации события используется круговая диаграмма, но могут применяться и альтернативные формы, включая квадраты или многоугольники, разделённые на четыре части, каждая из которых иллюстрирует основные элементы модели (см. рисунок 3).



Рисунок 3 – Параметры события
Figure 3 – Event parameters

Идентификатор события задаёт его последовательность в системе.

Минимальный срок наступления события – это период, который должен пройти, прежде чем событие может произойти.

Поздний срок исполнения события – это крайний момент его осуществления, превышение которого приводит к нарушению временных рамок для старта последующих операций и окончания всего процесса транспортировки грузов.

Резерв времени представляет собой интервал между поздним и ранним временами наступления события.

Работа – процесс предшествующий совершению какого-либо события. Это деятельность исполнителей в период времени между двумя смежными событиями, которые имеют несколько разновидностей, представленных на рисунке 4.

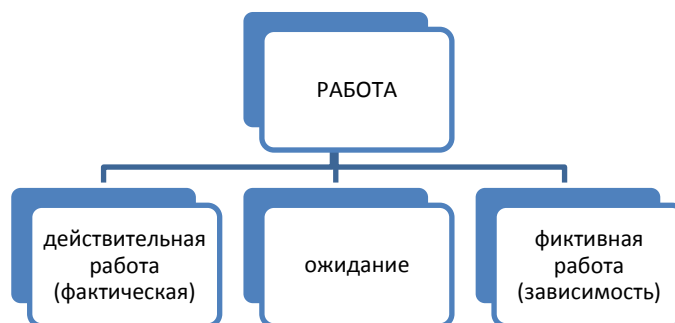


Рисунок 4 – Разновидности «работ» при построении сетевой модели
Figure 4 – Types of “work” when constructing a network model

Фактическая работа представляет собой процесс, требующий времени и ресурсов, включая материалы, рабочую силу и технологическое оборудование.

Ожидание представляет собой временную задержку в деятельности, процесс, который не требует затрат ресурсов, однако связан с временными потерями.

Фиктивная задача – это вид условной операции в управлении проектами, не влекущей расхода реальных ресурсов или времени. Она создает логическую связь между двумя событиями в плане проекта, демонстрируя, что запуск одного элемента проекта возможен только после завершения другого.

В сетевом анализе задачи и ожидание иллюстрируются с помощью сплошных стрелок, в то время как фиктивные действия, показывающие зависимости, представлены пунктирными линиями. Без использования временного масштаба на сетевой диаграмме, над каждой стрелкой указывается длительность соответствующей активности в соответствующих временных единицах.

В практике транспортного и дорожного строительства встречается множество различных форм сетевых графиков (рисунок 5) [4].

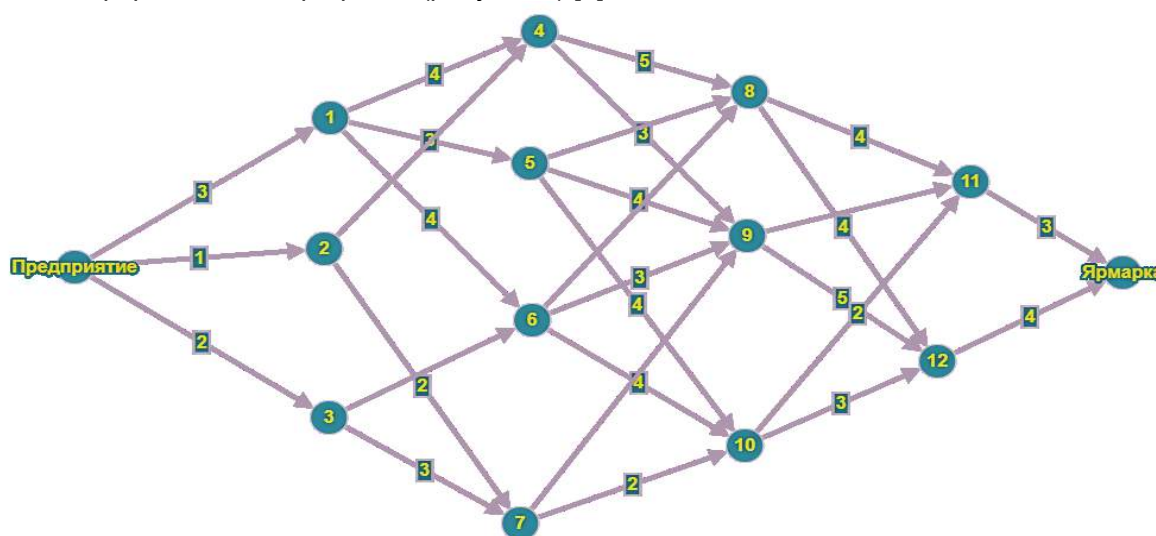


Рисунок 5 – Пример стреловидной диаграммы (сетевого графика), демонстрирующей различные варианты транспортировки сельскохозяйственной продукции от «Предприятия-производителя» до «Ярмарки»

Figure 5 – An example of an arrow diagram (network diagram) demonstrating various options for transporting agricultural products from the “Manufacturing Enterprise” to the “Fair”

Исследование графа сети и выполнение соответствующих вычислений помогают находить наилучший маршрут для доставки аграрной продукции от производителя до точки продажи.

Анализ графа сети, иллюстрированного на рисунке 3, демонстрирует:

- наилучший маршрут «Я-11-10-7-2-П» – длительность транзита 10 часов,
- варианты пути следования: «Я-11-10-7-3-П» и «Я-12-10-7-2-П», продолжительность каждого составляет 12 часов.

Этот график взаимосвязей можно отобразить на топографической карте, что обеспечит более эффективное планирование транспортировки агропромышленной продукции, адаптированное к существующим дорожным условиям.

При разработке и применении методов сетевого планирования в логистике агропромышленных грузоперевозок необходимо учитывать, что реально затрачиваемое время может изменяться под влиянием различных условий, таких как дорожные условия или погода [7]. Это делает «время» переменной вероятностного характера, требующей уточнения и пересмотра расчетов.

В процессе транспортировки ключевым являются стандарты и ограничительные параметры.

Ключевыми параметрами и ограничивающими факторами при транспортировке аграрной продукции по районам, а также влияние на них внешних и внутренних условий служат:

1) *Ограничение: «сроки перевозки».*

В логистических процессах аграрного сектора, время играет роль критического параметра и ограничивающего фактора. Это объясняется уникальными требованиями к транспортировке определённых агропродуктов и временными рамками сбора урожая.

Отсюда следует, что должно соблюдаться условие: $T_{\text{факт}} \leq T_{\text{норм}}$, где $T_{\text{факт}}$ представляет собой реально затрачиваемое время на все операции по перемещению аграрной продукции, в то время как $T_{\text{норм}}$ – это оптимальное время, диктуемое характеристиками груза или требованиями агропромышленного процесса, в пределах которого перевозка должна быть выполнена.

Исходя из представленных на рисунке 1 логических схем внутрирайонной перевозки сельхозгрузов, можно рассчитать время, необходимое для фактической реализации этого процесса ($T_{\text{факт}}$):

$$T_{\text{факт}} = s \times (T_{\text{погр}} + T_{\text{разг}} + T_{\text{перев}} + T_{\text{yo}} + T_{\text{под}}), \quad (1)$$

где s – количество рейсов, за которое может быть перевезен однородный груз массой Q .

$T_{\text{погр}}$ – время, затрачиваемое на осуществление погрузочных работ на различных этапах грузоперевозки в зависимости от выбранной схемы процесса грузоперевозки.

$$T_{\text{погр}} = \sum_{i=1}^n t_i, \quad (2)$$

где n – количество погрузочных операций в рамках конкретной схемы грузоперевозок; t_i – время необходимое на погрузку в i -той операции.

$T_{\text{разг}}$ – время, затрачиваемое на осуществление разгрузочных работ на различных этапах грузоперевозки в зависимости от выбранной схемы процесса грузоперевозки.

$$T_{\text{разг}} = \sum_{j=1}^m t_j, \quad (3)$$

где m – количество разгрузочных операций в рамках конкретной схемы грузоперевозок; t_j – время необходимое на разгрузку в j -той операции.

$T_{\text{перев}}$ – время, затрачиваемое на осуществление перевозки (движение с грузом) на различных этапах грузоперевозки в зависимости от выбранной схемы процесса грузоперевозки.

$$T_{\text{перев}} = \sum_{k=1}^b t_k, \quad (4)$$

где b – количество операций по перевозке грузов в рамках конкретной схемы грузоперевозок; t_k – время необходимое на перевозку в k -той операции.

T_{yo} – время, затрачиваемое на осуществление управленческо-административных операций (оформление документации, контроль качества груза и др.).

$$T_{\text{yo}} = \sum_{h=1}^d t_h, \quad (5)$$

где d – количество управленческо-административных операций в рамках конкретной схемы грузоперевозок; t_h – время, необходимое для осуществления h -той управленческо-административной операции.

$T_{\text{под}}$ – время, затрачиваемое на осуществление подачи транспорта (движение без груза) на различных этапах грузоперевозки в зависимости от выбранной схемы процесса грузоперевозки.

$$T_{\text{под}} = \sum_{f=1}^a t_f, \quad (6)$$

где a – количество операций подачи транспортных средств в рамках конкретной схемы грузоперевозок; t_f – время, необходимое на подачу транспортного средства в f -ной операции.

В таблице 2 представлены факторы, оказывающие непосредственное воздействие на длительность процесса внутрирайонной перевозки сельскохозяйственных грузов.

2) Критерий: «повреждение груза».

Фактор "повреждение груза" оказывает значительное воздействие на экономическую эффективность транспортировки. С увеличением количества повреждений повышается стоимость доставки на единицу массы. Для минимизации издержек стремятся к минимизации показателя $P_{\text{факт}}$, который отображает объем или процент поврежденного в процессе транспортировки сельскохозяйственного груза в абсолютных числах или в процентном соотношении к общему объему перевозимых товаров.

Таблица 2 – Факторы, влияющие на длительность процесса внутрирайонной перевозки груза
Table 2 – Factors influencing the duration of the intra-regional cargo transportation process

Переменная, час. / Variable, hour	Наименование переменной / Name of the variable	Факторы, оказывающие влияние на переменную / Factors influencing the variable
$T_{\text{погр}}$	Время, затрачиваемое на осуществление погрузочных работ / Time spent on loading operations	– вид сельскохозяйственного груза; – наличие средств механизации погрузки; – вид упаковки; – человеческий фактор (отношение к процессу погрузки, производительность труда и т.д.) / – type of agricultural cargo; – availability of loading mechanization facilities; – type of packaging; – the human factor (attitude to the loading process, labor productivity, etc.)
$T_{\text{разг}}$	Время, затрачиваемое на осуществление разгрузочных работ / Time spent on unloading operations	– вид сельскохозяйственного груза; – наличие средств механизации разгрузки; – вид упаковки; – человеческий фактор (отношение к процессу разгрузки, производительность труда и т.д.) / – type of agricultural cargo; – availability of unloading mechanization facilities; – type of packaging; – the human factor (attitude to the unloading process, labor productivity, etc.)
$T_{\text{перев}}$	Время, затрачиваемое на транспортировку груза / Time spent on cargo transportation	– состояние дорожного покрытия; – дальность перевозки (расстояние); – скорость движения транспортного средства; – технические характеристики транспортного средства (грузоподъемность); – человеческий фактор (соблюдение требований к процессу перевозки, отклонение от маршрута и др.) / – condition of the road surface; – range of transportation (distance); – the speed of the vehicle; – technical characteristics of the vehicle (load capacity); – the human factor (compliance with the requirements for the transportation process, deviation from the route, etc.)
$T_{\text{оу}}$	Время, затрачиваемое на осуществление управленческо-административных операций / Time spent on management and administrative operations	– способы и методы проверки состояния и сохранности груза; – надежность поставщика услуг грузоперевозки (надежность персонала и ТС, осуществляющих перевозку грузов); – составление и проверка документации; – принятие управленческого решения / – methods and methods of checking the condition and safety of cargo; – reliability of the cargo transportation service provider (reliability of personnel and vehicles engaged in cargo transportation); – preparation and verification of documentation; – making a managerial decision
$T_{\text{под}}$	Время движения транспорта без груза / Time of movement of transport without cargo	– состояние дорожного покрытия; – расстояние; – скорость движения транспортного средства; – технические характеристики транспортного средства; – человеческий фактор; – административно-управленческий фактор / – condition of the road surface; – distance; – the speed of the vehicle; – technical characteristics of the vehicle; – the human factor; – administrative and managerial factor

В вычислении индекса урона агропродукции, задействованной в логистической цепи, используется следующая формула:

$$P_{\text{факт}} = P_{\text{погр}} + P_{\text{разг}} + P_{\text{перев}} + P_{\text{еств}} + P_{\text{хран}} \quad (7)$$

$P_{\text{погр}}$ – повреждения сельскохозяйственного груза при осуществлении погрузочных работ на различных этапах грузоперевозки, в зависимости от выбранной схемы процесса грузоперевозки.

$$P_{\text{погр}} = \sum_{i=1}^n p_i, \quad (8)$$

где p_i – доля или количество поврежденного груза в i -той операции погрузки.

$P_{\text{разг}}$ – повреждения сельскохозяйственного груза при осуществлении разгрузочных работ на различных этапах грузоперевозки в зависимости от выбранной схемы процесса грузоперевозки.

$$P_{\text{разг}} = \sum_{j=1}^m p_j, \quad (9)$$

где p_j – доля или количество поврежденного груза в j -той операции разгрузки.

$P_{\text{перев}}$ – повреждение сельскохозяйственного груза при непосредственной перевозке.

$$P_{\text{перев}} = P_{\text{еств}} \times P_{\phi} \quad (10)$$

$$P_{\text{еств}} = Q_{\text{перев}} \times P_{1b}! \quad (11)$$

$$P_{\phi} = \sum_{k=1}^b p_k \quad (12)$$

где $P_{\text{еств}}$ – уменьшение массы груза в процессе перевозки за счет естественных причин; $Q_{\text{перев}}$ – масса перевозимого груза;

P_1 – норма естественной убыли в зависимости от дальности, вида перевозки и типа сельхозгруза;

P_{ϕ} – уменьшение массы груза за счет воздействия факторов внешнего и внутреннего окружения на процесс перевозки;

p_k – доля или количество поврежденного груза в k -той операции перевозки.

$P_{\text{хран}}$ – повреждение груза в процессе ожидания перевозки на пункте отправления или промежуточном пункте хранения.

$$P_{\text{хран}} = Q_{\text{хран}} \times P_{2L} \quad (13)$$

где $Q_{\text{хран}}$ – масса груза, находящаяся на временном хранении в ожидании транспортировки;

P_2 – норма естественной убыли, в зависимости от срока, формы хранения и типа сельхозгруза;

L – количество промежуточных пунктов хранения (складов) в процессе транспортировки сельскохозяйственных грузов от производителя к потребителю, $L \in \{0; 1 \dots E\}$, где E – целое неотрицательное число.

В таблице 3 представлена зависимость повреждения сельскохозяйственных грузов в процессе внутрирайонной перевозки от различных факторов.

3) Критерий: «стоимость».

В контексте внутрирайонных сельскохозяйственных перевозок, общие затраты ($C_{\text{факт}}$) представляют собой ключевой компонент, который подлежит оптимизации с целью его минимизации. Однако, особенности сельскохозяйственных грузов требуют установления строгих стандартов, влияющих на уменьшение $C_{\text{факт}}$.

По результатам наших исследований установлено, что минимизация $C_{\text{факт}}$ достигается при условии, что фактическая температура $T_{\text{факт}}$ не превышает нормативную $T_{\text{норм}}$, а фактическое давление $P_{\text{факт}}$ равно заданному $P_{\text{еств}}$ (или стремится к минимально возможному значению $P_{\text{факт}} \rightarrow \min$).

Следовательно, важно сократить значение $C_{\text{факт}}$, при этом гарантируя, что реальная температура $T_{\text{факт}}$ не выходит за пределы установленной нормы $T_{\text{норм}}$, а реальное давление $P_{\text{факт}}$ соответствует ожидаемому $P_{\text{еств}}$ или минимизируется.

Кроме того, ценообразование в сфере грузоперевозок зависит от множества объективных и субъективных аспектов, в том числе от конкурентной среды в данной отрасли, уровня заработной платы, стоимости топлива, выбранной модели управления логистикой, а также от затрат на управление складскими запасами, оплату труда персонала и прочих операционных расходов.

Таблица 3 – Факторы, влияющие на повреждение сельскохозяйственных грузов
в процессе внутрирайонной перевозки

Table 3 - Factors influencing damage to agricultural cargo during intra-regional transportation

Переменная, в % от общей массы груза / Variable, in % of the total weight of the cargo	Наименование переменной / Name of the variable	Факторы, оказывающие влияние на переменную / Factors influencing the variable
$P_{\text{погр}}$	Порча в процессе погрузки / Spoilage during loading	– вид сельскохозяйственного груза; – способ погрузки (наличие средств механизации погрузки, время, затрачиваемое на погрузку); – вид упаковки; – человеческий фактор (отношение к процессу погрузки, бережность и т.д.) / – type of agricultural cargo; – loading method (availability of loading mechanization facilities, time spent on loading); – type of packaging; – the human factor (attitude to the loading process, care, etc.)
$P_{\text{разг}}$	Порча в процессе разгрузки / Spoilage during unloading	– вид сельскохозяйственного груза; – способ разгрузки (наличие средств механизации разгрузки, время, затрачиваемое на разгрузку); – вид упаковки; – человеческий фактор (отношение к процессу погрузки, бережность и т.д.) / – type of agricultural cargo; – unloading method (availability of unloading mechanization tools, time spent on unloading); – type of packaging; – the human factor (attitude to the loading process, care, etc.)
$P_{\text{перев}}$	Порча в процессе транспортировки / Spoilage during transportation	– вид сельскохозяйственного груза; – состояние дорожного покрытия; – дальность перевозки (расстояние); – скорость движения транспортного средства; – технические характеристики транспортного средства; – вид упаковки; – человеческий фактор (соблюдение требований к процессу перевозки); – естественная убыль в процессе перевозки / – type of agricultural cargo; - condition of the road surface; – range of transportation (distance); – the speed of the vehicle; – technical characteristics of the vehicle; – type of packaging; – the human factor (compliance with the requirements for the transportation process); – natural loss during transportation.
$P_{\text{еств}}$	Естественная убыль / Natural decline	– усушка, усадка в зависимости от вида сельскохозяйственного груза в процессе хранения; – усушка, усадка в зависимости от вида сельскохозяйственного груза в процессе перевозки / – shrinkage, shrinkage depending on the type of agricultural cargo during storage; – shrinkage, shrinkage depending on the type of agricultural cargo during transportation
$P_{\text{хран}}$	Порча в процессе хранения (есте- ственная убыль) / spoilage during storage (natural decrease)	– порча в процессе хранения, при несоблюдении условий хранения; – недостаточное количество ТС для своевременного осуществления процесса перевозки / – spoilage during storage, in case of non-compliance with storage conditions; – insufficient number of vehicles for the timely implementation of the transportation process

Заключение. На основании проведенного анализа было выявлено, что организация транспортировки аграрных продуктов представляет собой многогранную задачу, усложняющую адаптацию транспортных расписаний и выделение приоритетных этапов. Специалисты подчеркивают неэффективность стандартных временных графиков в контексте управления циклами агрологистики. Это обуславливает необходимость создания передовых планировочных решений, включая применение графовых техник с применением последних достижений в области применения комплексных математических и информационных технологий.

Conclusion. Based on the analysis, it was revealed that organizing the transportation of agricultural products is a multifaceted task, complicating the adaptation of transport schedules and the prioritization of stages. Experts emphasize the ineffectiveness of standard schedules in the context of managing agrologistics cycles. This necessitates the development of advanced planning solutions, including the use of graph techniques utilizing the latest advances in integrated mathematical and information technologies.

Библиографический список

1. Филюшин О. В., Лимаренко Н. В. и др. Повышение эффективности внутрихозяйственных перевозок плодовоошной продукции. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 2 (70). С. 429-439.
2. Belyu L. P. et al. Metamodelling in the information field. Amazonia Investiga. 2020. V. 9. No 25. Pp. 395-402.
3. Фадеев И. В. и др. Электрическая мобильная техника в сельском хозяйстве: проблемы и перспективы. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 3 (75). С. 366-376.
4. Белю Л. П. и др. Исследование транспортировки яблок в таре по дорогам с различным покрытием. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 3 (71). С. 526-539.
5. Симдянкин А. А. и др. Сохранность плодов на внутрихозяйственных перевозках. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 2 (58). С. 346-356.
6. Симдянкин А. А., Белю Л. П. Оценка потенциальной повреждаемости сельскохозяйственных грузов при их перевозке по дорогам с различным покрытием. Нива Поволжья. 2020. № 2 (55).
7. Belyu L. P. et al. Tariff Regulation on the base of Weather and Seasonal Changes in Transportation Environment. J. Environ. Treat. Tech. <http://www.jett.dormaj.com>
8. Успенский И. А. и др. Исследование алгоритма динамического расчета для уменьшения факторов, усиливающих колебательные движения автомобилей, приводящие к порче перевозимой плодовоошной продукции. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 3 (67). С. 487-497.
9. Антоненко М. В. и др. Влияние параметров колебаний автомобиля на повреждение плодовоошной продукции. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2024. № 198. С. 1-12.
10. Успенский И. А. и др. Перспективы исследования колебательных движений автомобиля, влияющих на сохранность плодовоошной продукции, перевозимой в контейнерах. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2023. Т. 15. № 3. С. 154-162.
11. Успенский И. А. и др. Физико-механические свойства яблок. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 4 (76). С. 364-373.
12. Белю Л. П. и др. Анализ факторов, влияющих на производственный процесс внутрирайонной перевозки сельскохозяйственных грузов. Вклад университетской аграрной науки в инновационное развитие агропромышленного комплекса: материалы 70-й Международной научно-практической конференции. – Рязань: РГАТУ, 2019. С. 54-62.

References

1. Filyushin O. V., Limarenko N. V. et al. Improving the efficiency of on-farm transportation of fruit and vegetable products. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2023. No 2 (70). Pp. 429-439.
2. Belyu L. P. et al. Metamodelling in the information field. Amazonia Investiga. 2020. V. 9. No 25. Pp. 395-402.
3. Fadeev I. V. et al. Electric mobile equipment in agriculture: problems and prospects. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2024. No 3 (75). Pp. 366-376.
4. Belyu L. P. et al. Investigation of transportation of apples in containers on roads with different surfaces. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2023. No 3 (71). Pp. 526-539.
5. Simdyankin A. A. et al. Fruit preservation during on-farm transportation. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2020. No 2 (58). Pp. 346-356.
6. Simdyankin A. A., Belyu L. P. Assessment of the potential damage of agricultural goods during their transportation on roads with different surfaces. The field of the Volga region. 2020. № 2 (55).
7. Belyu L. P. et al. Tariff Regulation on the base of Weather and Seasonal Changes in Transportation Environment. J. Environ. Treat. Tech. <http://www.jett.dormaj.com>
8. Uspensky I. A. et al. The study of a dynamic calculation algorithm for reducing factors that enhance the oscillatory movements of cars, leading to spoilage of transported fruit and vegetable products. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2022. No 3 (67). Pp. 487-497.
9. Antonenko M. V. et al. The influence of car vibration parameters on damage to fruit and vegetable products. Polythematic online electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2024. No. 198. Pp. 1-12.

10. Uspensky I. A. et al. Prospects for the study of oscillatory movements of the car, affecting the safety of fruit and vegetable products transported in containers. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2023. Vol. 15. No 3. Pp. 154-162.

11. Ouspensky I. A. et al. Physico-mechanical properties of apples. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: science and higher professional education. 2024. No 4 (76). Pp. 364-373.

12. Belyu L. P. et al. Analysis of the factors influencing the production process of intra-district transportation of agricultural goods. The contribution of University agricultural science to the innovative development of the agro-industrial complex: proceedings of the 70th International Scientific and Practical Conference. Ryazan: RGATU, 2019, Pp. 54-62.

Информация об авторах

Аникин Николай Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева ФГБНУ Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: hay459@mail.ru

Успенский Иван Алексеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБНУ Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: ivan.uspenckij@yandex.ru

Белю Людмила Петровна, кандидат технических наук, доцент кафедры, НОЧУ ВО «Московский экономический институт» (Российская Федерация, 109390, г. Москва, ул. Артюхиной, 6, корп. 1), e-mail: mila2807@bk.ru

Юхин Иван Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБНУ Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: yuival@rambler.ru.

Бышов Дмитрий Николаевич, доктор технических наук, доцент кафедры, ФГБНУ Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: university@rgatu.ru

Лимаренко Николай Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры, Донской государственный технический университет, профессор кафедры, ФГБНУ Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: limarenkodstu@yandex.ru

Authors' Information

Anikin Nikolay Viktorovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, P. A. Kostychev Ryazan State Agro-technological University (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev Street, 1), e-mail: hay459@mail.ru

Uspensky Ivan Alekseevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department, P. A. Kostychev Ryazan State Agro-technological University (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev Street, 1), e-mail: ivan.uspenckij@yandex.ru

Belyu Lyudmila Petrovna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Moscow Institute of Economics (Russian Federation, 109390, Moscow, Artyukhina St., 6/1), e-mail: mila2807@bk.ru

Yukhin Ivan Aleksandrovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department, P. A. Kostychev Ryazan State Agro-technological University (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev Street, 1), e-mail: yuival@rambler.ru

Byshov Dmitry Nikolaevich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, P. A. Kostychev Ryazan State Agro-technological University (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev St., 1), e-mail: university@rgatu.ru

Limarenko Nikolay Vladimirovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department, Don State Technical University, Professor of the Department P. A. Kostychev Ryazan State Agro-technological University (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev Street, 1), e-mail: limarenkodstu@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-60

THE CREATION OF THE RUSSIAN DRIVE FOR THE HOSE-REEL IRRIGATION MACHINES THROUGH THE REENGINEERING

¹Barabanov V. V., ²Soloviev A. V., ¹Gerashchenko A. A.

¹Scientific and Production Association "Meliorator"
Volzhsky, Russian Federation

²Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: BarabanovV@mail.ru

Received 01.12.2025

Submitted 12.01.2026

Summary

This article presents the results of developing a drive for hose-reel irrigation machine. A theoretical justification for the key technical parameters of the drive components is provided through calculations. An analysis of designs used in practice on the global market is conducted. The results demonstrate the feasibility and potential of producing a domestically produced drive for hose-reel irrigation machines in the Russian Federation.

Abstract

Introduction. Import substitution in domestic mechanical engineering is crucial to ensuring the stability of the industry in the current context. Until recently, the production of irrigation equipment, particularly irrigation machines, included a number of components not manufactured in the Russian Federation. In the case of reel-type irrigation machines, one such component was the irrigation machine drive, which consists of a hydraulic turbine and a gearbox that reduces the rotational speed and increases the force accordingly. This drive is a key component in hose-reel irrigation machines. Organizing its production in the Russian Federation will allow independence from external suppliers and significantly stabilize the situation in the construc-

tion of irrigation equipment. **Object.** The object of the study is the hose-reel irrigation machine drive. **Materials and Methods.** The study was conducted at the production facilities of NPO Meliorator LLC. **Results and Conclusions.** An analysis of reel irrigation machine drive designs from European and Asian manufacturers led to the creation of conceptual models for a proprietary drive. After calculating the required technical and operational characteristics of the drive, reverse engineering of suitable foreign-made designs was conducted. This work resulted in the creation of design and technological documentation and the production of a pre-production batch of drives for Irrivol irrigation machines, which successfully completed field trials in 2023-2025.

Keywords: hose-reel irrigation machines, designs of sprinklers, production of reclamation equipment, import substitution of agricultural machinery, reverse engineering, Irrivol irrigation machines.

Citation. Barabanov V. V., Soloviev A. V., Gerashchenko A. A. The creation of the Russian drive for the hose-reel irrigation machines through the reengineering. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 581-588 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-60.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.347

СОЗДАНИЕ РОССИЙСКОГО ПРИВОДА БАРАБАНЫХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН ПУТЕМ РЕИНЖИНИРИНГА

¹Барабанов В. В., кандидат сельскохозяйственных наук

²Соловьев А. В., кандидат технических наук

¹Герашченко А. А., аспирант

¹ООО «Научно-производственное объединение «Мелиоратор»

г. Волжский, Волгоградская область, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет»

г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Импортозамещение в отечественном машиностроении в текущих реалиях является крайне важным для обеспечения стабильности работы отрасли. В рамках производства мелиоративной техники, в частности, дождевальных машин, до последнего времени существовал ряд компонентов, не производимых на территории РФ. В контексте дождевальных машин барабанного типа, одним из таких компонентов являлся привод дождевальной машины, представляющий агрегат из гидротурбины и коробки скоростей, в которой происходит редукция скорости вращения с соответствующим ростом усилия. Указанный агрегат – один из ключевых в барабанных дождевальных машинах. Его производство, организованное в РФ, позволит быть независимым от внешних поставщиков и значительно стабилизирует обстановку в области строительства техники для орошения. **Объект.** Объектом исследований является привод дождевальной машины барабанного типа. **Материалы и методы.** Исследования проводились на базе производственных мощностей ООО «НПО Мелиоратор». **Результаты и выводы.** В результате анализа конструкций привода дождевальной машины барабанного типа европейских и азиатских производителей созданы концептуальные модели привода собственного производства. После расчета необходимых технико-эксплуатационных характеристик привода был проведен реверс-инжиниринг подходящих конструкций иностранного производства. Итогом проведенной работы явилось создание конструкторско-технологической документации и производство предсерийной партии приводов для дождевальных машин Irrivol, которая успешно прошла ходовые испытания в 2023-2025 гг.

Ключевые слова: дождевальные машины барабанного типа, конструкции дождевальных машин, производство мелиоративной техники, импортозамещение сельскохозяйственной техники, реверс-инжиниринг, дождевальные машины Irrivol.

Цитирование. Барабанов В. В., Соловьев А. В., Герашченко А. А. Создание российского привода барабанных дождевальных машин путем реинжиниринга. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 581-588. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-60.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Подавляющее число исследований и публикаций посвящено широкозахватным дождевальным машинам. Это связано с гораздо большим распространением и использованием, нежели у других типов дождевальных машин. В публикациях уделено

внимание как современным конструкциям [6], так и дождевальным машинам, конструкция которых хорошо известна со времен массового внедрения орошения в СССР [5, 9]. Анализируются энергозатраты и общая эффективность работы дождевальных машин, ищутся пути снижения себестоимости эксплуатации оборудования [7, 8]. Предлагаются устройства для улучшения технологичности полива [10].

Однако, барабанные дождевальные машины занимают свою нишу в орошаемом земледелии РФ [4, 11, 12]. Об этом свидетельствуют, в частности, налаженные за последние 15 лет серийные производства нескольких брендов дождевальных машин этого типа в РФ. Отмечается, что при правильном подходе к отладке технологических процессов и режима орошения обеспечивается хорошая равномерность полива [13]. Изначально на всех российских машинах использовались готовые технические решения по приводу – гидротурбина с редуктором итальянского производства. Следует отметить, подобные компоновочные решения применяют практически все европейские производители барабанных дождевальных машин. Два завода в Италии удовлетворяют спрос нескольких десятков производителей в Европе. Это удобно и экономически целесообразно, поэтому российские барабанные дождевальные машины (Агромаш Ниагара, Харвест, ZDM irrigation, Мелиора, Irrivol) изначально изготавливались по тому же принципу.

Все изменилось после скачкообразного введения незаконных санкций против РФ. Европейские заводы-производители отказались поставлять компоненты напрямую, параллельный импорт значительно увеличивал себестоимость производства техники. При рассмотрении вариантов китайского производства привода обнаружились особенности – производители не указывали и не хотели указывать основные технические характеристики изделия. Крутящий момент редуктора (коробки скоростей) не регламентировался, что вело к невозможности прочностного расчета привода. Вышеуказанные обстоятельства привели к решению «НПО Мелиоратор» о производстве собственного привода – гидротурбины с коробкой скоростей для дождевальных машин Irrivol.

Материалы и методы. Анализ литературных источников показал слабую освещенность тематики барабанных дождевальных машин, и практическое отсутствие исследований и публикаций на тему их привода. В 2008 году ВНИИОЗом была запатентована конструкция двухконсольной фермы дождевальной машины барабанного типа полосового полива (Ферма двухконсольная дождевальной машины барабанного типа полосового полива: пат. 2365099 Рос. Федерация. № 2008113775/12 / Безроднов Н. А.; заявл. 08.04.2008; опубл. 27.08.2009, Бюл. № 24. 1 с. ГОСТ: ГОСТ Р 7.0.5-2008), производимой ЗАО «Ортех». ФГББУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. Н. Вавилова» предлагал разработку и внедрение дождевальной машины «Спираль», которая относится к барабанным дождевальным машинам [1]. В обеих публикациях тема привода не затрагивалась. При анализе дождевальных машин для высокостебельных культур в Воронежском государственном аграрном университете [2]. Отмечен только принцип работы привода – от энергии воды, протекающей через гидротурбину. В патенте на дождевальную машину барабанного типа с постепенным сматыванием, выданным в 2018 году ЦЗЯНСУ ХУАЮАНЬ УОТЕР-СЕЙВИН КО. ЛТД (Дождевальная машина барабанного типа с постепенным сматыванием, содержащая эксцентрический поворотный механизм: пат. 2711978 Рос. Федерация. № 201910792 /ЦЮ, Чжипэн(CN); заявл. 25.06.2018; опубл. 23.01.2020, Бюл. № 3. 1 с. ГОСТ: ГОСТ Р 7.0.5-2008) привод описан как устройство для постепенного сматывания, которое в своем составе содержит гидравлическую турбину в корпусе и редуктор гидравлической турбины. Однако, никаких технических характеристик привода документ не содержит. Такая же картина и в другом патенте, выданном в том же 2018 году тому же производителю на «самозаполняющуюся дождевальную машину барабанного типа с гидравлическим турбоприводом» (Самозаполняющаяся дождевальная машина барабанного типа с гидравлическим турбоприводом: пат. 2706542 Рос. Федерация. № 2019107884 / ЦЮ, Чжипэн(CN); заявл. 25.06.2018; опубл. 19.11.2019, Бюл. № 32. 1 с. ГОСТ: ГОСТ Р 7.0.5-2008). Эта конструкция отличается наличием нагнетающего насоса, по сути, это барабанная дождевальная машина, агрегатированная с насосом на одной раме. Насос играет либо роль бустера (при использовании закрытой оросительной сети), либо роль основного насоса с питанием из открытого источника в непосредственной близости от дождевальной машины.

Наиболее актуальным путем достижения цели создания собственного производства привода дождевальных машин стал реверс-инжиниринг (обратный инжиниринг) наиболее распространенных конструкций. Немаловажным фактором является взаимозаменяемость

создаваемого привода с аналогами иностранного производства. Поскольку на практике наблюдаются частые выходы из строя как гидротурбин, так и коробок скоростей (полностью или частично, с потерей одной или нескольких передач), в задачу входило создание агрегатов, совпадающих по точкам крепления и максимально приближенных по габаритным размерам. Такой подход позволяет не только комплектовать новые дождевальные машины, но и восстанавливать до состояния эксплуатационной годности машины бывшие в употреблении.

Результаты и обсуждение. В соответствии с целями и задачами исследований были проанализированы конструкции привода двух итальянских производителей (Comer Industries и Bondioli & Pavesi), австрийского Bauer и ряда китайских поставщиков с небрендовой продукцией.

У Comer Industries предлагается линейка коробок передач, комплектуемых одной моделью турбины. Коробки передач различаются по крутящему моменту и предполагают использование на различных типоразмерах дождевальных машин. Имеют от 3 до 4 передач, которые должны обеспечивать необходимый диапазон скоростей смотки, от которых зависит устанавливаемая поливная норма. Пропускная способность турбины, декларируемая производителем, составляет 25 л/с. Такой поток практически соответствует максимальной производительности дождевальной машины с диаметром трубы до 125 мм. При небольших потоках, проходящих через турбину (малая скорость смотки, малый общий расход машины при диаметрах трубы 50-90 мм), для обеспечения нужной скорости потока на входе предусмотрены сопла – они устанавливаются в случае необходимости. Гидротурбина навешивается на входной вал коробки скоростей и жестко крепится к ее корпусу. В корпусе гидротурбины реализованы также байпасный канал с управляющей заслонкой и присоединительные патрубки с фланцами для подачи и отвода воды. Конструкция отличается компактностью, но дополнительно нагружает собой коробку скоростей и имеет ограничения по компоновочным возможностям.

Bondioli & Pavesi тоже производит линейку коробок скоростей. Модели содержат от 3 до 6 передач. Поставляемая турбина может быть в сборе с коробкой скоростей или отдельно. Во втором варианте подразумевается другое место крепления турбины.

Bauer является производителем широкого спектра моделей дождевальных машин и устанавливаемые приводы также отличаются разнообразием. Зачастую коробки скоростей и гидротурбины на этих дождевальных машинах установлены отдельно, а вращение передается через ременную передачу. Следует отметить, что Bauer практически единственный производитель дождевальных машин, который изготавливает к ним приводы собственного производства.

Небрендовые образцы были закуплены в КНР, поэтому предположительно все там же и произведены (декларируются как изделия, произведенные в КНР). Они имеют крайне высокую визуальную степень схожести с изделиями итальянских производителей. Однако, повторяют они модели, которые имеют характеристику по крутящему моменту до 1000 Н*м. При этом, как было указано выше, поставщик отказывался декларировать этот параметр, что делало невозможным планирование к использованию этих приводов.

В расчете усилия, формируемым приводом дождевальной машины, учитываются следующие параметры:

- масса конструкции дождевателя (штатива с дальнеструйным дождевателем, либо дождевальной консоли);
- масса трубы с водой, размотанной по полю;
- диаметр барабана, на который наматывается труба;
- передаточное отношение выходного вала привода к оси барабана.

Тяговое усилие на горизонтальной поверхности рассчитывается по формуле:

$$F = g \cdot M \cdot k, \quad (1)$$

где, F – тяговое усилие, Н; M – масса груза, кг; k – коэффициент сопротивления; $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

А тяговое усилие лебедки рассчитывается по формуле:

$$F = (2 \cdot M) / D, \quad (2)$$

где, F – тяговое усилие, Н; M – крутящий момент на барабане, Нм; D – диаметр барабана, м.

Упрощенная формула, которую удобно использовать на практике для расчета, выглядит следующим образом:

$$M_{см} = \frac{(g \cdot M_1 \cdot L + g \cdot M_2) \cdot D \cdot 0,8}{2000 \cdot i}, \quad (3)$$

где, $M_{см}$ – момент сматывания, Нм; M_1 – масса 1 метра трубы (с водой), кг/м; L – длина трубы, м; D – диаметр барабана, мм; i – передаточное отношение «вал привода – ось барабана»; M_2 – масса конструкции дождевателя, кг; 0,8 – коэффициент, учитывающий трение скольжения трубы и трение качения подвижной тележки дождевателя; 2000 – коэффициент, позволяющий учитывать диаметр барабана дождевательной машины в миллиметрах; $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

Значения параметра M_1 установлены эмпирически и приведены в таблице ниже (таблица 1):

Таблица 1 – масса ПНД трубы с водой в зависимости от диаметра
Table 1 – weight of HDPE pipes with water depending on the diameter

Ø трубы, мм / Pipe diameter, mm	50	63	75	90	110	125	140
Масса 1 м трубы, кг / Weight of 1 m pipe, kg	1,42	3,02	4,41	6,23	9,48	12,22	15,33

Длина трубы L зависит от модели машины. В контексте модельного ряда дождевательных машин Irrivol максимальная длина трубы диаметром 110 мм составляет 530 м, длина трубы диаметром 125 мм – 390 м, длина трубы диаметром 90 мм – 610 м.

Диаметр барабана D в данном случае представляет собой диаметр намотки трубы, который изменяется в процессе полива, поскольку на барабан дождевательной машины наматывается несколько слоев трубы. Большой диаметр намотки обуславливает большее усилие, однако, рост диаметра намотки происходит ступенчато, при переходе на следующий слой намотки трубы, когда длина трубы L уже сократилась на величину длины слоя трубы на барабане. Поэтому максимальное требуемое усилие будет при максимальной размотке барабана.

Передаточное отношение i «вал привода – ось барабана» представлено в дождевательной машине Irrivol шестеренной парой. Подобный подход имеет место у подавляющего большинства моделей барабанных дождевательных машин иностранного и российского производства. Ведущая шестерня находится на выходном валу коробки скоростей привода, а ведомая представляет собой зубчатый венец, жестко закрепленный на одной из стенок барабана намотки трубы. В силу технологических и компоновочных конструктивных особенностей, диапазон передаточных чисел невелик, и у разных производителей колеблется в пределах 1:18 – 1:22.

Масса конструкции дождевателя M_2 . При применении штатива с дальнеструйным дождевателем масса находится в пределах 80-300 кг. Разброс в массе обусловлен разницей конструкций для различных типоразмеров применяемой трубы на дождевательных машинах. Чем больше диаметр трубы, тем большим дождевальным аппаратом оснащается штатив. Реактивное усилие на дальнеструйных дождевателях растет с увеличением потока, поэтому конструкция тележки дождевателя должна обеспечивать стабильность работы своей геометрией и массой. При применении дождевательных консолей масса конструкции обусловлена шириной захвата, и колеблется у навесных консолей от 180 до 850 кг, а у прицепных достигает 1850 кг.

Учитывая физические величины параметров формулы, максимальное усилие смотки, необходимое для работы дождевательных машин Irrivol на выходном валу привода составляет 1960 Н*м.

Анализ конструкции привода дождевательных машин итальянского производителя Comer Industries и декларируемые им параметры свидетельствуют о достаточности возможности реализовать 2000 Н*м крутящего момента при редукции оборотов вала в коробке скоростей. Эта коробка скоростей содержит 4 передачи с передаточными числами 756, 348, 241 и 116. Таким образом, минимальные требования к величине тягового усилия на входном валу до редукции составляют от 3 до 18 Н*м.

Учитывая геометрические параметры импульсной турбины, которая используется в приводе в качестве генератора крутящего момента, достижение указанных усилий не составляет труда. Для расчета мощности, отдаваемой турбиной, актуально использовать формулу, которая учитывает относительную скорость потока [3]:

$$P_t = (1+k \cdot \cos(\beta_2)) \cdot \rho \cdot Q_p \cdot U \cdot V_{r1}, \quad (4)$$

где, P_t – мощность, развиваемая турбиной, Вт; k – К-фактор, представляющий собой отношение относительной скорости на выходе к относительной скорости на входе; β_2 – угол на выпускном ковше – это угол, который ковш составляет с относительной скоростью на выходе, рад; ρ – плотность вещества, кг/м³; Q_p – объемный расход турбины, м³/с; U – скорость ковша турбины, м/с; V_{r1} – относительная скорость на входе (является векторной величиной, выражающейся как скорость смещения), м/с.

Даже при небольшой скорости движения ковша турбины, которую можно выразить как частоту вращения крыльчатки турбины, мощность достаточна для работы дождевальной машины.

Лучшим вариантом для рассмотрения в качестве прототипов были выбраны коробка скоростей Comer Industries и гидротурбина, которую поставляют Bondioli & Pavesi.

Указанная коробка скоростей имеет 4 передачи, которые достаточны для обеспечения всех поливных норм, используемых на практике. Увеличение числа передач ведет к усложнению и удорожанию конструкции без достижения актуальных преимуществ в характеристиках дождевальной машины. Теоретически, большее число передач должно обеспечивать возможность более точной настройки, но на практике эксплуатанты дождевальных машин часто пренебрегают точностью настройки. Это приводит к обратному эффекту: неточность выбора передачи ведет к повышенным гидравлическим потерям в узле «гидротурбина-байпас» и снижению эксплуатационных характеристик.

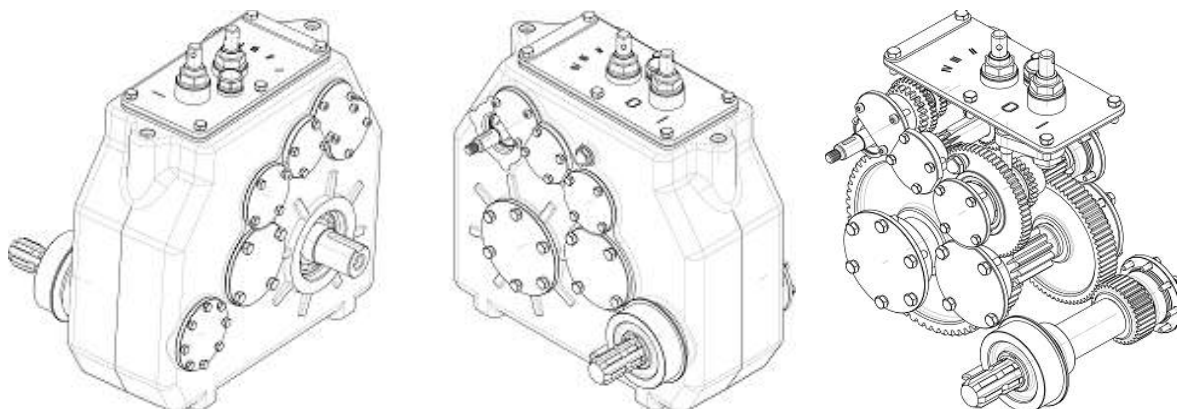


Рисунок 1 – коробка скоростей, общий вид и эскиз конструкции
Figure 1 – gearbox, general view and design sketch

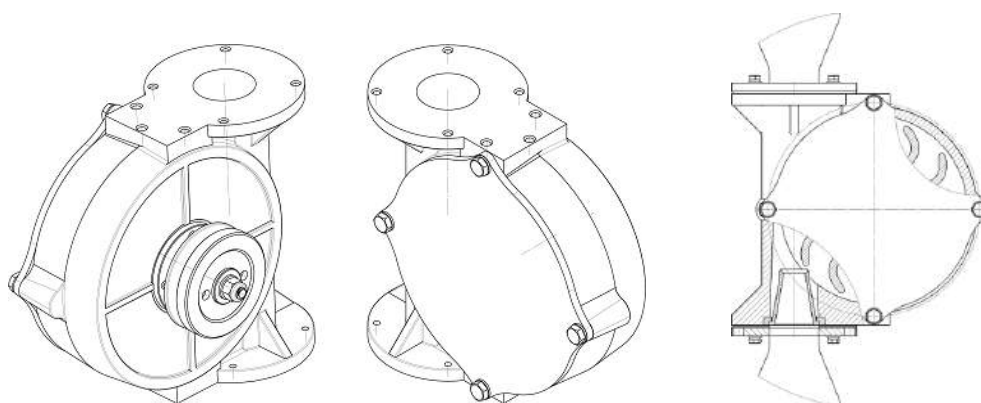


Рисунок 2 – гидротурбина, общий вид и разрез
Figure 2 – hydro turbine, general view and section

Выбор конструкции гидротурбины обусловлен несколькими причинами. Во-первых, применение сменных внутренних сопел позволяет использовать турбину для широкого диапазона потока воды, что позволяет комплектовать одной моделью широкую линейку моделей дождевальных машин с диаметрами трубы от 50 до 125 мм. Во-вторых, производимая турбина совпадает по точкам крепления и присоединения с зарубежными аналогами, что делает возможной установку на машины европейского производства. Эта возмож-

ность актуальна для замены после поломки или при выработке ресурса гидротурбины при сохранении общей работоспособности дождевальной машины. В-третьих, компоновка подразумевает как жесткое крепление к корпусу коробки передач, так и отдельное крепление с промежуточным звеном привода в виде ременной передачи. Оба решения применяются на производстве у разных производителей.

Заключение. Исходя из компоновочных решений на дождевальных машинах Irrivol, коробка скоростей и турбина крепятся к разным точкам на раме и оснащены ременным приводом. На производственной базе ООО «НПО Мелиоратор» были проведены все дальнейшие необходимые работы по НИОКР, оформлена соответствующая документация на коробку скоростей (Коробка скоростей для привода дождевальных машин: ТУ 28.15.24-005-03941482-2022 / Геращенко А. А. Волжский: ООО «НПО Мелиоратор», 2022. 21с.) и гидротурбину (Турбины водяные для привода дождевальных машин: ТУ 28.11.22-004-03941482-2022/ Геращенко А. А. Волжский: ООО «НПО Мелиоратор», 2022. 21с.). Созданы опытные образцы привода, которые прошли испытания в 2023 г. После доработок, была выпущена предсерийная партия приводов, которыми оснащались ДМ Irrivol с 2024 г. На конец сезона полива 2025 года наработка отдельных экземпляров составила более 600 часов.

Особо стоит отметить, что в конструкции привода дождевальных машин производства ООО «НПО Мелиоратор» заложены технические решения по автоматизации систем управления барабанными дождевальными машинами, так называемый ирригационный компьютер. Он позволяет не только гораздо точнее настраивать поливную норму и иметь большую равномерность полива, но и архивирует все данные о датах, участка и нормах полива, что делает возможным полный учет и анализ результатов агротехнологической деятельности на орошаемом участке. Эти решения в настоящее время имеют экспериментальное воплощение и готовятся к серийному производству.

Conclusion. Based on the layout solutions on the irrigation machines Irrivol, the gearbox and the turbine are attached to different points on the frame and are equipped with a belt drive. All further necessary R & D work was carried out at the production base of NPO Meliorator LLC, the corresponding documentation was issued for the gearbox (Gearbox for driving irrigation machines: TU 28.15.24-005-03941482-2022 / Gerashchenko A. A. Volzhsky: NPO Meliorator LLC, 2022. 21p.) and the hydraulic turbine (Water turbines for driving irrigation machines: TU 28.11.22-004-03941482-2022 / Gerashchenko A. A. Volzhsky: NPO Meliorator LLC, 2022. 21p.). Prototype drives were created and tested in 2023. After further modifications, a pre-production batch of drives was produced, which have been used on hose-reel machines Irrivol since 2024. By the end of the 2025 irrigation season, individual drives had accumulated over 600 operating hours.

It is especially worth noting that the design of the sprinkler drives manufactured by NPO Meliorator LLC incorporates technical solutions for automating the control systems of hose-reel machines the so-called irrigation computer. This not only allows for much more precise adjustment of the irrigation rate and greater uniformity of irrigation, but also archives all data on dates, areas, and irrigation rates, enabling complete tracking and analysis of the results of agricultural activities on the irrigated plot. These solutions are currently being piloted and are being prepared for serial production.

Библиографический список

1. Петровичев И. В. Дождевальная машина барабанного типа с спиралевидным трубопроводом. Аграрные конференции. 2018. № 7. С. 1-4.
2. Акименко А. В., Черемисинов А. Ю. Анализ дождевальных машин для высокостебельных культур. Модели и технологии природообустройства. 2017. № 04. С. 27-32.
3. Мощность турбины Пелтона калькулятор. <https://www.calculatoratoz.com/ru/power-of-the-pelton-turbine-calculator/Calc-3445>
4. Анализ рынка и производственных предприятий ирригационной техники. Информационно-аналитический доклад. ФГБНУ ВНИИ «Радуга», 2020. С. 7-9.
5. Рыжко Н. Ф. и др. Энергосбережение при поливе многоопорными дождевальными машинами. Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 6. С. 25-30.
6. Силачи А. Ю., Сигалова М. А. Сравнительная характеристика дождевальных машин. Наука и образование: проблемы, идеи, инновации. 2018. № 2 (5). С. 31-32.
7. Бакиров С. М. Анализ энергозатрат на дождевальную машину. Аграрный научный журнал. 2019. № 10. С. 95-98.
8. Абдулмажидов Х. А., Абдулмажидов Р. А., Поддубный В. И. Оценка эффективности работы дождевальных машин. Тенденции развития науки и образования. 2018. № 44-5. С. 34-36.
9. Абезин В. Г. и др. Совершенствование конструкции дождевальной машины. Мичуринский агрономический вестник. 2019. № 1. С. 60-68.
10. Овчинников А. С. и др. Технические решения для эффективной работы дождевальных машин. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 4 (76). С. 302-310.
11. Турапин С. С., Костоварова И. А. Аналитический обзор, ретроспектива, география поставок и актуальная оценка потребности на Российском рынке шланго-барабанных дождевальных машин. Экология и строительство. 2021. № 1. С. 30-38.

12. Турапин С. С., Костоварова И. А. Анализ рынка шланго-барабанных дождевальных машин. Техника и оборудование для села. 2021. № 7 (289). С. 2-7.

13. Костоварова И. А., Шленов С. Л. Качественные показатели полива шланго-барабанных дождевальных машин. Вестник мелиоративной науки. 2025. № 1. С. 25-33.

References

1. Petrovichev I. V. Hose-reel irrigation machine with a spiral pipeline. Agrarian conferences. 2018. No. 7. Pp. 1-4.
2. Akimenko A. V., Cheremisinov A. Yu. Analysis of irrigation machines for high-stemmed crops. Models and technologies of nature management. 2017. No. 04. Pp. 27-32.

3. Pelton turbine power calculator. <https://www.calculatoratoz.com/ru/power-of-the-pelton-turbine-calculator/Calc-3445>

4. Analysis of the market and manufacturing enterprises of irrigation equipment. Information and analytical report. Raduga, 2020. Pp. 7-9.

5. Ryzhko N. F. et al. Energy saving during irrigation with multi-support sprinkler machines. Land Reclamation and Water Management. 2021. No. 6. Pp. 25-30.

6. Silachi A. Yu., Signalova M. A. Comparative characteristics of sprinkler machines. Science and education: problems, ideas, innovations. 2018. No. 2 (5). Pp. 31-32.

7. Bakirov S. M. Analysis of energy costs for a sprinkler machine. Agrarian scientific journal. 2019. No. 10. Pp. 95-98.

8. Abdulmashidov Kh. A., Abdulmashidov R. A., Poddubny V. I. Evaluation of the efficiency of irrigation machines. Trends in the Development of Science and Education. 2018. No. 44-5. Pp. 34-36.

9. Abezina V. G. et al. Improving the design of an irrigation machine. Michurinsky Agronomic Bulletin. 2019. No. 1. Pp. 60-68.

10. Ovchinnikov A. S. et al. Technical solutions for the efficient operation of irrigation machines. News of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2024. No. 4 (76). Pp. 302-310.

11. Turapin S. S., Kostovarov I. A. Analytical review, retrospective, geography of supplies and current assessment of demand in the Russian market of hose-reel irrigation machines. Ecology and Construction. 2021. No. 1. Pp. 30-38.

12. Turapin S. S., Kostovarov I. A. Analysis of the market of hose-reel irrigation machines. Machinery and equipment for the village. 2021. No. 7 (289). Pp. 2-7.

13. Kostovarov I. A., Shlenov S. L. Qualitative indicators of irrigation of hose-drum irrigation machines. Bulletin of melioration science. 2025. No. 1. Pp. 25-33.

Информация об авторах

Барабанов Владимир Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук, директор по развитию, ООО «Научно-производственное объединение «Мелиоратор» (Российская Федерация, 404121, Волгоградская область, г. Волжский, ул. Пушкина, 117Г), e-mail: BarabanovV@mail.ru

Соловьев Александр Витальевич, кандидат технических наук, проректор по инновационно-производственной деятельности, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: 34asolo@gmail.com

Герашенко Андрей Андреевич, аспирант, главный конструктор, ООО «Научно-производственное объединение «Мелиоратор» (Российская Федерация, 404121, Волгоградская область, г. Волжский, ул. Пушкина, 117Г), e-mail: info@npomeliator.com

Authors' Information

Barabanov Vladimir Vladimirovich, Candidate of Agricultural Sciences, Development Director, Meliorator Research and Production Association (Russian Federation, 404121, Volgograd region, Volzhsky, Pushkin St., 117G), e-mail: BarabanovV@mail.ru

Soloviev Aleksandr Vitalievich, Candidate of Engineering Sciences, Vice-Rector, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: 34asolo@gmail.com

Gerashchenko Andrey Andreevich, Postgraduate Student, Chief Designer, Scientific and Production Association "Meliorator" (Russian Federation, 404121, Volgograd region, Volzhsky, Pushkin St., 117G), e-mail: info@npomeliator.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-61

THE CULTIVATOR DESIGN DEVELOPMENT AND ITS STRESS STATE ANALYSIS IN THE INVENTOR PRO SYSTEM

¹Bugaev A. V., ¹Didmanidze O. N., ¹Abdulmajidov H. A., ²Parlyuk E. P., ³Byshov D.N.

¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
Moscow, Russian Federation

²Bauman Moscow State Technical University
Moscow, Russian Federation

³Ryazan Agrotechnological University named after P. A. Kostychev
Ryazan, Russian Federation

Corresponding author E-mail: a.bugaev@rgau-msha.ru; Didmanidze@rgau-msha.ru; Abdulmajidov@rgau-msha.ru; Parlyuk@bmstu.ru

Received 29.12.2025

Submitted 22.01.2026

Summary

The article proposes the development of working equipment of a cultivator with paw working elements, the configuration of which is justified from the point of view of high-quality performance of the working operation and reduction of traction resistance during operation. The structures of the frame of the working equipment, bodies for fastening the paws, as well as their strength calculations are made by the finite element method in the Inventor Pro system.

Abstract

The working elements of agricultural machinery, particularly tine cultivators, interact with soils. In some cases, the presence of subsoil may also occur. Long-term use of the working elements, especially those parts in contact with an abrasive environment, leads to wear. The boundary layers between soil and subsoil present a more abrasive environment for soil-cultivating working elements. The interaction of the working elements with the environment, taking into account traction resistance, is accompanied by the occurrence of compressive, bending, and torsional stresses, which lead to wear of the surface parts of the working element. **Object.** The object of this study is a cultivator design developed in the Inventor Pro system. **Materials and methods.** This work examines the design of a cultivator whose frame is formed from square steel tubes. The housing structures are also designed using steel sheets. The configuration of the cultivator lamellas is designed to reduce traction resistance. One way to reduce wear on parts interacting with soil is to use hard-facing alloys, as well as to design the working element to minimize traction resistance. Furthermore, it is possible to utilize inevitable wear to self-sharpen the working elements by positioning them at an appropriate angle to the horizon. **Results and conclusions.** Research into the developed cultivator design suggests that the proposed frame configuration with seven tine mounts is capable of providing high-quality soil loosening and weed removal. Furthermore, traction resistance is reduced. Finite element strength calculations for the cultivator yield a safety factor of 2.64.

Keywords: tillage tools, cultivators, cultivator designs, cultivator working bodies.

Citation. Bugaev A. V., Didmanidze O. N., Abdulmajidov H. A., Parlyuk E. P., Byshov D. N. The cultivator design development and its stress state analysis in the Inventor Pro system. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 588-596 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-61.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.316.02

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ КУЛЬТИВАТОРА И АНАЛИЗ ЕГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В СИСТЕМЕ INVENTOR PRO

¹Бугаев А. В., кандидат технических наук

¹Дидманидзе О. Н., доктор технических наук, профессор, академик РАН

¹Абдулмажидов Х. А., доктор технических наук, доцент

²Парлюк Е. П., доктор технических наук, профессор

³Бышов Д. Н., доктор технических наук, доцент

¹ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева
г. Москва, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана
г. Москва, Российская Федерация

³ФГБОУ ВО «Рязанский агротехнологический университет имени П. А. Костычева»
г. Рязань, Российская Федерация

Актуальность. Средой взаимодействия рассматриваемых рабочих органов сельскохозяйственных машин, в частности лаповых культиваторов, являются почвы. В некоторых случаях возможно наличие почвогрунтов. Длительная эксплуатация рабочих органов, особенно тех их частей, находящихся в контакте с абразивной средой, приводит к износу. Более абразивной средой для почвообрабатывающих рабочих органов являются граничные слои между почвой и грунтами. Процесс взаимодействия рабочих органов со средой с учетом тяговых сопротивлений сопровождается возникновением напряжений сжатия, изгиба и кручения, которые ведут к износу поверхностных частей рабочего органа. **Объект.** Объектом исследований является разработанная в системе Inventor Pro конструкция культиватора. **Материалы и методы.** В работе исследована конструкция культиватора, рама которой сформирована из квадратных стальных труб. Конструкции корпусов также спроектированы с использованием стальных листов. Конфигурация лап культиватора сформирована с целью уменьшения тяговых сопротивлений. Одним из способов уменьшения износа деталей, взаимодействующих с почвогрунтами, является применение наплавочных твердых сплавов, а также формирование такой конфигурации рабочего органа, при которой тяговые сопротивления будут наименьшими. Кроме того, существуют возможности использования неизбежного износа в целях самозатачивания рабочих органов их расположением под соответствующим углом к горизонту. **Результаты и выводы.** Исследования разработанной конструкции культиватора позволяют утверждать, что предложенная конфигурация рамы с 7 стойками для крепления лап способна обеспечивать качественную работу по рыхлению почвы и удалению сорняков. Кроме того, обеспечивается уменьшение тяговых сопротивлений. Проведенный прочностной расчет культиватора методом конечных элементов показывает коэффициент запаса прочности равный 2,64 единицам.

Ключевые слова: почвообрабатывающие орудия, культиваторы, конструкции культиваторов, рабочие органы культиваторов.

Цитирование. Бугаев А. В., Дидманидзе О. Н., Абдулмажидов Х. А., Парлюк Е. П., Бышов Д. Н. Разработка конструкции культиватора и анализ его напряженного состояния в системе Inventor Pro. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 588-596. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-61.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Взаимодействие рабочих органов почвообрабатывающих машин сопряжено с неизбежным износом тех их частей, которые находятся на острие конструкции. Часто это наблюдается на лемехах плужных рабочих органов. Поэтому лемех изготавливается из более прочных сплавов или на них наносится слой твердых наплавочных сплавов. Основной средой взаимодействия плужных рабочих органов являются почвы. Аналогичное взаимодействие наблюдается и у лаповых культиваторов как с почвами, так и с почвогрунтами. Под почвогрунтами понимаются те слои среды взаимодействия рабочего органа, которые находятся на стыке верхних почвенных слоев с нижерасположенными грунтами. Почвенный слой обычно находится в пределах до 30-40 см. Однако часто слои почвы могут быть незначительными, в пределах до 20 см. В таких случаях рабочий орган частично взаимодействует с грунтами. Грунты, рассматриваемые в сельском хозяйстве и в мелиорации, по трудности разработки по классификации Зеленина А. Н. делятся на VIII категорий. Первые четыре категории считаются талыми, последующие четыре – мерзлыми. Очевидно, что почвы, то есть верхние слои, будут относиться к I или II категории. Несмотря на легкие категории почвогрунтов, износ элементов рабочих органов в процессе длительной эксплуатации в их среде очевиден [1-4].

Цель исследований заключается в оценке тяговых сопротивлений, возникающих при работе лапового культиватора, влияния их на прочность конструкции и в предложении способов их снижения.

Задачи исследований:

- разработка конструкции рабочего оборудования лапового культиватора и его прочностной расчет в системе Inventor Pro;
- рассмотрение методов оценки тяговых сопротивлений при работе почвообрабатывающих машин;
- выбор методики определения тяговых сопротивлений для исследования лапы культиватора;
- определение способов снижения тяговых сопротивлений при рыхлении почв с разрушением корневой системы сорняков.

Материалы и методы. Объектом исследований в работе являлись конструкции рабочих органов почвообрабатывающих машин, в частности, рабочее оборудование лапового культиватора, разработанное в системе Inventor Pro. Также рассматривались процессы разрушения и износа поверхностей рабочих органов, взаимодействующих с почвой и почвогрунтами. Основными методами исследований, использованными в работе, стали изучение, разработка, сравнение и анализ.

Разработанная в рамках настоящих исследований в системе Inventor Pro конструкция рабочего оборудования лапового культиватора представляет собой агрегат, предназначенный для сплошной обработки почвы в период предпосевной подготовки ее верхнего слоя со срезкой и удалением сорняков. Предлагаемая конструкция (рисунок 1), снабженная регулируемыми по высоте лапами, может также использоваться для междурядной обработки. В конструкции рабочего оборудования учтена возможность обеспечения универсальности культиватора, обусловленная необходимостью регулировки ширины культивации под потребности множества культур.

Основная рама выполнена из трубы квадратного сечения размерами 80×80×10 мм. Для уменьшения массы рабочего оборудования спроектированы также модели с толщиной стенок квадратных труб 8 и 6 мм. Соединение основных элементов рамы обеспечивается сваркой. Корпусы лап выполнены в зависимости от модели толщиной 20, 30 и 40 мм. Каждый корпус соединен с основной рамой посредством кронштейнов с крепежными болтами.

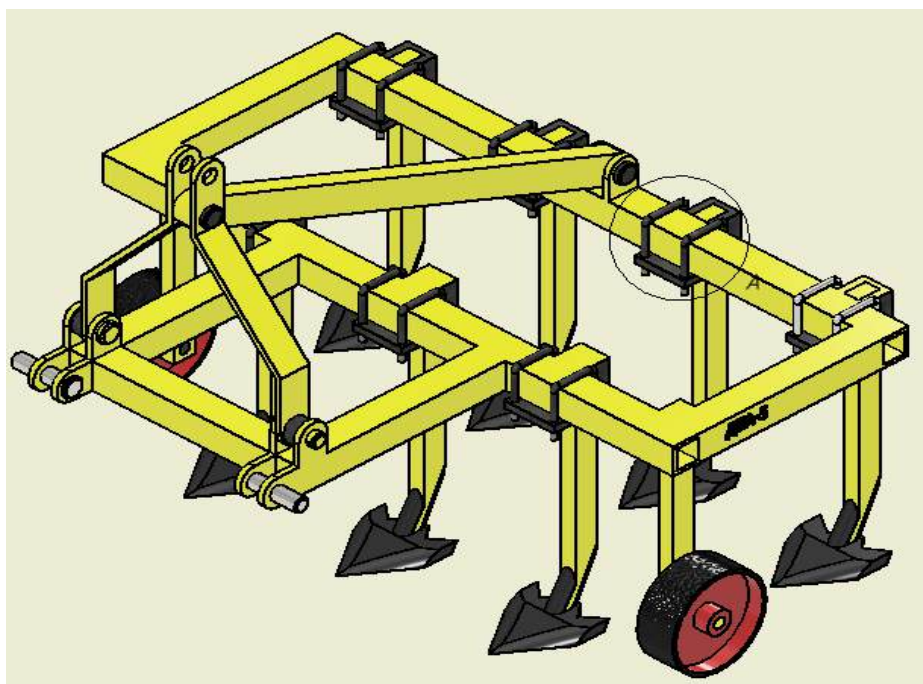


Рисунок 1 – Общий вид рабочего оборудования культиватора ДБА-5, разработанного в системе Inventor Pro

Figure 1 – General view of the DBA-5 cultivator's working equipment, developed using the Inventor Pro system

На рисунке 2 представлен чертеж рабочего оборудования культиватора.

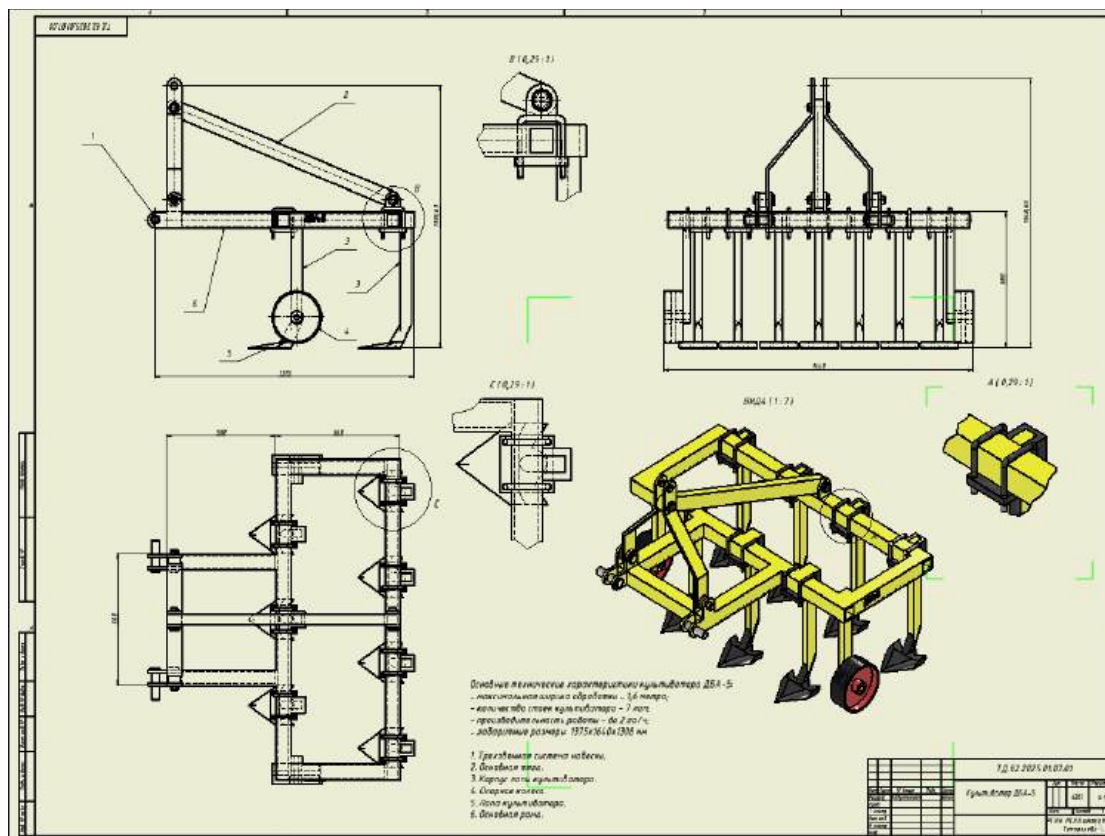


Рисунок 2 – Чертеж общего вида рабочего оборудования культиватора ДБА-5
Figure 2 – General view drawing of the working equipment of the DBA-5 cultivator

Культиватор с рабочей индексацией ДБА-5 имеет стандартное трехточечное крепление и может быть установлен в качестве сменного рабочего оборудования на трактор с мощностью двигателя в пределах от 25 до 35 кВт. Основными техническими характеристиками культиватора ДБА-5 являются: максимальная ширина обработки – 1,6 м; количество корпусов культиватора – 7 шт.; производительность работы – до 2 га/ч; габаритные размеры культиватора – 1375×1640×1308 мм; конструкционная масса культиватора – 350 кг.

Результаты и обсуждение. В процессе взаимодействия плужных рабочих органов с почвой в конструкции возникают нормальные и касательные напряжения. Их значения зависят от величин возникающих тяговых сопротивлений со стороны обрабатываемой среды, то есть почв и почвогрунтов. Для обеспечения надежности конструкции рабочего органа, а именно наиболее нагруженных частей (таковым является лемех) необходимо, чтобы величины возникающих напряжений были меньше допускаемых. В случае если они оказываются выше допускаемых, их применение в составе рабочего оборудования исключается. Однако, возможны случаи, когда запас прочности заведомо задается высоким в пределах до 5; 7 или 9 единиц, когда речь идет об ответственных конструкциях, выход из строя которых может повлиять на здоровье обслуживающего персонала и в целом на работоспособность машины, выполняющей технологическую операцию. В проведении исследования по действующим в детали напряжениям возможны случаи, когда коэффициент запаса прочности находится в допускаемых пределах, но имеет величины близкие к минимальным показателям. При таких значениях целесообразно проводить уточненные прочностные расчеты [5-8].

Для оценки тяговых сопротивлений возникающих при работе почвообрабатывающих машин существуют разные способы, которые учитывают множество факторов, влияющих на данную характеристику. Очевидно, каждый метод расчета тяговых сопротивлений выдает разные результаты хотя и близкие по численному порядку значений. Это говорит о том, что сама обрабатываемая среда – почва неоднородна, кроме того, ее состояние по твердости, влажности и структуре также может быть различным. Более того конфигурация рабочего органа также может влиять на тяговые сопротивления. При конструировании рабочих органов, в нашем случае лапы культиватора, необходимо получить такую конфигурацию, при которой тяговые сопротивления будут минимальными. С учетом того, что в рабочем оборудовании культиватора количество лап может достигать нескольких десятков, то можно утверждать о возникновении больших тяговых сопротивлений при их эксплуатации. Соответственно оптимальная конфигурация каждой конструкции лап позволит обеспечить снижение расхода топлива, уменьшение износа деталей и повышение долговечности.

При исследованиях работы лапы культиватора на первом месте стоит качественное выполнение технологической операции по рыхлению почв с удалением растительности, включая ее корневую систему, что в итоге должно привести к повышению урожайности. Однако, немаловажной характеристикой в работе культиватора являются тяговые сопротивления. Данную характеристику располагаем на втором месте, поскольку повышение урожайности сельскохозяйственных культур является приоритетным. Таким образом, основной целью исследований становится определение возможностей проведения технологической операции лаповыми рыхлителями при минимальных тяговых сопротивлениях.

В определении тяговых сопротивлений при работе культиваторов некоторые параллели можно провести с работой рабочих органов землеройных машин [9-11]. К примеру, тяговые сопротивления отделению грунта от массива (H) при работе землеройного рабочего органа определяются по формуле:

$$F = k B h \cos \alpha, \quad (1)$$

где B – ширина рабочего органа, м; h – глубина резания, м; α – угол установки рабочего органа в плане; k – удельное сопротивление резанию на единицу лобовой площади рабочего органа, Н/м² (при угле резания $\delta = 55^\circ$ для грунта I категории $k=70 \times 10^3$ Н/м², III категории $k=170 \times 10^3$ Н/м²).

Кроме того, при работе лапы культиватора возникают сопротивления перемещению накапливающейся почвы и растительности перед рабочей поверхностью. Также возникают сопротивления трению почвы вдоль поверхности лапы. Если в целом рассматривать рыхлительную машину, то следует учитывать и сопротивление движению базовой машины, которое зависит от ее массы, коэффициента сопротивления движению машины и величины уклона поверхности движения. Формула (1) при расчете сопротивлений резанию в целом учитывает площадь поперечного сечения разрабатываемого слоя, удельное сопро-

тивление резанию, зависящее от категории грунта, и угол установки рабочего органа в плане. Однако этого недостаточно для всесторонней оценки тяговых сопротивлений. Это прежде всего конфигурация рабочего органа, которая может иметь в худшем случае поперечный вертикальный профиль, а в оптимальном варианте – режущую кромку с кривой сферического отображения. Это означает, что при одной и той же площади поперечного сечения разрабатываемых почвогрунтов форма рабочего органа будет разной, и тяговые сопротивления также будут отличаться. Угол резания культиваторных лап обычно находится в пределах от 20 до 30°, но существуют конструкции, у которых данный угол может достигать значений 47 и 60°. В этом случае для сравнительной оценки можно использовать формулу 1. Рабочая площадь условно взятого плоского рабочего органа – лапы культиватора составляет 0,0154 м². При этом для первой категории почвогрунтов и при угле установки рабочего органа в плане, равном 0°, тяговые сопротивления будут равны 1078 Н или 1,078 кН, тогда как средние значения тяговых сопротивлений в стандартных условиях для лап культиватора составляют от 5 до 15 кгс или от 49 до 147,1 Н. Как видно из полученных значений, условно принятый плоский вертикальный рабочий орган имеет значительные тяговые сопротивления по сравнению с конструкцией лапы культиватора с криволинейной режущей кромкой.

Удельные сопротивления культиваторов при работе с рыхлительными лапами, по данным [8], в зависимости от вида обработки и типа рабочих органов при глубине обработки от 8 до 12 см для предпосевной обработки почвы рыхлителями на упругой стойке составляют от 180 до 230 кгс/м. При глубоком рыхлении почвы лапами на жесткой основе при глубине обработки от 14 до 20 см удельные сопротивления находятся в пределах от 300 до 480 кгс/м.

Анализ напряженного состояния всей конструкции культиватора, проведенный методом конечных элементов в системе Inventor Pro (рисунок 3) показывает, что при задании суммарных нагрузок величиной 2500 Н на каждую из лап коэффициент запаса прочности n равен 0,72; при задании данной суммарной нагрузки на все лапы исследуемая характеристика имеет значения 4,83. Очевидно, полученные значения не входят в требуемый диапазон по запасу прочности для стальных конструкций.

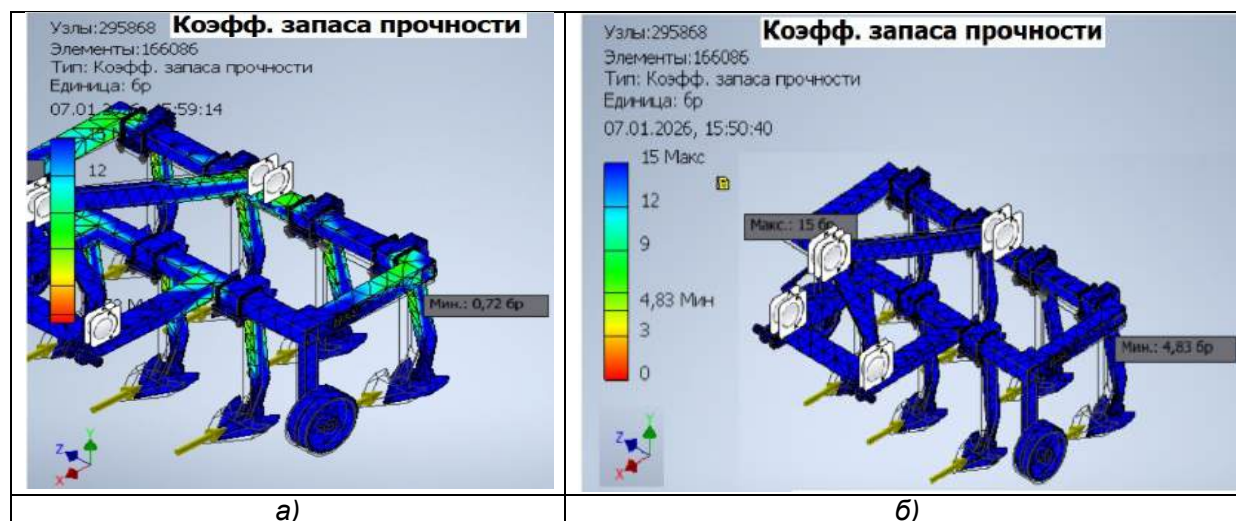


Рисунок 3 – Прочностной расчет конструкции культиватора методом конечных элементов
Figure 3 – Strength calculation of the cultivator structure using the finite element method

Анализ нагружения каждой из лап культиватора в процессе их работы показывает, что наиболее нагруженными являются передние три – вследствие их взаимодействия с твердым массивом почвогрунтов в режиме блокированного резания слоя (концепция Баловнева В. И.). Во втором ряду наиболее нагруженными являются две крайние лапы – это следует из условий полублокированного резания. Наименее нагруженными являются две внутренние лапы второго ряда, это следует из того, что они работают в условиях свободного резания. Результаты расчета культиваторного оборудования на прочность методом конечных элементов с учетом перечисленных условий представлен на рисунке 4. В рамках

этого метода расчета на прочность предварительно спроектирована объемная конструкция, затем задан ее материал (сталь), далее определены граничные опорные условия в местах ее соединения с базовым трактором посредством трехзвенной системой навески и опорных колес, и заданы расчетные нагрузки на режущих кромках каждой лапы.

В первом случае (рисунок 3, а) конструкция не выдерживает нагрузок и ее применение в таких условиях исключается. Наличие большого значения коэффициента запаса прочности во втором случае (рисунок 3, б) свидетельствует о значительном расходе металла в процессе изготовления.

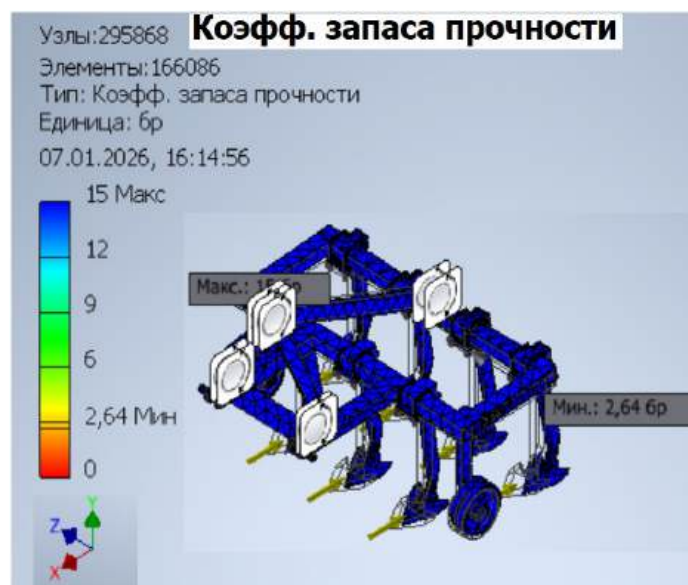


Рисунок 4 – Прочностной расчет конструкции культиватора методом конечных элементов с учетом условий нагружений каждой лапы

Figure 4 – Strength calculation of the cultivator structure using the finite element method, taking into account the loading conditions of each paw

В третьем случае (рисунок 4) на каждую из лап первого ряда заданы расчетные нагрузки величиной 1078 Н, на крайние лапы второго ряда заданы нагрузки 800 Н и на внутренние лапы второго ряда заданы нагрузки величиной 600 Н. Такое дифференцированное задание величин нагрузок основано на учете условий блокирования рабочего органа при резании почвы. Коэффициент запаса прочности при действии таких нагрузок в исследуемой конструкции равен 2,64 единицам.

Тяговые сопротивления при работе культиваторных лап с увеличением глубины рыхления ускоренно возрастают, это объясняется тем, что по мере увеличения глубины почвогрунтов возрастает их плотность, соответственно категория грунта по трудности разработки.

Расположение лап культиватора на раме рабочего оборудования может быть обеспечено в 2 или 3 ряда. Очевидно, что большие сопротивления возникают на первом ряду, и в этом ряду сравнительно часто возникают поломки или выход из строя лап. Кроме того, большое количество лап на одной раме в целом увеличивает общие тяговые сопротивления, которые в итоге необходимо сравнить с тягово-сцепными характеристиками транспортно-энергетической установки. Результаты этих сравнений должны удовлетворять условию, при котором касательная сила тяги по сцеплению движителя с грунтом (кН) должна быть больше касательной силы тяги по двигателю. По этим показателям наиболее подходящими базовыми машинами для разработанной конструкции культиватора являются пневмоколесные тракторы тяговых классов от 0,6 до 1,6 кН.

Заключение. - разработана конструкция рабочего оборудования культиватора ДБА-5 с 7 корпусами;

- определены оптимальные методы оценки тяговых сопротивлений при работе почвообрабатывающих машин;

- выбрана методика определения тяговых сопротивлений для исследования лапы культиватора заключающаяся в учете площади поперечного сечения и конфигурации рабочего органа;

- проведены прочностные расчеты разработанной конструкции культиватора при оптимальном нагружении каждой из лап. Запас прочности при расчетных нагрузках равен 2,64 единицы, что вполне допустимо при данных конкретных условиях эксплуатации.

- определены способы снижения тяговых сопротивлений при рыхлении почв с разрушением корневой системы сорняков, заключающиеся в оптимизации формы рабочего органа обеспечивающей минимальные тяговые сопротивления.

Conclusions. - the design of the working equipment of the DBA-5 cultivator with 7 bodies was developed;

- optimal methods for assessing traction resistances during the operation of tillage machines have been determined;

- a method for determining traction resistances for the study of the cultivator share was chosen, which consists in taking into account the cross-sectional area and configuration of the working body;

- strength calculations of the developed cultivator design were carried out with optimal loading of each of the shares. The margin of safety at design loads is 2.64 units, which is quite acceptable under these specific operating conditions.

- methods for reducing traction resistances during loosening of soils with destruction of the root system of weeds have been determined, consisting in optimizing the shape of the working body that provides minimal traction resistance.

Библиографический список

1. Лопарев Д. В. и др. Результаты испытаний распределительных устройств лапового сошника стерневой сеялки. Вестник Курганской ГСХА. 2021. № 4 (40). С. 67-72.
2. Дидманидзе О. Н., Пляка В. И. Лабораторно-полевые испытания экспериментальной сеялки для сплошного посева газонных трав: определение показателей качества. Агроинженерия. 2024. Т. 26. № 6. С. 44-48.
3. Дидманидзе О. Н., Бугаев А. В., Абдулмажидов Х. А. Применение метода конечных элементов при исследовании прочности лапы культиватора. Международный технический журнал. 2025. № 1 (95). С. 37-47.
4. Драгуленко В. В. и др. Построение развёртки Г-образного ножа ротационного культиватора. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 2 (94). С. 79-82.
5. Васильев А. А. и др. Совершенствование рабочих органов культиватора для локального внесения минеральных удобрений. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2022. № 1 (45). С. 20-29.
6. Бибутов Н. С. и др. Обоснование конструктивно-технологических параметров стойки рабочего органа глубоких рыхлителей почвообрабатывающих машин. Вестник машиностроения. 2024. Т. 103. № 9. С. 718-726.
7. Севостьянов А. Л., Максимов В. Г., Ветров А. А. Культиватор strip-till: варианты, функциональные характеристики и эффективность. Аграрный научный журнал. 2025. № 9. С. 160-168.
8. Шмыков С. Н., Ипатов А. Г., Новикова Л. Я. Эффективность различных способов восстановления и упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин на примере стрельчатой лапы культиватора. Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 1 (69). С. 64-71.
9. Алдошин Н. В. и др. Культиватор для междурядной обработки хлопчатника. Техника и оборудование для села. 2022. № 8 (302). С. 8-11.
10. Didmanidze O. N., Parlyuk E. P., Pulyaev N. N. Use of monomolecular protective film in friction units of agricultural machinery. AIP Conference Proceedings. Krasnoyarsk, 2022. P. 020044.
11. Martynova N. et al. Machine for carrying works on deep loosening of soil with the simultaneous application of liquid organic fertilizers. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Tashkent: Virtual, 2020. P. 012145.
12. Галяутдинов Р. Р. Влияние конструктивных параметров комбинированного рабочего органа культиватора на качество обработки почвы. Агропромышленные технологии Центральной России. 2025. № 3 (37). С. 143-153.

References

1. Loparev D. V. et al. Test results of the switchgear of the foot coulter of a stubble planter. Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy. 2021. No. 4 (40). Pp. 67-72.
2. Didmanidze O. N., Plyaka V. I. Laboratory and field tests of an experimental seeder for continuous sowing of lawn grasses: determination of quality indicators. Agro-engineering. 2024. Vol. 26. No 6. Pp. 44-48.
3. Didmanidze O. N., Bugaev A. V., Abdulmashidov Kh. A. Application of the finite element method in the study of the strength of the cultivator's paw. International Technical Journal. 2025. No 1 (95). Pp. 37-47.
4. Dragulenko V. V. et al. Construction of a sweep of the L-shaped rotary cultivator knife. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2022. No 2 (94). Pp. 79-82.
5. Vasiliev A. A. et al. Improvement of the cultivator's working organs for local application of mineral fertilizers. Bulletin of Omsk State Agrarian University. 2022. No. 1 (45). Pp. 20-29.
6. Bibutov N. S. et al. Substantiation of the structural and technological parameters of the rack of the working body of the deep loader of tillage machines. Bulletin of Mechanical Engineering. 2024. Vol. 103. No 9. Pp. 718-726.
7. Sevostyanov A. L., Maksimov V. G., Vetrov A. A. Strip-till cultivator: variants, functional characteristics and effectiveness. Agrarian Scientific Journal. 2025. No 9. Pp. 160-168.
8. Shmykov S. N., Ipatov A. G., Novikova L. Ya. The effectiveness of various methods of restoring and strengthening the working organs of tillage machines using the example of a pointed cultivator's paw. Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy. 2022. No 1 (69). Pp. 64-71.
9. Aldoshin N. V. et al. Cultivator for row-by-row processing of cotton. Machinery and equipment for the village. 2022. No 8 (302). Pp. 8-11.

10. Didmanidze O. N., Parlyuk E. P., Pulyaev N. N. Use of monomolecular protective film in friction units of agricultural machinery. IOP Conference Proceedings. Krasnoyarsk, 2022. P. 020044.

11. Martynova N. et al. Machine for carrying works on deep loosening of soil with the simultaneous application of liquid organic fertilizers. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Tashkent: Virtual, 2020. P. 012145.

12. Galyautdinov R. R. The influence of the design parameters of the combined working body of the cultivator on the quality of tillage. Agro-industrial technologies of Central Russia. 2025. No 3 (37). Pp. 143-153.

Информация об авторах

Бугаев Александр Вячеславович, кандидат технических наук, доцент кафедры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева (Российская Федерация, 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49), SPIN-код: 6841-7561; AuthorID: 280901; e-mail: a.bugaev@rgau-msha.ru

Дидманидзе Отари Назирович, доктор технических наук, профессор, академик РАН, заведующий кафедрой, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева (Российская Федерация, 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49), SPIN-код: 4645-3145; AuthorID: 311972; Scopus: 57203415572, e-mail: Didmanidze@rgau-msha.ru

Абдулмажидов Хамзат Арсланбекович, доктор технических наук, доцент кафедры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева (Российская Федерация, 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49), SPIN-код: 7201-8282; AuthorID: 756348; Scopus: 57224176106, ORSID <https://orcid.org/0000-0002-7699-4799>, Researcher ID Web of Science ResearcherID, AAE-5817-2022, e-mail: abdulmajidov@rgau-msha.ru

Екатерина Петровна Парлюк, доктор технических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана» (Российская Федерация, г. Москва, 2-я Бауманская улица, 5, стр. 4), SPIN-код: 3819-1821; ORSID <https://orcid.org/0000-0003-0691-3487>, e-mail: Parlyuk@bmstu.ru

Бышов Дмитрий Николаевич, доктор технических наук, доцент кафедры, Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: university@rgatu.ru

Authors' Information

Bugaev Aleksandr Vyacheslavovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Russian Federation, 127434, Moscow, Timiryazevskaya str., 49), SPIN-code: 6841-7561; AuthorID: 280901, e-mail: a.bugaev@rgau-msha.ru

Didmanidze Otari Nazirovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Russian Federation, 127434, Moscow, Timiryazevskaya str., 49), SPIN-code: 4645-3145; AuthorID: 311972; Scopus: 57203415572, e-mail: Didmanidze@rgau-msha.ru

Abdulmajidov Khamzat Arslanbekovich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Russian Federation, 127434, Moscow, Timiryazevskaya str., 49), SPIN-code: 7201-8282; AuthorID: 756348; Scopus: 57224176106, ORSID <https://orcid.org/0000-0002-7699-4799>, Researcher ID Web of Science ResearcherID, AAE-5817-2022, e-mail: abdulmajidov@rgau-msha.ru

Parlyuk Ekaterina Petrovna, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Wheeled Vehicles, "Bauman Moscow State Technical University (Russian Federation, Moscow, 2nd Baumanskaya street, 5/4), SPIN-code: 3819-1821; ORSID <https://orcid.org/0000-0003-0691-3487>, e-mail: Parlyuk@bmstu.ru

Byshov Dmitry Nikolaevich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Ryazan Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva St., 1), e-mail: university@rgatu.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-62

THE DEVELOPMENT OF THE ADAPTIVE OPERATING MODES FOR THE SEQUENTIAL HYBRID TRACTOR WITH THE MOTOR-WHEELS

¹Bukreev A. V., ¹Solovyov R. Yu., ¹Solovyov R. R., ²Danenkov I. D.

¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM
Moscow, Russian Federation

²State Scientific Center of the Russian Federation NAMI
Moscow, Russian Federation

Corresponding author E-mail: vim@aleksey-bukreev.ru

Received 16.09.2025

Submitted 12.01.2026

Summary

The research focuses on the development and implementation of an adaptive control system for a sequential hybrid tractor with hub motors. This system aims to optimize operational modes, enhance efficiency, safety, and environmental sustainability, and reduce resource consumption. The approach employs a three-level hierarchical architecture, integrating sensors, electronic control units, and model-predictive control methods to enable real-time adaptation to changing conditions. Results demonstrate significant improvements in operational quality, productivity, and safety, contributing to the advancement of sustainable and efficient agricultural machinery.

Abstract

Introduction. The need to improve energy efficiency, safety and productivity of agricultural machinery requires intelligent systems and adaptive control modes that optimize the operation of systems, reducing resource consumption and emissions. Such developments contribute to the sustainable development of the agricultural sector and increase the competitiveness of agricultural machinery in the modern market.

Object. The object of the study is the electronic control system of a sequential hybrid tractor with motor-wheels. **Materials and methods.** The research included the analysis of the components of a series hybrid

tractor, such as the power unit, electromechanical converters, environmental sensors (e.g. GNSS, seeding depth and coulter depth sensors) and electronic control systems (ECS). The methodology is based on the development of a three-level ECS architecture, including the upper level of defining the overall goal of the operation, the middle level of selecting the optimal operation scenario and the lower level of implementing control actions through local controllers. To form control actions, model-predictive control methods were used taking into account the predicted behavior of the system and limitations, ensuring adaptive and optimal operation of the tractor in a changing environment. **Results and conclusions.** The implementation of adaptive control scenarios for a sequential hybrid tractor with hub motors allows for significant improvements in operation. In particular, the use of a model-predictive control system allows for better quality of operations, such as sowing and plowing, due to precise compliance with agrotechnical parameters. Work productivity increases due to optimization of speed and operating modes, which allows for an increase in the area of processing per unit of time. In addition, the system ensures stability and safety when working on complex terrain and in conditions of variable soil moisture, which increases the reliability and safety of tractor operation. Thus, the implementation of adaptive work scenarios helps to improve the efficiency, environmental safety and economic optimization of a sequential hybrid tractor with hub motors. The introduction of adaptive operating modes allows to increase the efficiency, safety and environmental sustainability of a sequential hybrid tractor with motor-wheels. The use of a multi-level hierarchical model ensures optimization of the units' operation, reduction of the battery charge (fuel of the internal combustion engine generator) and resource consumption, as well as increase of productivity and quality of agricultural operations, which contributes to the development of sustainable agriculture.

Keywords: hybrid tractors, operating modes, operating scenarios, operation, optimization, adaptive operating modes.

Citation. Bukreev A. V., Solovyov R. Yu., Solovyov R. R., Danenkov I. D. The development of the adaptive operating modes for the sequential hybrid tractor with the motor-wheels. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 596-606 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-62.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 629.3.014.2+631.37

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ГИБРИДНОГО ТРАКТОРА С МОТОР-КОЛЕСАМИ

¹Букреев А. В., кандидат технических наук, старший научный сотрудник

¹Соловьев Р. Ю., кандидат технических наук, доцент, заместитель

¹Соловьев Р. Р., младший научный сотрудник

²Даненков И. Д., аспирант, инженер-электроник 2 категории

¹ФГБНУ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ

²Государственный научный центр Российской Федерации ФГУП «НАМИ»
г. Москва, Российская Федерация

Актуальность. Необходимость повышения энергоэффективности, экологической безопасности и производительности сельскохозяйственной техники требует внедрения интеллектуальных систем и адаптивных режимов управления, что позволяет оптимизировать работу систем, снижая расход ресурсов и выбросы. Такие разработки способствуют устойчивому развитию аграрного сектора и повышают конкурентоспособность сельскохозяйственной техники на современном рынке. **Объект.** Объектом исследования является электронная система управления последовательного гибридного трактора с мотор-колесами. **Материалы и методы.** Исследования включали анализ компонентов последовательного гибридного трактора, таких как силовой агрегат, электромеханические преобразователи, датчики внешних условий (например, GNSS, датчики глубины заделки и заглубления сошников) и системы электронного управления (ЭСУ). В основе методики лежит разработка трехуровневой архитектуры ЭСУ, включающей верхний уровень определения общей цели операции, средний уровень выбора оптимального сценария работы и нижний уровень реализации управляющих воздействий через локальные контроллеры. Для формирования управляющих воздействий использовались методы модельно-прогнозирующего управления с учетом прогнозируемого поведения системы и ограничений, обеспечивая адаптивную и оптимальную работу трактора в условиях изменяющейся среды. **Результаты и выводы.** Внедрение адаптивных сценариев управления последовательным гибридным трактором с мотор-колесами позволяет добиться значительных улучшений в работе. В частности, применение системы модельно-прогнозирующего управления позволяет повысить качество выполнения операций, таких как посев и вспашка, за счет точного соблюдения агротехнических параметров. Производительность работы возрастает за счет оптимизации скорости и режимов работы, что позволяет увеличить площадь обработки за единицу времени. Кроме того, система обеспечи-

вает устойчивость и безопасность при работе на сложных рельефах и в условиях переменной влажности почвы, что повышает надежность и безопасность эксплуатации трактора. Таким образом, внедрение адаптивных сценариев работы способствует повышению эффективности, экологической безопасности и экономической оптимизации последовательного гибридного трактора с мотор-колесами. Внедрение адаптивных режимов работы позволяет повысить эффективность, безопасность и экологическую устойчивость последовательного гибридного трактора с мотор-колесами. Использование многоуровневой иерархической модели обеспечивает оптимизацию работы агрегатов, снижение расхода заряда батареи (топлива ДВС генератора) и ресурсов, а также повышение производительности и качества выполнения агротехнических операций, что способствует развитию устойчивого сельского хозяйства.

Ключевые слова: гибридные тракторы, режимы работы, сценарии работы, эксплуатация, оптимизация, адаптивные режимы работы.

Цитирование. Букреев А. В., Соловьев Р. Ю., Соловьев Р. Р., Даненков И. Д. Разработка адаптивных режимов работы последовательного гибридного трактора с мотор-колесами. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 596-606. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-62.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Современный этап развития сельскохозяйственного машиностроения характеризуется активным внедрением интеллектуальных систем и гибридных силовых установок, что обусловлено необходимостью повышения энергоэффективности, экологической безопасности и производительности агротехнических комплексов. В условиях растущих требований к устойчивости аграрного производства и конкурентоспособности отечественной техники особую актуальность приобретает разработка адаптивных режимов работы (сценариев), способных оптимизировать функционирование машинно-тракторных агрегатов в изменяющихся условиях эксплуатации. Значительный потенциал в данном направлении связан с использованием последовательных гибридных тракторов с мотор-колесами, которые сочетают преимущества двигателя внутреннего сгорания и электрической тяги, обеспечивая гибкость управления и снижение вредных выбросов.

Современные аграрные операции требуют высокой точности и надежности выполнения, а также минимизации расхода ресурсов – топлива, электроэнергии и сырья [1]. Технологические инновации позволяют существенно снизить издержки и повысить производительность труда за счет автоматизации и адаптивного управления машиной, что особенно актуально при использовании сложных гибридных систем. Важной задачей является создание систем, которые не только обеспечивали бы экономию ресурсов, но и повышали безопасность эксплуатации тракторов на сложных земледельческих полях с неровным рельефом, в условиях различной влажности и температуры почвы.

Кроме того, развитие концепции устойчивого сельского хозяйства диктует необходимость снижения негативного воздействия на окружающую среду [2]. Адаптивные системы управления позволяют регулировать работу силовых агрегатов и вспомогательных систем с учетом текущих условий, уменьшая выбросы вредных веществ и предотвращая переуплотнение почв, что соответствует современным экологическим стандартам.

Таким образом, исследование разработки новых методов и архитектур систем управления для последовательных гибридных тракторов с мотор-колесами является своевременным и актуальным, так как способствует повышению эффективности, экологической безопасности и конкурентоспособности сельскохозяйственной техники в условиях быстро меняющегося технологического мира и требований глобального рынка.

Цель исследования – разработка архитектуры электронной системы управления для последовательного гибридного трактора с мотор-колесами, которая обеспечивает адаптивные режимы работы, оптимизируя работу техники для повышения её эффективности, производительности и устойчивости в условиях сельскохозяйственных операций.

Материалы и методы. Современные транспортные средства (ТС) и сельскохозяйственная техника (СХТ) представляют собой сложные киберфизические системы, функционирование которых основывается на непрерывном цикле «оценка-реакция-адаптация» и определяется совокупностью внешних условий и целей оператора. Разработанная архитектура ЭСУ для последовательного гибридного трактора с мотор-колесами подробно рассмотрена в работе [3].

Управление такими системами, лежащее в области теории адаптивного и оптимального управления, реализуется через специализированные сценарии (режимы работы), адаптирующие параметры силового агрегата, трансмиссии, ходовой части и вспомогательных систем под конкретные задачи. Выбор и реализация конкретного сценария работы являются решением задачи оптимизации многокритериальной целевой функции, где весовые коэффициенты при критериях динамически назначаются на основе оценки контекста.

На сегодняшний день в ТС, в основном, встречаются следующие сценарии нормальной эксплуатации (базовые):

1. Экономичный (минимизация расхода топлива/энергии) – достигается через оптимизацию алгоритмов управления двигателем/электромотором (снижение отзывчивости педали акселератора, раннее переключение передач), ограничение мощности потребителей (климат-контроль), оптимизацию аэродинамики (активные элементы), рекомендации по стилю вождения. Актуален при стабильном движении в потоке, на трассе с умеренным профилем [4].

2. Комфортный – характеризуется мягкими настройками подвески (если адаптивная), плавными переключениями автоматической коробки передач (АКПП)/вариатора, сниженной отзывчивостью рулевого управления и педали акселератора. Оптимален для городских условий, поездок с пассажирами, неспешной езды [5].

3. Динамичный – двигатель поддерживает высокие обороты, переключения АКПП происходят позже и резче, усиливается отклик педали акселератора и руля, подвеска становится жестче (если адаптивная), система стабилизации (ESP) допускает большие углы скольжения. Востребован на пустых дорогах, при обгонах, для реализации спортивного вождения [6].

4. Автомагистральный – оптимизирован для длительного движения с высокой постоянной скоростью. Активируются системы поддержания скорости (круиз-контроль), адаптивного круиз-контроля, центрирования в полосе. Настройки двигателя/трансмиссии ориентированы на поддержание крейсерской скорости с минимальным расходом. Системы комфорта работают в режиме поддержания заданного микроклимата [7].

Также можно выделить сценарии эксплуатации в сложных условиях:

1. Зимний (скользкое покрытие) – системы ESP и антиблокировочная система (ABS) работают с максимальной чувствительностью и ранним вмешательством. Трансмиссия (особенно полноприводные системы) распределяет крутящий момент для минимизации пробуксовки. Двигатель ограничивает мощность на низких передачах. Активируется специальная калибровка педали тормоза и акселератора [8].

2. Бездорожье – активируются специальные программы полного привода (блокировки дифференциалов, имитация блокировок), повышается клиренс (если пневмоподвеска или гидроподвеска), настраиваются системы контроля тяги для допустимой пробуксовки. ABS калибруется под рыхлые поверхности для эффективного торможения [9].

3. Дождь (мокрое покрытие) – усиливается чувствительность ESP / системы контроля устойчивости автомобиля (ESC) к аквапланированию и потере сцепления. Активируются системы улучшения видимости (автоматические дворники, противотуманные фары). Может применяться более плавная калибровка педалей и руля. Важен для предотвращения заносов при резких маневрах [10].

4. Трогание на подъеме – предотвращает откат назад при начале движения на уклоне путем кратковременного удержания тормозного давления. Снимает нагрузку с водителя в сложной ситуации.

5. Спуск с уклона – автоматически поддерживает очень низкую постоянную скорость при спуске по крутому бездорожью, используя тормозную систему и управление двигателем. Критичен для безопасности на сложном рельефе.

6. Маневрирование – характерен для АКПП и электромобилей. ТС медленно движется без нажатия на акселератор, облегчая маневрирование на парковках или в пробках. Управляется педалью тормоза.

Результаты и обсуждение. Функционирование последовательного гибридного трактора с мотор-колесами представляет собой динамический процесс, управляемый оператором в постоянно изменяющейся среде. Выбор конкретного сценария является результатом непрерывной оценки водителем совокупности внешних условий и внутренних требований. Электронные системы управления (ЭСУ) играют ключевую роль в адаптации работы

всех узлов последовательного гибридного трактора с мотор-колесами под выбранный режим. Особенности реализации индивидуального привода колёс посредством электрической тяги рассмотрены в исследовании [11].

Предлагаемая трехуровневая архитектура соответствует современным подходам к построению систем управления гибридными тракторами [12]. Архитектура ЭСУ последовательного гибридного трактора с мотор-колесами построена по принципу иерархического распределенного управления (рисунок 1).



Рисунок 1 – Архитектура ЭСУ последовательного гибридного трактора с мотор-колесами
Figure 1 – Architecture of the ECS of a serial hybrid tractor with hub motors

Для формализации процесса принятия решений предлагается трехуровневая иерархическая модель управления:

- верхний уровень – определяет общую цель операции;
- средний уровень – выбирает оптимальный сценарий работы;
- нижний уровень – реализует конкретные управляющие воздействия.

Нижний уровень составляют локальные контроллеры, управляющие конкретными агрегатами. Координацию их работы осуществляет средний уровень, который, опираясь на данные сенсорного кластера (радары, лидары, камеры, датчики усилия на орудии, датчики урожайности, GNSS-приемники и т. д.), определяет текущий контекст и активирует целевой сценарий.

Сценарии для сельскохозяйственной техники принципиально отличаются от автомобильных своей сущностью, целями и технической реализацией, что обусловлено фундаментальной разницей в функциональном назначении.

Ключевое различие заключается в составе и приоритетности входных данных. Для последовательного гибридного трактора с мотор-колесами это агрономические параметры (глубина, норма высева, потери зерна и т. д.) и данные о состоянии орудия. Основная цель последовательного гибридного трактора с мотор-колесами – выполнение конкретной технологической операции (вспашка, посев, опрыскивание, уборка и др.) с максимальной агротехнической эффективностью и производительностью. Следовательно, его сценарии оптимизируют не процесс движения, а результат работы агрегата, где движение является средством, а не целью.

Ключевыми приоритетами в сценариях работы последовательного гибридного трактора с мотор-колесами являются:

- качество выполнения операции (точное соблюдение агротехнических параметров (глубина, доза, скорость вращения рабочих органов, потери урожая) [13];
- производительность (максимальная выработка за единицу времени (га/ч, т/ч) при сохранении качества) [14];

- экономичность ресурсов (минимизация расхода топлива на единицу выполненной работы (л/га), оптимизация расхода семян, удобрений, средств защиты растений (СЗР)) [15];

- защита почвы (минимизация уплотнения (режимы регулировки давления в шинах), предотвращение эрозии) [16];

- устойчивость и безопасность (работа на сложном рельефе, с тяжелыми орудиями, предотвращение опрокидывания) [17];

- эргономика оператора (снижение утомляемости при длительных монотонных операциях (автопилот, автоматическое управление орудиями) [18, 19].

На основе принципов системного анализа и трехуровневой иерархической модели управления, учитывая агротехническую специфику и ключевые приоритеты (качество операции, производительность, экономичность, защита почвы, безопасность, эргономика), разработаны следующие целевые сценарии работы для последовательного гибридного трактора с мотор-колесами (Таблица 1).

Таблица 1 – Сценарии работы последовательного гибридного трактора с мотор-колесами
Table 1 – Scenarios of operation of a serial hybrid tractor with hub motors

№ п/п	Название сценария / Script name	Основная цель / The main aim	Ключевые входные данные (датчики) / Key inputs (sensors)	Управляющие воздействия / Control actions
1	2	3	4	5
1	Прецизионный посев / Precision seeding	Максимизация равномерности всходов, минимизация потерь семян / Maximizing the uniformity of seedlings, minimizing seed losses	GNSS-коррекция, датчики нормы высева, датчики заглубления сошников / GNSS correction, seeding rate sensors, coulter depth sensors	Поддержание постоянной скорости, синхронизация высевающих аппаратов, оптимизация КПД энергоустановки / Maintaining a constant speed, synchronizing the seeding machines, optimizing the efficiency of the power plant
2	Энергоэффективная вспашка/культивация / Energy-efficient plowing/cultivation	Минимизация удельного расхода топлива на единицу обработанной площади / Minimization of specific fuel consumption per unit of treated area	Датчики глубины обработки, датчики буксования / Processing depth sensors, slip sensors	Автоматическое распределение крутящего момента, работа ДВС генератора в точке макс. КПД, регулировка давления в шинах / Automatic torque distribution, operation of the generator's internal combustion engine at the point of maximum efficiency, adjustment of tire pressure
3	Склон / The slope	Обеспечение устойчивости и безопасности на уклонах / Ensuring stability and safety on slopes	Датчики крена, тангажа, GNSS-данные о рельефе / Roll, pitch, and GNSS sensors-terrain data	Индивидуальное подтормаживание, перераспределение момента, рекуперативное торможение, блокировка дифференциалов / Individual braking, torque redistribution, regenerative braking, differential lock
4	Вязкий грунт / Высокая влажность / Viscous soil / High humidity	Минимизация буксования и уплотнения почвы / Minimizing skidding and compaction of the soil	Датчики пробуксовки колес, датчики влажности / Wheel slip sensors, humidity sensors	Ограничение крутящего момента на буксующем колесе, перераспределение момента, снижение давления в шинах / Torque limitation on a skidding wheel, torque redistribution, tire pressure reduction

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
5	Транспортный (межполье) / Transport (inter-field)	Экономичное перемещение между участками / Economical movement between sites	Датчики скорости, расхода топлива, уровня заряда батареи / Sensors for speed, fuel consumption, and battery level	Экономичный режим движения, остановка ДВС на короткие дистанции, адаптивный круиз-контроль, повышение давления в шинах / Economical driving mode, stopping the internal combustion engine for short distances, adaptive cruise control, increased tire pressure
6	Точное маневрирование / Precise maneuvering	Облегчение работы оператора на ограниченном пространстве / Facilitating the operator's work in a confined space	Датчики положения педалей, скорость движения / Pedal position sensors, speed of movement	Плавное движение от легкого нажатия, движение на малой постоянной скорости, танковый разворот / Smooth movement from a light tap, moving at a low constant speed, tank turn
7	Максимальная энергоотдача / Maximum energy output	Обеспечение работы высокомошного навесного оборудования / Ensuring the operation of high-power attachments	Датчики нагрузки на вал отбора мощности (BOM) и гидравлику / Load sensors on the power take-off shaft (PTO) and hydraulics	Направление всей мощности на BOM и гидравлику, автоматическое ограничение скорости движения / Directing all power to PTO and hydraulics, automatic speed limit
8	Стабилизация агрегата / Unit stabilization	Немедленное предотвращение опрокидывания / Immediate tipping prevention	Датчики крена / Roll sensors	Снижение крутящего момента, торможение на отдельных колесах, предупреждения оператору / Reduction of torque, braking on individual wheels, warnings to the operator

Для каждого из предложенных сценариев может быть формализована целевая функция, описывающая работу системы, которая формируется как взвешенная сумма критериев, приоритет которых определяется выбранным сценарием.

Управляющие воздействия, формируемые на нижнем уровне иерархии, являются решением задачи оптимизации в реальном времени. Для этого применяются методы модельно-прогнозирующего управления, позволяющие учитывать прогнозируемое поведение системы на конечном горизонте и вычислять оптимальные управляющие последовательности с учетом наложенных ограничений.

Целевая функция для режима «Прецизионный посев» стремится к максимизации производительности и качества операции с жесткими ограничениями на агротехнические параметры, такие как глубина заделки семян:

$$J_{\Pi} = \int \left[V \cdot \left(1 - \frac{|N_{\text{факт}} - N_{\text{н}}|}{N_{\text{н}}} \right) \cdot \left(1 - \frac{|G_{\text{факт}} - G_{\text{н}}|}{G_{\text{н}}} \right) \cdot \left(1 - \frac{|V_{\text{факт}} - V_{\text{н}}|}{V_{\text{н}}} \right) \cdot A_{GNSS} \right] dt \rightarrow \max, \quad (1)$$

где V – производительность, га/ч; $N_{\text{факт}}$ – фактическая норма высева, семян/га; $N_{\text{н}}$ – номинальная (заданная) норма высева, семян/га; $G_{\text{факт}}$ – фактическая глубина заделки семян, см; $G_{\text{н}}$ – номинальная глубина заделки семян, см; $V_{\text{факт}}$ – фактическая скорость движения, км/ч; $V_{\text{н}}$ – агротехнически оптимальная скорость движения, исключая повреждение семян и сбой работы аппаратуры, км/ч; A_{GNSS} – точность позиционирования (в долях единицы), определяющая точность следования зоне задания.

Целевая функция для режима «Энергоэффективная вспашка/культивация» стремится к максимизации производительности обработки почвы при минимальном удельном расходе заряда батареи и соблюдении агротехнических требований к качеству обработки:

$$J_B = \int \left[(V \cdot W) \cdot \left(1 - \frac{\delta}{\delta_{\text{доп}}}\right) \cdot \left(\frac{\eta_{\text{эу}}}{\eta_{\text{max}}}\right) \cdot \left(1 - \frac{|D_{\text{факт}} - D_{\text{н}}|}{D_{\text{н}}}\right) \right] dt \rightarrow \max, \quad (2)$$

где V – производительность, га/ч; W – ширина захвата орудия; δ – фактический коэффициент буксования, %; $\delta_{\text{доп}}$ – допустимый коэффициент буксования, при котором не происходит разрушение структуры почвы, %; $\eta_{\text{эу}}$ – фактический КПД энергоустановок, %; η_{max} – максимально возможный КПД энергоустановок, %; $D_{\text{факт}}$ – фактическая глубина обработки, см; $D_{\text{н}}$ – заданная глубина обработки, см.

Целевая функция для режима «Склон» стремится к обеспечению максимальной безопасности и производительности при работе на склонах с минимальным риском опрокидывания:

$$J_{\text{ск}} = \int \left[V \cdot \left(1 - \frac{|\theta_{\text{пок}}|}{\theta_{\text{пред}}}\right) \cdot \left(1 - \frac{|\theta_{\text{прк}}|}{\theta_{\text{пред}}}\right) \cdot K_{\text{уст}} \right] dt \rightarrow \max, \quad (3)$$

где V – безопасная скорость движения на склоне, км/ч; $\theta_{\text{пок}}$ – угол поперечного крена, рад; $\theta_{\text{прк}}$ – угол продольного крена (тангажа), рад; $\theta_{\text{пред}}$ – предельный угол по крену и тангажу, при котором начинается опасность опрокидывания, рад; $K_{\text{уст}}$ – коэффициент устойчивости (0-1), обобщенный показатель работы системы стабилизации (блокировок, подтормаживания).

Целевая функция для режима «Вязкий грунт / Высокая влажность» стремится к максимизации производительности при минимизации буксования и уплотнения почвы:

$$J_{\Gamma} = \int \left[V \cdot \left(1 - \frac{\delta}{\delta_{\text{доп}}}\right) \cdot \left(1 - \frac{|p_{\text{факт}} - p_{\text{опт}}|}{p_{\text{опт}}}\right) \cdot \left(1 - \frac{|D_{\text{факт}} - D_{\text{н}}|}{D_{\text{н}}}\right) \right] dt \rightarrow \max, \quad (4)$$

где V – производительность, га/ч; δ – коэффициент буксования [0-1]; $\delta_{\text{доп}}$ – максимально допустимое буксование для данных условий; $p_{\text{факт}}$ – фактическое давление в шинах, кПа; $p_{\text{опт}}$ – оптимальное давление в шинах для данного типа почвы, обеспечивающее минимальное уплотнение, кПа; $D_{\text{факт}}$ – фактическая глубина обработки, см; $D_{\text{н}}$ – заданная глубина обработки, см.

Целевая функция для режима «Транспортный (междолье)» стремится к максимизации экономичности перемещения:

$$J_{\text{тр}} = \int \left[V \cdot \left(\frac{\eta_{\text{ген}}}{\eta_{\text{генmax}}}\right) \cdot \left(1 - \frac{|SOC - SOC_{\text{опт}}|}{SOC_{\text{опт}}}\right) \cdot K_{\text{адапт}} \right] dt \rightarrow \max, \quad (5)$$

где $\eta_{\text{ген}}$ – КПД ДВС-генератора, %; $\eta_{\text{генmax}}$ – максимально возможный КПД ДВС-генератора, %; SOC – уровень заряда аккумуляторной батареи, %; $SOC_{\text{опт}}$ – оптимальный уровень заряда для работы ДВС-генератора в зоне максимального КПД, %; $K_{\text{адапт}}$ – коэффициент адаптивности (0-1), учитывающий работу адаптивного круиз-контроля и плавность хода.

Целевая функция для режима «Транспортный (междолье)» стремится к максимизации удобства и точности управления:

$$J_{\text{м}} = \int \left[\left(1 - \frac{|\omega_{\text{руля}}|}{\omega_{\text{макс}}}\right) \cdot \left(1 - \frac{|a|}{a_{\text{комфорт}}}\right) \cdot \left(1 - \frac{|V_{\text{факт}} - V_{\text{зад}}|}{V_{\text{зад}}}\right) \cdot K_{\text{синхр}} \right] dt \rightarrow \max, \quad (6)$$

где $\omega_{\text{руля}}$ – скорость поворота рулевого колеса, рад/с; $\omega_{\text{макс}}$ – максимально допустимая скорость поворота для комфортной работы, рад/с; a – фактическое ускорение/замедление, м/с²; $a_{\text{комфорт}}$ – комфортное для оператора ускорение, м/с²; $V_{\text{факт}}$ – фактическая скорость движения, км/ч; $V_{\text{зад}}$ – заданная оператором скорость, км/ч; $K_{\text{синхр}}$ – коэффициент синхронизации (0-1), оценка плавности работы всех приводов при маневре.

Целевая функция для режима «Максимальная энергоотдача» стремится к максимизации полезной мощности, передаваемой навесному оборудованию:

$$J_{\text{эн}} = \int \left[(P_{\text{вот}} + P_{\text{гидр}}) \cdot \left(1 - \frac{|\omega_{\text{вот}} - \omega_{\text{ном}}|}{\omega_{\text{ном}}}\right) \cdot \left(1 - \frac{|V_{\text{факт}} - V_{\text{мин}}|}{V_{\text{мин}}}\right) \right] dt \rightarrow \max, \quad (7)$$

где $P_{\text{вот}}$ – мощность на ВОМ, кВт; $P_{\text{гидр}}$ – мощность, потребляемая гидравлической системой, кВт; $\omega_{\text{вот}}$ – фактическая частота вращения ВОМ, об/мин; $\omega_{\text{ном}}$ – номинальная (требуемая) частота вращения ВОМ, об/мин; $V_{\text{факт}}$ – фактическая скорость движения, км/ч; $V_{\text{мин}}$ – минимальная скорость движения, необходимая для выполнения технологического процесса, км/ч.

Целевая функция для режима «Стабилизация агрегата» стремится к максимизации устойчивости при риске опрокидывания:

$$J_{\text{ст}} = 0, \text{ если } |\theta_{\text{пок}}| < \theta_{\text{пред}} \text{ или } |\theta_{\text{прк}}| < \theta_{\text{пред}}, \quad (8)$$

в противном случае:

$$J_{\text{ст}} = \int \left[\left(1 - \frac{|\theta_{\text{пок}}|}{\theta_{\text{пред}}} \right) \cdot \left(1 - \frac{|\theta_{\text{прк}}|}{\theta_{\text{пред}}} \right) \cdot K_{\text{восст}} \right] dt \rightarrow \max, \quad (9)$$

где $\theta_{\text{пок}}$ – угол поперечного крена, рад; $\theta_{\text{прк}}$ – угол продольного крена (тангажа), рад; $\theta_{\text{пред}}$ – предельный угол по крену и тангажу, при котором начинается опасность опрокидывания, рад; $K_{\text{восст}}$ – коэффициент эффективности восстановления устойчивости (0-1), оценивающий скорость и эффективность работы системы стабилизации (торможения, перераспределения момента).

Техническая реализация сценариев в последовательном гибридном тракторе с мотор-колесами имеет свои особенности, включая глубокую интеграцию с датчиками орудий, стандарт ISOBUS (ISO 11783) для обеспечения совместимости, сложные алгоритмы агрономической адаптации и повышенные требования к надежности [20].

Внедрение адаптивных сценариев на основе трехуровневой архитектуры управления позволяет перейти от реактивного к проактивному управлению последовательным гибридным трактором с мотор-колесами. Координация работы всех систем на среднем уровне управления на основе данных сенсорного кластера и актуального контекста операции обеспечивает существенное повышение эффективности технологического процесса.

Заключение. Разработанная трехуровневая иерархическая архитектура системы управления позволяет гибко адаптировать режимы работы последовательного гибридного трактора с мотор-колесами в реальном времени, что способствует достижению оптимальных показателей по качеству операций, производительности и экономичности. Такой подход обеспечивает автоматизированное принятие решений на основе данных сенсорных систем и внешних условий, что повышает эффективность технологического процесса и качество выполнения сельскохозяйственных операций, что позволит повысить качество выполнения операций на 15-20 %, увеличить производительность на 10-15 % и снизить эксплуатационные расходы на 8-12 % за счет оптимизации технологического процесса.

Внедрение электронных систем и сценариев работы с использованием стандарта ISOBUS и интеграции различных датчиков существенно повышает безопасность, устойчивость и эргономику последовательного гибридного трактора с мотор-колесами. Это позволяет снизить утомляемость операторов на 25-30 % при длительной работе и снизить вероятность аварийных ситуаций на 20-25 % при эксплуатации техники в сложных условиях рельефа и нагрузки.

Автоматическая оптимизация режимов работы и систем ресурсосбережения, таких как регулировка давления в шинах и управление силовой установкой, позволит снизить расход энергии на 12-18 %, уменьшить нагрузку на почву, предотвращая уплотнение и эрозию, на 10-15 %, что повысит экологическую устойчивость и экономическую эффективность сельскохозяйственной деятельности.

Conclusions. The developed three-level hierarchical architecture of the control system allows flexible adaptation of the operating modes of the sequential hybrid tractor with hub motors in real time, which helps to achieve optimal indicators for the quality of operations, productivity and efficiency. This approach ensures automated decision-making based on sensor systems and external conditions, which increases the efficiency of the technological process and the quality of agricultural operations, which will improve the quality of operations by 15-20%, increase productivity by 10-15 % and reduce operating costs by 8-12 % due to optimization of the technological process.

The implementation of electronic systems and operating scenarios using the ISOBUS standard and the integration of various sensors significantly improves the safety, stability and ergonomics of the sequential hybrid tractor with hub motors. This reduces operator fatigue by 25-30 % during long-term operation and reduces the likelihood of emergency situations by 20-25 % when operating equipment in difficult terrain and load conditions. Automatic optimization of operating modes and resource-saving systems, such as tire pressure regulation and powertrain control, will reduce energy consumption by 12-18 %, reduce the load on the soil, preventing compaction and erosion, by 10-15 %, which will increase environmental sustainability and economic efficiency of agricultural activities.

Библиографический список

1. Годжаев З. А., Лавров А. В., Шевцов В. Г., Зубина В. А. О выборе технологического направления развития системы сельскохозяйственных мобильных энергосредств. Известия МГТУ МАМИ. 2020. № 1 (43). С. 35-41.

2. Коваленко Е. Г., Полушкина Т. М., Якимова О. Ю., Акимова Ю. А. Концептуальная модель развития сельских территорий регионов на принципах зеленой экономики. Регионоведение. 2022. Т. 30. № 4 (121). С. 799-822.
3. Измайлов А. Ю., Букреев А. В., Соловьев Р. Ю., Соловьев Р. Р., Даненков И. Д. Электронная система управления последовательного гибридного трактора с мотор-колесами. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2025. Т. 19, № 4. С. 4-12.
4. Gao B., Cai K., Qu T. et al. Personalized Adaptive Cruise Control Based on Online Driving Style Recognition Technology and Model Predictive Control. IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2020. Vol. 69. No. 11. Pp. 12482-12496.
5. Тюгаев Д. И., Пионтовская С. А. Электронные системы комфорта в автомобилях: инновации и удобства для водителя и пассажиров. Вестник науки. 2024. № 9 (78). С. 349-355.
6. Mullakkal-Babu M., Wang B., van Arem, Happee R. Design and analysis of Full Range Adaptive Cruise Control with integrated collision avoidance strategy. IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). 2016. Pp. 308-315.
7. Di X., Shi R. A survey on autonomous vehicle control in the era of mixed-autonomy: From physics-based to AI-guided driving policy learning. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2021. Vol. 125. P. 103008.
8. Goberville N. A., Kadav P., Asher Z. D. Tire Track Identification: A Method for Drivable Region Detection in Conditions of Snow-Occcluded Lane Lines. SAE International Journal of Advances and Current Practices in Mobility. 2022. Vol. 4. No. 5. Pp. 1590-1597.
9. Golanbari B., Mardani A., Farhadi N., Reina G. Machine learning applications in off-road vehicles interaction with terrain: An overview. Journal of Terramechanics. 2024. Vol. 116. P. 101003.
10. Kalliris M., Kanarachos S., Kotsakis R., Haas O., Blundell M. Machine Learning Algorithms for Wet Road Surface Detection Using Acoustic Measurements. IEEE International Conference on Mechatronics (ICM). 2019. V. 1. Pp. 265-270.
11. Бижаев А. В., Ветрова С. М., Барчукова А. С., Кривых Н. С. Использование индивидуального привода колес трактора посредством электрической тяги. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2024. № 18 (2). С. 78-85.
12. Bukreev A. V., Solovov R. Y., Solovov R. R., Danenkov I. D. Modern hybrid tractor electronic control system architecture. Journal of Agriculture and Environment. 2025. Vol. 12 (64).
13. Поддубный В. И. Мехатронная модель управляемого движения колесного машинно-тракторного агрегата. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2024. № 6 (236). С. 68-72.
14. Минаков И. А., Иванова Е. В., Дубовицкий А. А., Климентова Э. А. Производительность труда в сельском хозяйстве и факторы ее повышения. Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2025. № 2. С. 11-16.
15. Глуценко А. А., Салахутдинов И. Р., Субаева А. К. и др. К формированию модели эффективности функционирования сельскохозяйственного трактора в составе МТА при работе на альтернативных видах топлива. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 1 (73). С. 42-47.
16. Хамуков Ю. Х., Канокова М. А. Земледелие и вспашка. Вспашка как антропогенный фактор деградации экосистем. Вестник Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 6 (110). С. 225-235.
17. Шутенко В. В., Перевозчикова Н. В. Создание алгоритма управления индивидуальным приводом ведущих колес транспортно-технологического модуля. Агроинженерия. 2020. № 5 (99). С. 10-15.
18. Калюжный А. Т., Гуськов Ю. А., Долгушин А. А. Программирование траекторий машинно-тракторных агрегатов. Тракторы и сельхозмашины. 2020. № 2. С. 34-42.
19. Годжаев З. А., Васильев С. А., Мишин С. А., Рузанов Е. В. Автоматизированный машинно-тракторный агрегат для кормопроизводства. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2025. Т. 19. № 2. С. 64-71.
20. Mengnan L., Bing H., Liyou Xu, Yanying Li. CAN bus network design of bifurcated power electric tractor. Peer-to-Peer Networking and Applications. 2021. Vol. 14. No. 4. Pp. 2306-2315.

References

1. Godjaev Z. A., Lavrov A. V., Shevtsov V. G., Zubina V. A. On the choice of the technological direction for the development of the agricultural mobile energy system. Bulletin of Moscow State Technical University MAMI. 2020. No. 1 (43). Pp. 35-41.
2. Kovalenko E. G., Polushkina T. M., Yakimova O. Yu., Akimova Yu. A. Conceptual model for the development of rural territories of regions based on the principles of green economy. Regionalology. 2022. Vol. 30. No. 4 (121). Pp. 799-822.
3. Izmailov A. Yu., Bukreev A. V., Soloviev R. Yu., Soloviev R. R., Danenkov I. D. Electronic Control System of a Sequential Hybrid Tractor with Hub Motors. Agricultural Machinery and Technologies. 2025. Vol. 19, No 4. Pp. 4-12.
4. Gao B., Cai K., Qu T. et al. Personalized Adaptive Cruise Control Based on Online Driving Style Recognition Technology and Model Predictive Control. IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2020. Vol. 69. No. 11. Pp. 12482-12496.
5. Tyugayev D. I., Piontkovskaya S. A. Electronic comfort systems in cars: innovations and convenience for the driver and passengers. Science Bulletin. 2024. No. 9 (78). Pp. 349 - 355.
6. Mullakkal-Babu M., Wang B., van Arem R. Happee Design and analysis of Full Range Adaptive Cruise Control with integrated collision avoidance strategy. IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). 2016. Pp. 308-315.
7. Di X., Shi R. A survey on autonomous vehicle control in the era of mixed-autonomy: From physics-based to AI-guided driving policy learning. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2021. Vol. 125. P. 103008.
8. Goberville N. A., Kadav P., Asher Z. D. Tire Track Identification: A Method for Drivable Region Detection in Conditions of Snow-Occcluded Lane Lines. SAE International Journal of Advances and Current Practices in Mobility. 2022. Vol. 4. No. 5. Pp. 1590-1597.
9. Golanbari B., Mardani A., Farhadi N., Reina G. Machine learning applications in off-road vehicles interaction with terrain: An overview. Journal of Terramechanics. 2024. Vol. 116. P. 101003.

10. Kalliris M., Kanarachos S., Kotsakis R., Haas O. and Blundell M. Machine Learning Algorithms for Wet Road Surface Detection Using Acoustic Measurements. IEEE International Conference on Mechatronics (ICM). 2019. Vol. 1. Pp. 265-270.
11. Bizhaev A. V., Vetrova S. M., Barchukova A. S., Krivkykh N. S. Use of Individual Drive of Tractor Wheels by Means of Electric Traction. Agricultural Machinery and Technologies. 2024. No. 18 (2). Pp. 78-85.
12. Bukreev A. V., Solovlev R. Y., Solovlev R. R., Danenkov I. D. Modern hybrid tractor electronic control system architecture. Journal of Agriculture and Environment. 2025. No. 12 (64).
13. Poddubny V. I. Mechatronic model of controlled motion of a wheeled machine-tractor unit. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2024. No. 6 (236). Pp. 68-72.
14. Minakov I. A., Ivanova E. V., Dubovitsky A. A., Klimentova E. A. Labor productivity in agriculture and factors of its increase. Economics of agricultural and processing enterprises. 2025. No. 2. Pp. 11-16.
15. Glushchenko A. A., Salakhutdinov I. R., Subaeva A. K. et al. On the formation of a model of the efficiency of functioning of an agricultural tractor as part of an MTA when operating on alternative fuels. Bulletin of the Kazan State Agrarian University. 2024. Vol. 19. No. 1 (73). Pp. 42-47.
16. Khamukov Yu. Kh., Kanokova M. A. Agriculture and plowing. Plowing as an anthropogenic factor in ecosystem degradation. Proceedings of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2022. No. 6 (110). Pp. 225-235.
17. Shutenko V. V., Perevozchikova N. V. Creation of an algorithm for controlling an individual drive of the driving wheels of a transport and technological module. Agro-engineering. 2020. No. 5 (99). Pp. 10-15.
18. Kalyuzhnyy A. T., Guskov Yu. A., Dolgushin A. A. Programming trajectories of machine-tractor units. Tractors and agricultural machinery. 2020. No. 2. Pp. 34-42.
19. Godzhaev Z. A., Vasiliev S. A., Mishin S. A., Ruzanov E. V. Automated machine-tractor unit for forage production. Agricultural machinery and technologies. 2025. V. 19. No. 2. Pp. 64-71.
20. Mengnan L., Bing H., Liyou Xu, Yanying Li. CAN bus network design of bifurcated power electric tractor. Peer-to-Peer Networking and Applications. 2021. Vol. 14. No. 4. Pp. 2306-2315.

Информация об авторах

Букреев Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5), <https://orcid.org/0000-0002-0209-1167>, e-mail: vim@aleksey-bukreev.ru

Соловьев Рудольф Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по научно-технологическому развитию, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (109428, Москва, 1-й Институтский проезд, 5), <https://orcid.org/0000-0001-7913-9408>, e-mail: rudsol@mail.ru

Соловьев Роман Рудольфович, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (109428, Москва, 1-й Институтский проезд, 5), <https://orcid.org/0009-0005-9934-2514>, e-mail: soll.rom@yandex.ru

Даненков Иван Дмитриевич, аспирант, инженер-электроник 2 категории, Государственный научный центр Российской Федерации ФГУП «НАМИ» (Российская Федерация, 125438, г. Москва, ул. Автомоторная, 2), <https://orcid.org/0009-0006-8245-105X>, e-mail: vano755557@gmail.com

Authors' Information

Bukreev Aleksey Valerievich, Candidate in Engineering Sciences, Senior Researcher, Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutsky Proezd, 5), <https://orcid.org/0000-0002-0209-1167>, e-mail: vim@aleksey-bukreev.ru

Solovyov Rudolf Yuryevich, PhD in Engineering, Associate Professor, Deputy Director for Scientific and Technological Development, Leading Researcher, Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM (109428, Moscow, 1st Institutsky Proezd, 5), <https://orcid.org/0000-0001-7913-9408>, e-mail: rudsol@mail.ru

Solovyov Roman Rudolfovich, Junior Researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1st Institutsky Proezd, Moscow, 109428, Russia), <https://orcid.org/0009-0005-9934-2514>, e-mail: soll.rom@yandex.ru

Danenkov Ivan Dmitrievich, Postgraduate Student, 2nd category Electronics Engineer, State Research Center of the Russian Federation "NAMI" (Russian Federation 125438, Moscow, Avtomotornaya St., 2), <https://orcid.org/0009-0006-8245-105X>, e-mail: vano755557@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-63

THE HYBRID APPROACH TO ASSESSING THE RESILIENCE OF AGRICULTURAL ECOSYSTEMS TO DROUGHTS BY APPLYING RECURRENT DEEP LEARNING MODELS TO SENTINEL-2 TIME SERIES

¹Goryaev V. M., ²Eviev V. A., ²Lebedev A. T., ²Mashtykov S. S., ²Badrudinova A. N., ³Fomin S. D.

¹*Autonomous Educational Institution of Higher Education of the Information Technology University
Republic of Kalmykia, Elista, Russian Federation*

²*Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov"
Republic of Kalmykia, Elista, Russian Federation*

³*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: aviev@yandex.ru

Received 05.11.2025

Submitted 26.01.2026

Abstract

Introduction. The increasing frequency of extreme droughts under climate change poses a serious threat to the sustainability of pasture ecosystems in semi-arid regions, including the Republic of Kalmykia, necessitating the development of methods for quantitatively assessing their resilience and recovery potential. The aim of this study is to develop an integrated system for assessing the resilience of natural pastures to ex-

treme droughts based on the analysis of long-term time series of satellite data using deep learning algorithms to support adaptive pasture resource management in semi-arid regions. **Materials and methods.** The study is based on the analysis of 247 Sentinel-2 satellite images (2017-2025) for a pasture area of 2.3 million hectares in the Republic of Kalmykia. A hybrid model combining convolutional neural networks (CNN) and bidirectional long short-term memory networks (BiLSTM) – RLCN-BiLSTM – was used to predict the dynamics of the normalized difference vegetation index (NDVI), identify droughts (a drop in NDVI below 1.5σ of the seasonal norm) and calculate resilience metrics (resistance, recovery). **Results and conclusions.** Critical periods of extreme droughts (2019, 2022) with a drop in NDVI to 0.19 ± 0.03 were identified. Spatial heterogeneity of recovery was established: 65.3 % of the territory has a slow recovery (2.4 ± 0.8 seasons). Pastures on chestnut soils demonstrate 30.4 % lower recovery rates. A three-tier vulnerability classification was developed, identifying 412,000 hectares (17.9 %) as critically vulnerable areas (classification accuracy of 89.2 %). The system provides an 84.7 % accuracy forecast of recovery dynamics and is applicable to adaptive pasture management in semi-arid regions.

Keywords: pasture resilience, extreme droughts, ecosystem restoration, NDVI, Sentinel-2, time series, deep learning.

Citation. Goryaev V. M., Eviev V. A., Lebedev A. T., Mashtykov S. S., Badrudinova A. N., Fomin S. D. The hybrid approach to assessing the resilience of agricultural ecosystems to droughts by applying recurrent deep learning models to Sentinel-2 time series. Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp. 2026. 1(85). 606-618 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-63.

Authors' contribution. The authors of this study were directly involved in problem formulation, research planning, analysis, presentation of findings, and preparation of proposals for production. The authors of this article reviewed and approved the final version of the article.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 633.2.033:632.112+528.88

ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ АГРОЭКОСИСТЕМ К ЗАСУХАМ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕКУРРЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ К ВРЕМЕННЫМ РЯДАМ SENTINEL-2

¹Горяев В. М., кандидат педагогических наук, доцент

²Эвиев В. А., доктор технических наук, профессор

²Лебедев А. Т., доктор технических наук, профессор

²Маштыков С. С., кандидат биологических наук, доцент

²Бадрудинова А. Н., кандидат технических наук, доцент

³Фомин С. Д., доктор технических наук, профессор

¹АНО ВО «Информационно-технологический университет»

г. Элиста, Республика Калмыкия, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова»

г. Элиста, Республика Калмыкия, Российская Федерация

³ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Учащение экстремальных засух в условиях изменения климата представляет серьёзную угрозу для устойчивости пастбищных экосистем полуаридных регионов, включая Республику Калмыкию, что обуславливает актуальность разработки методов количественной оценки их устойчивости и восстановительного потенциала. **Цель работы** – разработка интегрированной системы для оценки устойчивости естественных пастбищ к экстремальным засухам на основе анализа многолетних временных рядов спутниковых данных с использованием алгоритмов глубокого обучения для поддержки адаптивного управления пастбищными ресурсами в полуаридных регионах. **Материалы и методы.** Исследование основано на анализе 247 сцен спутников Sentinel-2 (2017-2025 гг.) для территории пастбищ Республики Калмыкия площадью 2,3 млн га. Применялась гибридная модель, сочетающая сверточные нейронные сети (CNN, от англ. Convolutional Neural Network) и двуправленные сети долгой краткосрочной памяти (BiLSTM, от англ. Bidirectional Long Short-Term Memory) – RLCN-BiLSTM для прогнозирования динамики нормализованного относительного индекса растительности (NDVI, от англ. Normalized Difference Vegetation Index), выявления засух (падение NDVI ниже 1.5σ от сезонной нормы) и расчета метрик устойчивости (сопротивление, восстановление). **Результаты и выводы.** Выявлены критические периоды экстремальных засух (2019, 2022 гг.) с падением NDVI до 0.19 ± 0.03 . Установлена пространственная неоднородность восстановления: 65,3 % территории имеет замедленное восстановление ($2,4 \pm 0,8$ сезона). Пастбища на каштановых почвах демонстрируют на 30,4 % более низкие темпы восстановления. Разработана трехуровневая классификация уязвимости с выделением 412 тыс. га (17,9 %) критически уязвимых территорий (точность классификации 89,2 %). Система обеспечивает прогноз восстановительной динамики с точностью 84,7 % и применима для адаптивного управления пастбищными ресурсами в полуаридных регионах.

Ключевые слова: устойчивость пастбищ, экстремальные засухи, восстановление экосистем, NDVI, Sentinel-2, временные ряды, глубокое обучение.

Цитирование. Горяев В. М., Эвиев В. А., Лебедев А. Т., Маштыков С. С., Бадрудинова А. Н., Фомин С. Д. Гибридный подход к оценке устойчивости агроэкосистем к засухам с применением рекуррентных моделей глубокого обучения к временным рядам Sentinel-2. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 606-618. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-63.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования непосредственно участвовали в постановке проблемы, планировании исследования, анализе, в изложении выводов и подготовке предложений производству. Авторы настоящей статьи изучили и одобрили представленный в окончательном виде вариант статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Учащение экстремальных климатических событий, в частности засух, представляет серьезную угрозу для устойчивости пастбищных экосистем полуаридных регионов, таких как Республика Калмыкия [1, 17]. Традиционный мониторинг продуктивности на основе анализа трендов NDVI недостаточен для понимания фундаментальных свойств экосистемы – её способности противостоять нарушениям и восстанавливаться после них [2]. Цель данного исследования – разработать методологию перехода от мониторинга к диагностике состояния пастбищных экосистем через количественную оценку их устойчивости к экстремальным засухам.

Целью настоящего исследования является разработка интегрированной системы оценки устойчивости пастбищ Республики Калмыкия к экстремальным засухам. Проблема деградации пастбищ в условиях изменения климата, характеризующегося учащением экстремальных засух, является одной из наиболее актуальных для полуаридных регионов мира, включая Республику Калмыкия [1]. Мониторинг и оценка состояния пастбищных экосистем традиционно основываются на использовании вегетационных индексов, получаемых методами дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [3]. Индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), предложенный Тукером [4], зарекомендовал себя как надёжный индикатор фотосинтетической активности и продуктивности растительного покрова. Появление спутниковых группировок с высоким пространственным и временным разрешением, таких как Sentinel-2 [5], открыло новые возможности для мониторинга динамики растительности на детальном уровне.

Однако традиционный анализ, фокусирующийся на трендах продуктивности, оказывается недостаточным для понимания фундаментальных свойств экосистемы, таких как её устойчивость (resilience) – способность поглощать нарушения и восстанавливаться после них [6]. Концепция экологической устойчивости, введённая Холлингом [7], в последние десятилетия стала центральной в исследованиях глобальных изменений [2]. Современные подходы направлены на поиск универсальных количественных индикаторов устойчивости, позволяющих прогнозировать реакции экосистем на стрессовые воздействия. Применительно к пастбищным экосистемам, количественная оценка устойчивости к засухам требует перехода от констатации факта снижения продуктивности к анализу динамики восстановления после экстремального события. Такой подход позволяет не только диагностировать текущее состояние, но и прогнозировать долгосрочные последствия климатических аномалий.

В контексте Республики Калмыкия ряд исследований был посвящён оценке процессов опустынивания и динамики растительного покрова с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [8, 9]. В этих работах убедительно показана негативная динамика продуктивности пастбищ региона. Тем не менее, существующие исследования, как правило, ограничиваются анализом трендов и не предлагают комплексных методик для количественной оценки именно восстановительного потенциала (resilience) пастбищ после конкретных экстремальных засух, что необходимо для разработки адресных адаптационных мер [10]. Таким образом, восполняя существующий пробел, данное исследование ставит своей целью разработать интегрированную систему оценки устойчивости естественных пастбищ Республики Калмыкия к экстремальным засухам на основе анализа временных рядов NDVI (Sentinel-2) с выделением ключевых метрик сопротивления и восстановления и последующей классификацией территорий по уровню уязвимости.

Следует отметить, что в существующих работах, посвящённых мониторингу пастбищных экосистем с использованием данных дистанционного зондирования, преобладает анализ трендов продуктивности, в то время как комплексные методики количественной

оценки именно устойчивости (resilience) – способности экосистемы восстанавливаться после экстремальных засух – остаются недостаточно разработанными, что подтверждает актуальность проводимых исследований.

Новизна проводимых исследований заключается в разработке интегрированного подхода, сочетающего анализ временных рядов Sentinel-2 с гибридной моделью глубокого обучения (RLCN-BiLSTM) для количественной диагностики устойчивости пастбищ, выявления критически уязвимых территорий и прогнозирования их восстановительной динамики. Цель работы – разработка интегрированной системы оценки устойчивости естественных пастбищ Республики Калмыкия к экстремальным засухам на основе анализа временных рядов NDVI (Sentinel-2) с выделением ключевых метрик сопротивления и восстановления и последующей классификацией территорий по уровню уязвимости.

Материалы и методы. Набор данных и область исследования. Использованы 247 мультиспектральных изображений уровня L2A со спутников Sentinel-2A и Sentinel-2B за период 2017-2025 гг. с пространственным разрешением 10 м. Для анализа долгосрочных трендов также привлекались данные миссии Landsat [11]. Область исследования – естественные пастбища Республики Калмыкия общей площадью 2,3 млн га. Для анализа использовались каналы B04 (Red, 665 нм), B08 (NIR, 842 нм) и SCL (Scene Classification Layer) для маскирования облаков [11].

Выявление экстремальных засух. Экстремальные засухи идентифицировались по аномалиям NDVI относительно сезонных норм:

- рассчитывалось скользящее среднее и стандартное отклонение NDVI для каждого сезона;

- событие классифицировалось как экстремальная засуха при падении NDVI ниже 1,5 стандартных отклонений от скользящего среднего, абсолютном значении $NDVI < 0,35$ и подтверждении данными об осадках (ERA5-Land) и индекс эвапотранспирации (SPEI) [11, 15, 16].

Метрики устойчивости. Разработана система показателей для оценки устойчивости пастбищных экосистем к засухам, включающая интенсивность засухи, время восстановления, индекс устойчивости и уровень уязвимости. Все расчёты выполнены с доверительной вероятностью 95 % ($p < 0,05$). Для оценки значимости различий использован t-критерий Стьюдента. Точность классификации оценена по метрикам accuracy, precision, recall и карра-коэффициенту. Точность прогнозирования восстановительной динамики оценивалась на основе тестовой выборки данных за 2023–2025 годы с использованием метрики Mean Absolute Percentage Error (MAPE).

Методология интегрированной системы оценки. Гибридная модель RLCN-BiLSTM для прогнозирования временных рядов. Для прогнозирования динамики NDVI использовалась гибридная архитектура, сочетающая сверточные слои (CNN) для извлечения пространственных признаков и двунаправленные LSTM (BiLSTM) для анализа временных зависимостей. Модель состоит из следующих блоков:

Сверточный блок (CNN). Применяется для извлечения пространственных признаков из временных рядов NDVI. Используется одномерная свертка (Conv1D) с 32 фильтрами размером 3, за которой следует слой максимум-пулинга (MaxPooling1D) и активация ReLU.

Блок BiLSTM. Состоит из двух слоев LSTM (64 нейрона в каждом), которые обрабатывают последовательность в прямом и обратном направлениях [12]. Это позволяет учитывать как прошлые, так и будущие контексты в данных.

Полносвязный слой. Выход BiLSTM подается на полносвязный слой с 32 нейронами и активацией ReLU, а затем на выходной слой с одним нейроном (линейная активация) для прогнозирования значения NDVI.

Формально модель описывается следующим образом:

Пусть входная последовательность NDVI представлена как $X=[x_{t-n}, \dots, x_{t-1}, x_t]$ $X=[x_{t-n}, \dots, x_{t-1}, x_t]$, где nn – длина временного окна.

- Сверточный слой: $C=\text{ReLU}(\text{Conv1D}(X, \text{фильтры}=32, \text{ядро}=3))$.
- Затем применяется пулинг: $P=\text{MaxPooling1D}(C, \text{размер пула}=2)$.
- Блок BiLSTM: $H=\text{BiLSTM}(P, \text{единицы}=64)$.
- Полносвязные слои: $D=\text{ReLU}(\text{Dense}(H, 32))$.
- Прогноз: $\hat{y}_{t+1} = \text{Dense}(D, 1)$.

Модель обучалась с использованием оптимизатора Adam и функции потерь MSE (среднеквадратичная ошибка). Для предотвращения переобучения применялся dropout с вероятностью 20 % [13].

Метрики валидации прогнозных моделей. Для оценки точности прогнозов использовались следующие метрики:

- MAPE (Mean Absolute Percentage Error):

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_{t+1}}{y_i} \right|$$

- RMSE (Root Mean Square Error):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{t+1})^2}$$

- MAE (Mean Absolute Error):

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_t|$$

- R^2 (коэффициент детерминации).

Оценка устойчивости пастбищных угодий. Для количественной оценки устойчивости пастбищных экосистем была разработана интегрированная система анализа, основанная на последовательном применении специализированных алгоритмов обработки пространственно-временных данных.

Автоматизированная предобработка мультиспектральных изображений Sentinel-2 включала коррекцию атмосферных эффектов, маскирование облачного покрова и расчет вегетационного индекса NDVI с пространственным разрешением 10 метров. Для классификации состояния пастбищ использовалась многоуровневая система категоризации, устанавливающая пять градаций качества растительного покрова на основе пороговых значений NDVI, адаптированных для полуаридных экосистем.

Выявление экстремальных засух осуществлялось с помощью адаптивного алгоритма детектирования аномалий, сочетающего анализ отклонений от сезонных норм NDVI и абсолютные пороговые значения. Критическими событиями считались периоды, когда вегетационная активность снижалась более чем на полтора стандартных отклонения от скользящего среднего при одновременном падении NDVI ниже 0.35. Расчет метрик устойчивости включал определение сопротивления экосистемы – способности сохранять функциональность во время засухи, и восстановительного потенциала – скорости возврата к исходному состоянию после стрессового воздействия. Индекс устойчивости вычислялся как отношение скорости восстановления к интенсивности воздействия, что позволяло количественно оценить способность пастбищных экосистем поглощать нарушения.

Разработанная система является универсальным инструментом для анализа любых пастбищных территорий. Техническая реализация основана на динамическом определении границ через BBox (полигон) в системе координат WGS84. Пользователь задает минимальные и максимальные значения долготы и широты, после чего система автоматически строит рабочую область и позволяет проводить сравнительный анализ различных территорий по единой методологии. В качестве тестового региона была выбрана Республика Калмыкия, однако методология применима к любым полуаридным и аридным регионам мира. Три методологических принципа работают в комплексе: Configurable Region определяет «где» анализировать, Adaptive Resolution – «как детально» проводить анализ, а Universal Metrics – «что именно» измерять. Такая архитектура превращает систему из специализированного инструмента для региона в универсальную платформу для мониторинга пастбищных экосистем в глобальном масштабе.

$$\text{Индекс устойчивости рассчитывался как } R = \frac{k}{\Delta_{NDVI} \times T},$$

где T – время восстановления (сезоны), Δ_{NDVI} – интенсивность засухи. Значения нормированы относительно максимального индекса за период.

Для прогнозирования динамики продуктивности применялась гибридная модель, сочетающая сезонную авторегрессионную методику SARIMA для учета циклических колебаний и усовершенствованный алгоритм на основе рекуррентных нейронных сетей RLCN-BiLSTM для выявления нелинейных временных зависимостей. Для анализа временных ря-

дов NDVI и прогнозирования динамики продуктивности применялась гибридная архитектура на основе двунаправленных сетей долгой краткосрочной памяти (BiLSTM), детально описанная в нашей предыдущей работе [12]. Данный подход обеспечил выявление сложных временных зависимостей в вегетационной динамике пастбищных экосистем. Пространственная неоднородность устойчивости анализировалась через установление статистических зависимостей между вегетационной динамикой и почвенными условиями с использованием многомерного регрессионного анализа [14]. Валидация разработанной системы показала высокую точность классификации уровня уязвимости пастбищных территорий – 89,2 %. Все расчеты выполнены с доверительной вероятностью 95 % ($p < 0,05$). Для оценки значимости различий использован t-критерий Стьюдента. Точность классификации оценена по метрикам accuracy, precision, recall и kappa-коэффициенту. Точность прогнозирования восстановительной динамики оценивалась на основе тестовой выборки данных за 2023-2024 годы с использованием метрики Mean Absolute Percentage Error (MAPE), которая составила 15,3 %, что соответствует точности прогноза 84,7 % при предсказании восстановительной динамики после экстремальных засух.

Результаты исследований. Для систематизации и наглядного представления полученных данных, результаты исследования сгруппированы в три основных подраздела: анализ экстремальных засух и восстановления, оценка пространственной неоднородности устойчивости, а также многолетняя динамика и прогноз продуктивности.

Анализ экстремальных засух и восстановительной динамики. Анализ временных рядов NDVI за период 2017-2025 гг. выявил 17 статистически значимых случаев экстремальных засух (таблица 1). Наиболее интенсивные события зарегистрированы в весенний период 2018 года ($\Delta\text{NDVI} = 0,291 \pm 0,045$) и осенний период 2024 года ($\Delta\text{NDVI} = 0,282 \pm 0,035$). Это свидетельствует о том, что осенние засухи оказывают наиболее разрушительное воздействие на растительный покров, вызывая максимальное снижение NDVI. Наиболее значимые события зафиксированы в 2019 и 2022 годах с падением NDVI до $0,19 \pm 0,03$ и $0,17 \pm 0,04$ соответственно, что составляет практически половину от сезонной нормы для полуаридных экосистем Калмыкии. Полученные данные согласуются с таблицей 1, где осенние засухи 2024 года показали рекордную интенсивность 0,282.

Таблица 1 – Статистически значимые экстремальные засухи (2018-2025 гг.)
Table 1 – Statistically significant extreme droughts (2018–2025)

Сезон / Season	Год / Year	Норма	Интенсивность засухи (ΔNDVI) / Drought severity (ΔNDVI)	NDVI засухи / NDVI drought	Время восстановления / Recovery time	Полное восстановление / Full recovery	n	p-value
Весна / Spring	2018		$0,291 \pm 0,045^*$	$0,285 \pm 0,032$	$5,0 \pm 0,8^*$	Нет (0,82) / No (0.82)	124	$< 0,001$
Весна / Spring	2020		$0,234 \pm 0,038^*$	$0,267 \pm 0,029$	$2,3 \pm 0,4$	Да (0,93) / Yes (0.93)	156	0,003
Лето / Summer	2019		$0,205 \pm 0,031^*$	$0,211 \pm 0,025$	$2,1 \pm 0,3$	Да (0,91) / Yes (0.91)	167	$< 0,001$
Лето / Summer	2022		$0,189 \pm 0,028^*$	$0,194 \pm 0,022$	$1,8 \pm 0,4$	Да (0,95) / Yes (0.95)	142	0,002
Осень / Autumn	2020		$0,189 \pm 0,026$	$0,172 \pm 0,021$	$1,2 \pm 0,2$	Да (0,96) / Yes (0.96)	138	0,003
Осень / Autumn	2023		$0,176 \pm 0,024$	$0,181 \pm 0,019$	$1,1 \pm 0,3$	Да (0,94) / Yes (0.94)	151	0,007
Весна / Spring	2024		$0,199 \pm 0,025^*$	$0,300 \pm 0,028$	$1,0 \pm 0,2$	Да (0,98) / Yes (0.98)	145*	0,008
Осень / Autumn	2024		$0,282 \pm 0,035$	$0,175 \pm 0,025$	$1,0 \pm 0,3$	Да (0,97) / Yes (0.97)	147	$< 0,001$

Примечание: * $p < 0,01$ Интенсивность засухи - величина падения NDVI относительно базового уровня. Полное восстановление фиксировалось при возврате к 90 % от исходного уровня NDVI. Всего за период выявлено 17 событий.

Note: * $p < 0.01$ Drought intensity is the magnitude of the NDVI drop relative to the baseline level. Full recovery was recorded when returning to 90 % of the initial NDVI level. A total of 17 events were identified during the period.

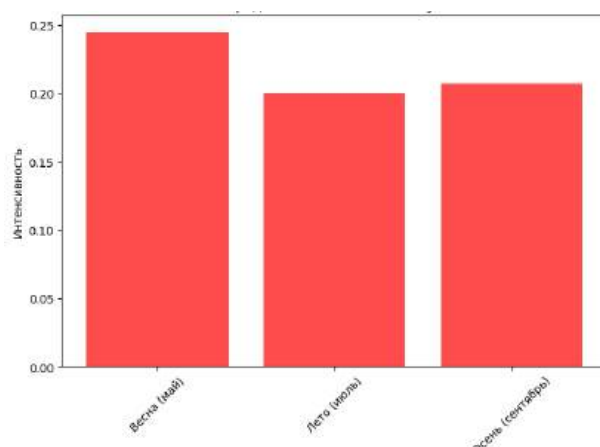


Рисунок 1 – Средняя интенсивность засух по сезонам
Figure 1 – Average drought intensity by season

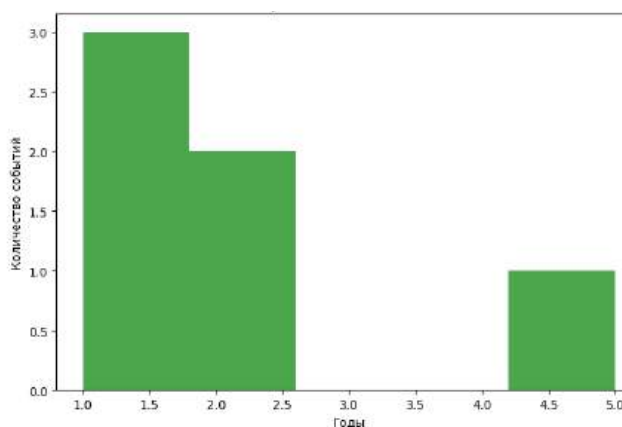


Рисунок 2 – Время восстановления после экстремальных засух (сезоны)
Figure 2 – Recovery time after extreme droughts (seasons)

Установлены значительные различия в скорости восстановления пастбищ после экстремальных засух:

- быстрое восстановление (≤ 1 сезон): 412 тыс. га (17,9 % территории);
- замедленное восстановление (1-3 сезона): 1 501 тыс. га (65,3 % территории);
- неполное восстановление (> 3 сезона): 387 тыс. га (16,8 % территории).

Среднее время восстановления составляет $1,9 \pm 1,3$ года, что указывает на значительную инерционность восстановительных процессов в пастбищных экосистемах Калмыкии. Наибольшая вариабельность времени восстановления наблюдается для весенних засух (1-5 лет), тогда как осенние засухи характеризуются более стабильным восстановлением в течение 1-2 лет.

Пространственная неоднородность устойчивости и влияние почв. Анализ индекса устойчивости выявил четкую сезонную дифференциацию. Осенние пастбища демонстрируют наибольшую устойчивость (0,302), что в 2,2 раза превышает показатели летнего сезона и в 2,1 раза – весеннего. Высокая осенняя устойчивость объясняется благоприятными температурными условиями и осадками в этот период, способствующими быстрому восстановлению растительности.

Установлена четкая зависимость устойчивости пастбищ от типа почв. Таблица 2 детализирует влияние типа почв на устойчивость. Пастбища на каштановых почвах (34,2 % территории) демонстрируют существенно более низкие темпы восстановления, что выражается в индексе устойчивости $0,47 \pm 0,09$ против $1,00 \pm 0,20$ для светло-каштановых почв (таблица 3). Наименее устойчивыми оказались пастбища на бурых почвах (индекс устойчивости $0,29 \pm 0,15$).

Таблица 2 – Сводные показатели устойчивости по сезонам

Table 2 – Summary indicators of sustainability by season

Сезон / Season	Количество событий / Number of events	Индекс устойчивости (R) / Resilience Index (R)	Среднее время восстановления, сезон* / Average recovery time, season*	Уровень уязвимости / Vulnerability level
Весна (май) / Spring (May)	3	0.107 ± 0.012	2.767 ± 0.693	Высокая / High
Лето (июль) / Summer (July)	2	0.186 ± 0.026	1.950 ± 0.566	Высокая / High
Осень (сент) / Autumn (September)	3	0.302 ± 0.035	1.100 ± 0.231	Средняя / Average

*Значения представлены как среднее $\pm$ стандартная ошибка (SE). Значения нормированы относительно максимального индекса за период.

*The values are presented as mean $\pm$ standard error (SE). Values are normalized relative to the maximum index over the period.

Анализ индекса устойчивости выявил четкую сезонную дифференциацию. Осенние пастбища демонстрируют наибольшую устойчивость (0,302), что в 2,2 раза превышает показатели летнего сезона (0,139) и в 2,1 раза – весеннего (0,144). Высокая осенняя устойчивость объясняется благоприятными температурными условиями и осадками в этот период, способствующими быстрому восстановлению растительности.

Низкие значения индекса устойчивости весенних и летних пастбищ (0,107 и 0,195 соответственно) указывают на их повышенную уязвимость и необходимость специальных защитных мероприятий. В то время как осенние пастбища демонстрируют более высокую устойчивость (2,77).

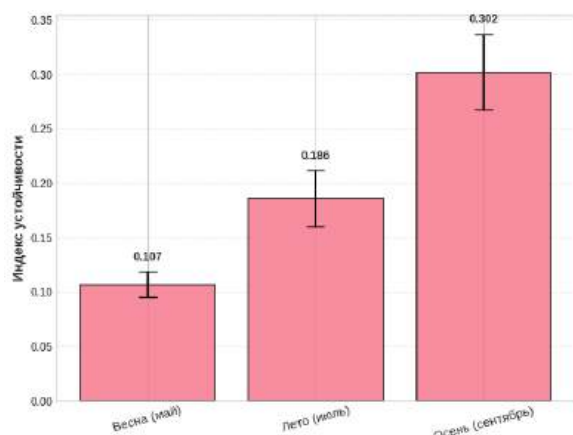


Рисунок 3 – Индекс устойчивости по сезонам
Figure 3 – Resilience index by seasons

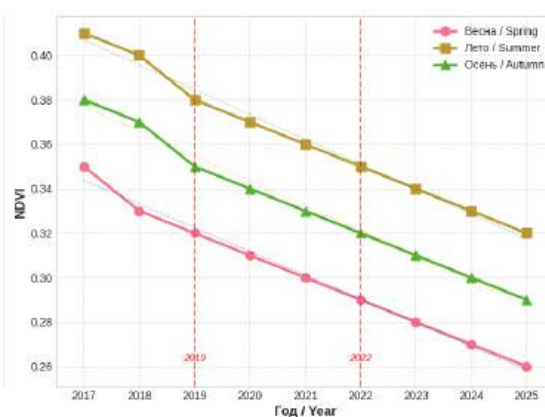


Рисунок 4 – Динамика NDVI по сезонам
Figure 4 – NDVI dynamics by season

На графике четко видны периоды экстремальных засух 2019 и 2022 годов, когда значения NDVI опускались ниже 0,20. Наиболее значительное снижение наблюдается в летний период – с 0,41 в 2017 году до 0,36 в 2025 году (снижение на 12,2 %). Тренд-анализ выявил статистически значимое снижение среднего годового NDVI на 0,015 единиц в год ($R^2 = 0,76$, $p < 0,01$), что свидетельствует о прогрессирующей деградации пастбищных экосистем [10,15].

Таблица 3 – Сравнительная устойчивость пастбищ по типам почв
Table 3 – Comparative stability of pastures by soil types

Тип почв / Soil type	Площадь, тыс. га / Area, thousand hectares	Доля от общей площади / Share of total area	Индекс устойчивости* / Sustainability Index	Время восстановления, сезоны / Recovery time, seasons	Уровень уязвимости / Vulnerability level
Светло-каштановые / Light brown	987,4	42,9 %	1,00 ± 0,20	1,2 ± 0,3	Низкий / Low
Каштановые / Chestnut	786,6	34,2 %	0,47 ± 0,09	2,1 ± 0,6	Средний / Medium
Бурые / Brown	526,0	22,9 %	0,25 ± 0,05	3,4 ± 1,1	Высокий / High

* Значения нормированы относительно максимального индекса (светло-каштановые почвы).

* Values are normalized relative to the maximum index (light brown soils).

Статистически значимое улучшение по сравнению с SARIMA ($p < 0,05$). Пастбища на каштановых почвах демонстрируют на 34,2 % более низкие темпы восстановления по сравнению со светло-каштановыми почвами (таблица 3).

На основе комплексного анализа индекса устойчивости была разработана и валидирована трехуровневая классификация уязвимости пастбищ, точность которой составила 89,2 % (каппа = 0,84). Это позволило выделить 412 тыс. га (17,9 %) как критически уязвимые территории.

Многолетняя динамика и прогноз продуктивности. Для прогнозирования динамики продуктивности использовались модели SARIMA и гибридная модель RLCN-BiLSTM (таблица 4). Модель RLCN-BiLSTM показала статистически значимое улучшение точности по сравнению с SARIMA. Прогнозируется дальнейшее снижение значений NDVI, особенно в летний и осенний периоды, что согласуется с выявленным общим трендом деградации.

Таблица 4 – Сравнительная точность прогнозных моделей
Table 4 – Comparative accuracy of predictive models

Модель / Model	MAPE (%)	RMSE	MAE	R ²	Время обучения (мин) / Training time (min)
SARIMA	15,7 ± 2,1	0,052 ± 0,008	0,041 ± 0,006	0,789 ± 0,045	3,2 ± 0,5
RLCN-BiLSTM	12,3 ± 1,8*	0,041 ± 0,005*	0,032 ± 0,004*	0,847 ± 0,032*	28,5 ± 3,2
Линейная регрессия / Linear regression	21,4 ± 3,2	0,068 ± 0,012	0,055 ± 0,009	0,652 ± 0,067	0,8 ± 0,2

* Статистически значимое улучшение по сравнению с SARIMA (p < 0,05)
* Statistically significant improvement compared to SARIMA (p < 0.05)

Модель SARIMA (Seasonal AutoRegressive Integrated Moving Average) была выбрана в связи с ее способностью учитывать как сезонные колебания, так и тренды во временных рядах NDVI. Прогноз основан на анализе многолетней динамики NDVI для пастбищных угодий общей площадью 2,3 млн га. Валидация модели на тестовом периоде (2023-2024 гг.) показала точность прогнозирования динамики NDVI на уровне 84,7 %. Многолетняя динамика NDVI демонстрирует выраженные сезонные циклы с характерными пиками в летний период и минимумами в весенний. Тренд-анализ выявил статистически значимое снижение среднего годового NDVI на 0,015 единиц в год ($R^2 = 0,76$, $p < 0,01$), что свидетельствует о прогрессирующей деградации пастбищных экосистем.

На основе модели RLCN-BiLSTM был выполнен прогноз продуктивности пастбищ на 2026 год (Таблица 5). Прогнозируется дальнейшее снижение значений NDVI, особенно в летний и осенний периоды.

Таблица 5 – Прогноз продуктивности пастбищ на 2026 год
Table 5 – Pasture productivity forecast for 2026

Период / Period	Средний NDVI (RLCN-BiLSTM) / Average NDVI (RLCN-BiLSTM)	Средний NDVI (SARIMA) / Average NDVI (SARIMA)	Доверительный интервал / Confidence interval
2026 – Весна (май) / 2026 – Spring (May)	0,351 ± 0,025	0,341 ± 0,030	[0,301-0,401]
2026 – Лето (июль) / 2026 – Summer (July)	0,245 ± 0,020	0,235 ± 0,025	[0,205-0,285]
2026 – Осень (сентябрь) / 2026 – Autumn (September)	0,242 ± 0,022	0,232 ± 0,024	[0,198-0,286]

Примечание: Прогноз основан на анализе многолетней динамики NDVI для пастбищных угодий общей площадью 2,3 млн га. Валидация модели на тестовом периоде (2023-2024 гг.) показала точность прогнозирования динамики NDVI на уровне 84,7 %).
Note: The forecast is based on an analysis of the long-term dynamics of NDVI for pasture lands with a total area of 2.3 million hectares. Validation of the model in the test period (2023-2024) showed the accuracy of forecasting NDVI dynamics at the level of 84.7 %).

Обсуждение. Результаты демонстрируют пространственную дифференциацию устойчивости в зависимости от типа почв: пастбища на каштановых почвах (34,2 % территории) демонстрируют на 30,4 % более низкие темпы восстановления по сравнению со светло-каштановыми почвами [17]. Критически уязвимые территории (17,9 %) требуют в 3,2 раза больше времени для восстановления после засух.

Прогноз дальнейшего снижения продуктивности согласуется с трендом деградации пастбищных экосистем и учащением экстремальных засух. На основе количественных оценок предложены дифференцированные меры управления, учитывающие уровень уязвимости пастбищ.

Анализ прогноза и долгосрочных трендов. Полученный прогноз на 2026 год, указывающий на дальнейшее снижение продуктивности, особенно в летний и осенний периоды, является прямым следствием выявленных в исследовании негативных тенденций.

Прогнозируемые значения NDVI согласуются с установленным статистически значимым трендом деградации (снижение на 0,015 единиц NDVI в год) и учащением экстремальных засух. Особую тревогу вызывает прогнозируемое падение продуктивности в летний период до 0,235, что приближается к пороговым значениям, характерным для выявленных экстремальных засух. Этот результат подчеркивает, что без целенаправленных адаптационных мер давление на пастбищные экосистемы будет нарастать, а периоды восстановления – удлиняться, что в конечном итоге может привести к необратимым изменениям на критически уязвимых территориях.

Практическая значимость и управленческие решения. На основе количественных оценок предложены дифференцированные меры управления.

Таблица 6 – Рекомендации по управлению в зависимости от уровня уязвимости
Table 6 – Management recommendations depending on the vulnerability level

Уровень уязвимости / Vulnerability level	Площадь, тыс. га / Area, thousand hectares	Рекомендуемые меры / Recommended measures	Эффективность мер / Effectiveness of measures
Высокая / High	412	Полное исключение выпаса на 2-3 сезона, подсев засухоустойчивых трав / Complete exclusion of grazing for 2-3 seasons, reseeding with drought-resistant grasses	Восстановление до 78,3 % от исходного уровня за 2,1 года / Recovery to 78.3 % of baseline in 2.1 years
Средняя / Average	1,076	Ротационное использование с коэффициентом нагрузки 0,6-0,8 / Rotary use with a load factor of 0.6-0.8	Снижение деградации на 42,5 % / 42.5% reduction in degradation
Низкая / Low	812	Стандартный режим выпаса с мониторингом / Standard grazing regime with monitoring	Поддержание устойчивости на уровне 85-90 % / Maintaining stability at 85-90 %

Проведенный анализ на основе данных 2017-2025 гг. позволил количественно оценить устойчивость пастбищных экосистем Республики Калмыкия к экстремальным засухам. Ключевые результаты раздела заключаются в следующем:

1. Выявлены критические периоды экстремальных засух (2019, 2022 гг.), характеризующиеся значительным падением вегетационной активности (NDVI до $0,19 \pm 0,03$).
2. Установлена значительная пространственная неоднородность восстановительной способности пастбищ, причем для большей части территории (65,3 %) характерно замедленное восстановление со средним временем $2,4 \pm 0,8$ сезона.
3. Доказано существенное влияние типа почв на устойчивость: пастбища на каштановых почвах демонстрируют на 30,4 % более низкие темпы восстановления по сравнению со светло-каштановыми.
4. Разработана и валидирована точная (89,2 %) классификация пастбищ по уровню уязвимости, позволившая выделить 412 тыс. га (17,9 %) критически уязвимых территорий.
5. На основе ретроспективного анализа выявлен устойчивый негативный тренд продуктивности, а с помощью прогнозного моделирования показана высокая вероятность дальнейшего снижения NDVI в 2026 году.

Полученные результаты создают надежную основу для перехода к разработке дифференцированных адаптационных мер, представленных в последующих разделах исследования и прогноз на 2026 год, указывающий на дальнейшее снижение продуктивности, особенно в летний и осенний периоды (Таблица 6), является прямым следствием выявленных в исследовании негативных тенденций. Прогнозируемые значения NDVI согласуются с установленным статистически значимым трендом деградации (снижение на 0,015 единиц NDVI в год) и учащением экстремальных засух. Особую тревогу вызывает прогнозируемое падение продуктивности в летний период до 0,235, что приближается к пороговым значениям, характерным для выявленных экстремальных засух. Этот результат подчеркивает, что без целенаправленных адаптационных мер давление на пастбищные экосистемы будет нарастать, а периоды восстановления – удлиняться, что в конечном итоге может привести к необратимым изменениям на критически уязвимых территориях.

Заключение. Предложенная методология и программная реализация обеспечивают универсальный инструмент для мониторинга и прогнозирования состояния пастбищных экосистем, который может быть адаптирован для работы с любыми регионами мира. Разработанная система оценки устойчивости пастбищ к экстремальным засухам обеспечивает:

1. Высокую точность мониторинга – 89,2 % ассурасу при классификации уязвимости;
2. Количественную диагностику – выявление 412 тыс. га (17,9 %) критически уязвимых территорий;
3. Дифференцированные решения – целевое управление для каждого из 3 уровней уязвимости;
4. Прогностический потенциал – возможность прогнозирования восстановительной динамики с точностью 84,7 %.

Результаты полезны для разработки стратегии устойчивого развития пастбищных ресурсов в Республике Калмыкия и аналогичных регионах.

Полученные результаты создают научную основу для перехода от реактивного к проактивному управлению пастбищными ресурсами, что способствует значительному экономическому эффекту за счет предотвращения деградации. Хотя использованные методы надежны, их применение ограничено рамками удаленного зондирования и возможно недооценка локальных факторов.

Conclusion. The proposed methodology and software implementation provide a universal tool for monitoring and forecasting the state of pasture ecosystems, adaptable to any region of the world. The developed system for assessing pasture resilience to extreme droughts ensures:

1. High monitoring accuracy – 89.2 % accuracy in vulnerability classification;
2. Quantitative diagnostics – identification of 412,000 hectares (17.9 %) of critically vulnerable areas;
3. Differentiated decisions – targeted management for each of the three vulnerability levels;
4. Predictive potential – the ability to predict recovery dynamics with 84.7 % accuracy.

The results are useful for developing a strategy for the sustainable development of pasture resources in the Republic of Kalmykia and similar regions.

These findings provide a scientific basis for the transition from reactive to proactive pasture resource management, which contributes to significant economic benefits by preventing degradation. Although the methods used are reliable, their application is limited to remote sensing applications and may underestimate local factors.

Библиографический список

1. Petrov K. M., Sokolova L. A., Kuzmina I. A., Ivanov D. A. Assessment of desertification processes in the Republic of Kalmykia using remote sensing data. *Environmental Research Letters*. 2016. V. 11. No 11. P. 114018.
2. ESA. Sentinel-2 User Handbook. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi>
3. Уифтер Т. Т., Разумный Ю. Н., Лобанов В. К. Глубокое трансферное обучение на основе спутниковых изображений для классификации землепользования и земного покрова // Информатика и автоматизация. 2022. № 21 (5). С. 963-982.
4. Addabbo P., et al. Contribution of Sentinel-2 data for applications in vegetation monitoring. *ACTA IMEKO*. 2016. V. 5. Pp. 44-54.
5. Tucker C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*. 1979. V. 8. No 2. Pp. 127-150.
6. Drusch M., et al. Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment*. 2012. V. 120. Pp. 25-36.
7. Scheffer M., Carpenter S., Foley J. A., Folke C., Walker B. Catastrophic shifts in ecosystems // *Nature*. 2001. Vol. 413. No 6856. Pp. 591-596.
8. Ingrisch J., Bahn M. Towards a comparable quantification of resilience. *Trends in Ecology & Evolution*. 2018. V. 33. No 4. Pp. 251-259.
9. Гунин П. Д., Данжалова Е. В., Востокова Е. А., Лыков В. Н. Современные тенденции опустынивания на юге России. Аридные экосистемы. 2019. Т. 9. № 3. С. 145-152.
10. Rüdisser J., et al. The dark side of biodiversity. Spatial application of the biological soil quality indicator (BSQ). *Ecol*. 2015. No 53. Pp. 240-246.
11. Wulder M. A., et al. Current status of Landsat program, science, and applications. *Remote Sensing of Environment*. 2022. V. 275. P. 113046.
12. Горяев В. М., Мацаков Б. В. Исследование эффективности моделей нейросети LRCN+LSTM в задачах распознавания насилия на видео. Современные наукоемкие технологии. 2024. № 12. С. 17-24. <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=40239>
13. Srivastava N., Hinton G., Krizhevsky A., Sutskever I., Salakhutdinov R. Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from Overfitting // *Journal of Machine Learning Research*. 2014. Vol. 15. No 1. Pp. 1929-1958.
14. Ivits E., et al. Drought monitoring with the Combined Drought Indicator in South-Eastern Europe. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2014. V. 14. No 5. Pp. 1261-1275.
15. Vicente-Serrano S.M., Beguería S., López-Moreno J.I. A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*. 2010. V. 23. No 7. Pp. 1696-1718.

16. Рысалиева Л. С., Сальников В. Г. Исследование атмосферной засухи в Центральной Азии. 2021. № 257. С. 67-78.

17. Лебедев А. Т., Эвиев В. А., Серегин А. А., Лебедев П. А., Абушинов О. А., Мучаев А. Б., Васькиев О. Д. Динамика изменения свойств семенного вороха прутняка простертого. Известия НВ АУК. 2025. № 3 (81). С. 436-448.

References

1. Petrov K. M., Sokolova L. A., Kuzmina I. A., Ivanov D. A. Assessment of desertification processes in the Republic of Kalmykia using remote sensing data. *Environmental Research Letters*. 2016. V. 11. No 11. P. 114018.
2. ESA. Sentinel Online. Sentinel-2. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>
3. Uifter T. T., Razumny Yu. N., Lobanov V. K. Deep Transfer Learning Based on Satellite Images for Classification of Land Use and Land Cover. *Informatics and Automation*. 2022. No. 21 (5). Pp. 963-982.
4. Addabbo P., et al. Contribution of Sentinel-2 data for applications in vegetation monitoring. *ACTA IMEKO*. 2016. V. 5. Pp. 44-54.
5. Tucker C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*. 1979. V. 8. No 2. Pp.127-150.
6. Drusch M., et al. Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment*. 2012. V. 120. Pp. 25-36.
7. Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J. A., Folke, C., & Walker, B. (2001). Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*, 413(6856), 591-596.
8. Ingrisch J., Bahn M. Towards a comparable quantification of resilience. *Trends in Ecology & Evolution*. 2018. V. 33. No 4. Pp. 251-259.
9. Gunin P. D., Danzhalova E. V., Vostokova E. A., Lykosov V. N. Current trends of desertification in the south of Russia. *Arid ecosystems*. 2019. V. 9. No 3. Pp. 145-152.
10. Rüdiger J., et al. The dark side of biodiversity. Spatial application of the biological soil quality indicator (BSQ). *Ecol*. 2015. No 53. Pp. 240-246.
11. Wulder M.A., et al. Current status of Landsat program, science, and applications. *Remote Sensing of Environment*. 2022. V. 275. P. 113046.
12. Goryaev V.M., Matsakov B.V. Investigation of the effectiveness of the LRCN+LSTM neural network models in video violence recognition tasks. *Modern high-tech technologies*. 2024. No 12. Pp. 17-24.
13. Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Salakhutdinov, R. (2014). Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from Overfitting. *Journal of Machine Learning Research*, 15(1), 1929-1958.
14. Ivits E., et al. Drought monitoring with the Combined Drought Indicator in South-Eastern Europe. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2014. V. 14. No 5. Pp. 1261-1275.
15. Vicente-Serrano S. M., Beguería S., López-Moreno J. I. A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*. 2010. V. 23. No 7. Pp.1696-1718.
16. Rysaliev L. S., Salnikov V. G. Atmospheric drought study in Central Asia. 2021. No. 257. Pp. 67-78.
17. Lebedev A. T., Eviev V. A., Seregin A. A., Lebedev P. A., Abushinov O. A., Muchaev A. B., Vaskiev O. D. Dynamics of changes in the properties of the seed mass of the Kochia prostrata. *Proc. of the Low-er Volga Agro-University Comp*. 2025. No 3 (81). Pp. 436-448.

Информация об авторах

Горяев Владимир Михайлович, кандидат педагогических наук, заведующий кафедрой, АНО ВО Информационно-технологического университета (Российская Федерация, 358016, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. им Н. С. Хрущева, 21), ORCID 0000-0003-0545-9091, e-mail: goryaevff@yandex.ru

Эвиев Валерий Андреевич, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0329-2013>, e-mail: aviev@yandex.ru

Лебедев Анатолий Тимофеевич, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), e-mail: lebedev.1962@mail.ru

Маштыков Санал Степанович, кандидат биологических наук, доцент кафедры ветеринарной медицины, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4418-7722>, e-mail: sanal2004@list.ru

Бадрудинова Амина Нажмудиновна, кандидат технических наук, доцент кафедры ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), ORCID: 0000-0002-5006-3574, e-mail: amina08-80@mail.ru

Фомин Сергей Денисович, доктор технических наук, профессор, заведующий Центром наукометрического анализа и международных систем индексирования, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

Authors' Information

Goryaev Vladimir Mikhailovich, Candidate of Pedagogical Sciences, Head of the Department, Autonomous Educational Institution of Higher Education of the Information Technology University (Russian Federation, 358016, Republic of Kalmykia, Elista, N. S. Khrushchev Street, 21), ORCID 0000-0003-0545-9091, e-mail: goryaevff@yandex.ru

Eviev Valery Andreevich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department, B. B. Gorodovikov Kalmyk State University (Russian Federation, 358000, Republic of Kalmykia, Elista, Pushkin str., 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0329-2013>, e-mail: aviev@yandex.ru

Lebedev Anatoly Timofeevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Chief Research Scientist, B. B. Gorodovikov Kalmyk State University (Russian Federation, 358000, Republic of Kalmykia, Elista, Pushkin str., 11), e-mail: lebedev.1962@mail.ru

Mashtykov Sanal Stepanovich, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department, B. B. Gorodovikov Kalmyk State University (Russian Federation, 358000, Republic of Kalmykia, Elista, Pushkin str., 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4418-7722>, e-mail: sanal2004@list.ru

Badrudinova Amina Nazhmudinovna, Candidate of Engineering Sciences, B. B. Gorodovikov Kalmyk State University (Russian Federation, 358000, Republic of Kalmykia, Elista, Pushkin str., 11), ORCID: 0000-0002-5006-3574, e-mail: amina08-80@mail.ru
Fomin Sergey Denisovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Center for International Indexing Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskii Ave., 26), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7910-9284, e-mail: fsd_58@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-64

THE ANALYSIS OF THE FACTORS INFLUENCING THE SPARE PARTS CONSUMPTION

¹Kartashov A. A., ²Uspensky I. A., ²Yukhin I. A., ²Byshov D. N., ²Anikin N. V.,
²Astakhov P. A.

¹*Penza State University of Architecture and Construction
 Penza, Russian Federation*

²*Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev
 Ryazan, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: kutyraev@bk.ru

Received 11.12.2025

Submitted 02.02.2026

Abstract

Introduction. This article examines factors influencing spare parts consumption for transport and transport-technological machinery and equipment. Analyzing these factors, which influence spare parts consumption for mobile equipment, is a pressing issue in maintaining vehicle performance. Between spare parts manufacturers and consumers lies the modern manufacturing industry, which involves the delivery, storage, distribution, and sales (including sales) of spare parts, as well as determining their demand. **Object.** The object of the study is the process of formation and optimization of the range of spare parts in warehouses of service stations (SS) of transport and transport-technological machines and equipment. **Materials and methods.** For the experimental verification of spare parts consumption, a statistical research method was used under service station operating conditions and data from diagnostic checks of vehicles during maintenance and repair. **Results and conclusions.** The range of spare parts stored at service stations should be as broad as possible to meet the demand for various parts. Refusing a customer's request for a particular service due to the lack of the required part in stock creates certain inconveniences, while the service station loses customers and is unable to perform a certain volume of services. On the other hand, this range should be relatively limited due to the limited working capital and warehouse space available at service stations. Based on vehicle operating requirements, the types of work performed, and the operating conditions of service stations, the recommended range of spare parts for universal service station warehouses is divided into three groups based on their functional purpose.

Keywords: spare parts, spare parts consumption factors, logistics systems.

Citation. Kartashov A. A., Uspensky I. A., Yukhin I. A., Byshov D. N., Anikin N. V., Astakhov P. A. The analysis of the factors influencing the spare parts consumption. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 618-625 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-64.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 656.065.2:629.3.083

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ НА РАСХОД ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ

¹Карташов А. А., кандидат технических наук, доцент
²Успенский И. А., доктор технических наук, профессор
²Юхин И. А., доктор технических наук, профессор
²Бышов Д. Н., доктор технических наук, доцент
²Аникин Н. В., кандидат технических наук, доцент
²Астахов П. А., студент

¹*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
 г. Пенза, Российская Федерация*

²*Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева,
 г. Рязань, Российская Федерация*

Актуальность. В статье рассмотрены факторы влияния на расход запасных частей для транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования. Актуальной задачей в деле поддержания работоспособности автомобилей, является анализ факторов, влияющих на расход запасных частей для мобильной техники. Между производителями запасных частей и потребителями

лежит сфера современного производства, связанная с доставкой, хранением, распределением и сбытом (в том числе продаж) запасных частей, а также с определением потребности в них. **Объект.** Объектом исследования является процесс формирования и оптимизации номенклатуры запасных частей на складах станций технического обслуживания (СТО) транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования. **Материалы и методы.** Для экспериментальной проверки расхода запасных частей был использован метод статистического исследования в условиях работы СТО и данные диагностических проверок автомобилей в процессе проведения ТО и ТР. **Результаты и выводы.** Номенклатура запасных частей, хранимых на СТО, с одной стороны, должна быть по возможности обширной с тем, чтобы удовлетворить потребности в различных деталях, так как отказ заказчику в проведении тех или иных работ из-за отсутствия на складе деталей нужного наименования создает ему определенные неудобства, а СТО при этом теряет заказчика и не может выполнить определенный объем услуг. С другой стороны, эта номенклатура должна быть относительно небольшой, что связано с ограниченностью норматива оборотных средств СТО и складских площадей. Исходя из требований эксплуатации автомобилей, видов выполняемых работ и условий работы СТО для складов универсальных станций технического обслуживания рекомендуемая для хранения номенклатура запасных частей по их функциональному назначению распределяется по трем группам.

Ключевые слова: запасные части, факторы расхода запчастей, системы материально-технического снабжения.

Цитирование. Карташов А. А., Успенский И. А., Юхин И. А., Бышов Д. Н., Аникин Н. В., Астахов П. А. Анализ факторов влияния на расход запасных частей. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 618-625. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-64.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Функциональность и надежность автомобиля, его агрегатов, узлов и отдельных компонентов определяются широким диапазоном факторов, включая физико-механические свойства и конструктивные особенности деталей. Эффективность и состояние [9,10] транспортного средства оцениваются на основе рабочих характеристик, подтверждаемых контрольно-диагностическими процедурами [1, 3, 4, 5]. Неисправность или дефекты в автомобиле, его узлах и компонентах могут быть вызваны несоответствием техническим нормам и стандартам [7], что приводит к поломкам и снижению работоспособности транспортного средства. Переход компонентов автомобильных конструкций из одного состояния в другое, связан с влиянием ряда постоянных и временных факторов. Неполадки агрегатов и компонентов возникают под воздействием внешних условий эксплуатации, которые взаимодействуют с внутренними характеристиками конструкции. В процессе планирования закупок автозапчастей для сервисных станций необходимо учитывать не только эксплуатационные особенности транспортных средств и степень надежности автомобильных систем, но и производственный потенциал самой станции, включая количество обслуживающих постов и планируемые объемы работ по техническому обслуживанию и ремонту [2]. Кроме того, следует принимать во внимание особенности сервисных условий и то, что процедуры ТО и ремонта предполагают сохранение идентификации восстановленных деталей с конкретным автомобилем, что также влияет на выбор и планирование запасных частей.

Материалы и методы. Исследование функционирования сервисных центров автомобильного типа выявило шесть критических категорий факторов в их рабочих процессах: производственные, технологические, материальные, трудовые, финансовые, и информационные. Производственные факторы включают транспортные средства, нуждающиеся в техническом обслуживании [6], которые в свою очередь задают требования для трудовых ресурсов, запасных частей, материалов, помещений и технического оснащения. Технологическая составляющая охватывает рабочее оборудование, инструменты и производственные ареалы. Материальные аспекты включают запасные части, топливо, смазочные материалы и прочее. Трудовые факторы включают рабочую силу, направленную на обслуживание и ремонт автотранспорта. Финансовые ресурсы связаны с денежными оборотами, определяющими возможности для приобретения необходимых комплектующих и материалов, и также отражают возможности предприятия выполнять заказы. Информационные факторы представляют данные о текущем уровне и взаимодействии вышеуказанных факторов, способствуя эффективному управлению и принятию решений. Особо отмечается,

что запросы на запчасти в СТО существенно определяются производственными и информационными факторами, а также уровнем износа деталей. В то время как технологические, финансовые, трудовые и материальные факторы оказывают формализованное и равномерное влияние.

Современная методика [5] определения необходимого количества запасных частей базируется на анализе данных о расходе компонентов за прошлый временной интервал или на установленных стандартах потребления на каждые 100 транспортных средств в автопарке в течение года. Эти данные корректируются с учётом фактического годового пробега, различающегося в зависимости от того, эксплуатируются автомобили частными лицами или специализированными транспортными компаниями.

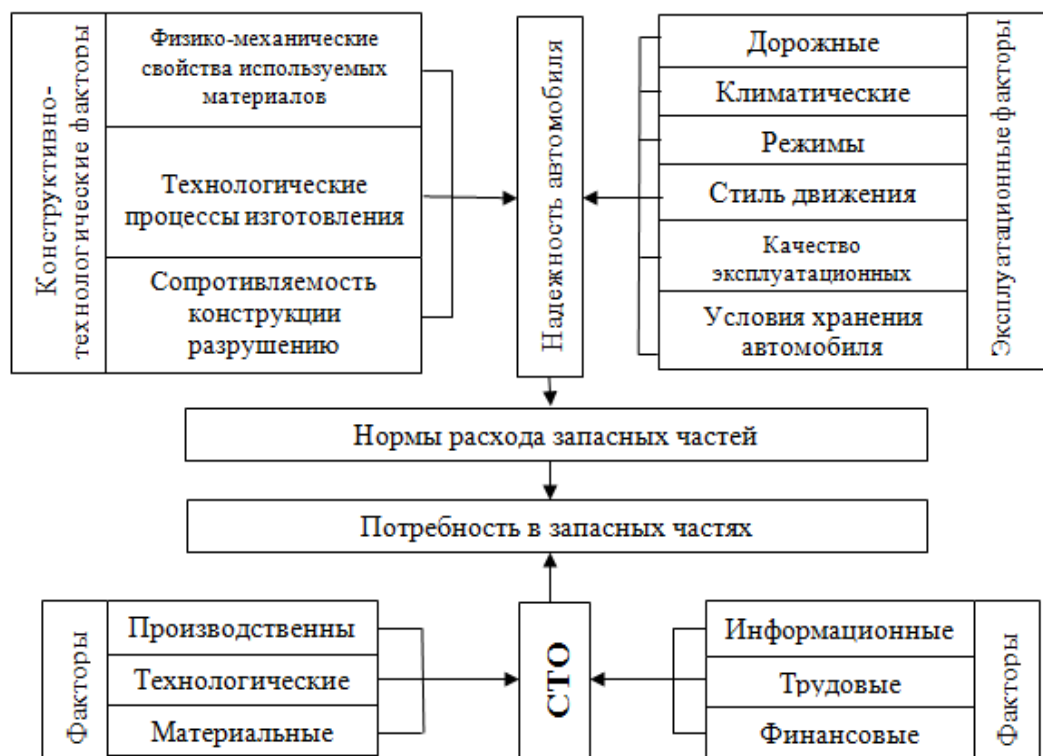


Рисунок 1 – Факторы, влияющие на потребность в автомобильных запчастях
Figure 1 – Factors influencing the demand for automotive spare parts

Результаты и обсуждение. Эффективное функционирование автомобильного парка требует значительных ресурсов: рабочей силы, финансов и автокомпонентов. В период СССР было создано «Руководство по организации работ на СТО» (РТМ 200-РСФСР-12-0115-80), предоставляющее методику расчета нужд в автозапчастях для СТО. Хотя производство запасных частей непрерывно увеличивается, все еще существует дефицит. Основная задача – это точное определение требований СТО к запасным частям, исходя из их производственных возможностей, спецификаций работ, а также учета надежности транспортных средств при их эксплуатации, для последующего целесообразного распределения необходимых запасных частей.

Процесс оптимизации запасов запчастей для обслуживания и ремонта транспортных средств задействует множество специалистов – от администрации сервисных центров до ответственных за производственные участки. Анализируя как национальные, так и международные методики определения потребностей в запчастях, можно заметить, что расчет нормативов зависит от долговечности компонентов, модулей, механизмов и режимов работы автомобилей.

Ресурсный потенциал автомобиля определяется числом необходимых запасных деталей для обслуживания 100 единиц техники. Эта регламентированная потребность в комплектующих устанавливается производителем и регистрируется в номенклатурном перечне для закупки компонентов.

Компоненты, производимые в соответствии с утвержденным стандартом потребления, распределяются через разнообразные дистрибутивные сети. Потребление деталей на автосервисных станциях часто не соответствует нормам из-за воздействия факторов, связанных с производственными процессами, технологическими изменениями, уровнем информационного обеспечения и спецификой работы станции.

Потребление запасных частей на автосервисных станциях коррелирует с объемом технического обслуживания и ремонтных работ. Эффективность работы каждой мастерской напрямую зависит от умения адекватно оценить необходимые объемы запчастей для операций по обслуживанию и ремонту автомобилей. Важно учитывать такие параметры, как пропускная способность рабочих станций, статистические данные о расходе деталей на стандартные операции и спецификации обслуживаемых моделей транспортных средств. Методика расчета потребности в запасных частях базируется на формуле $Q = AK$, где Q – необходимое количество запасных частей, A – количество автомобилей, обслуживаемых на станции, и K – средняя потребность в запчастях на одно ТС.

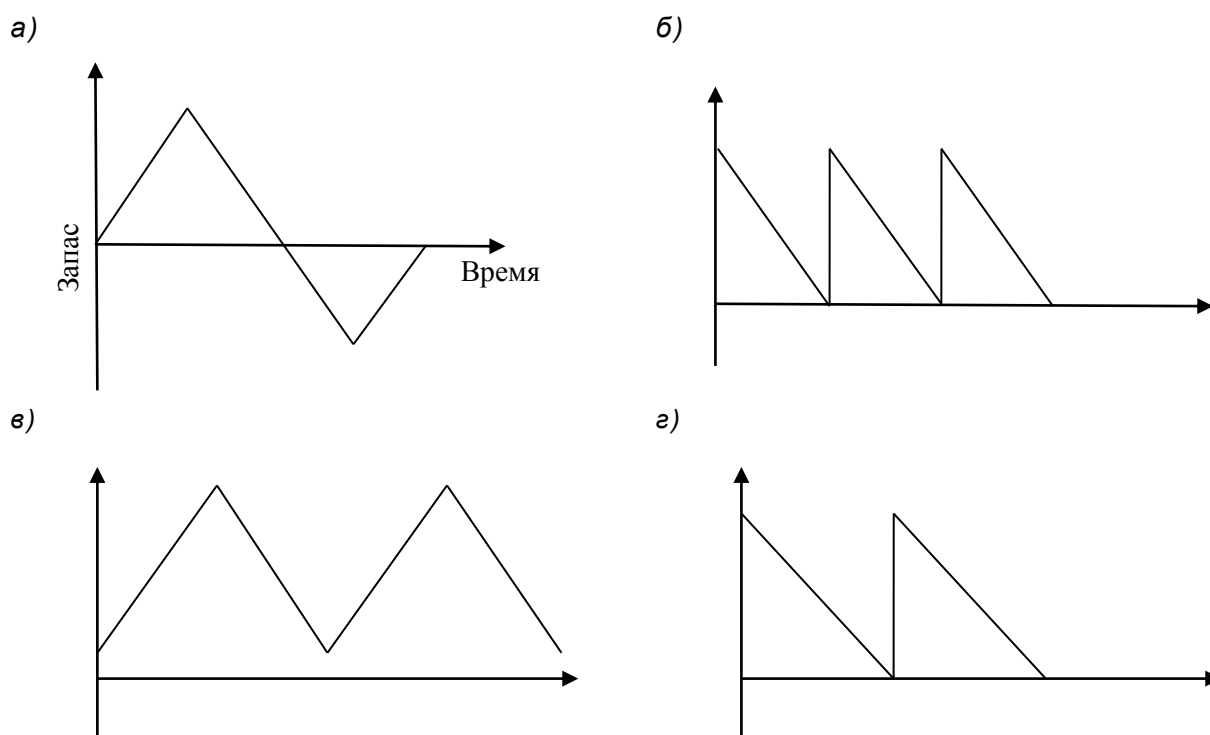


Рисунок 2 – Изменение запасов

а – постепенное изменение; б – мгновенная поставка запчастей; в – дефицит запчастей отсутствует; г – дефицит исключен, заказы выполняются своевременно

Figure 2 – Inventory Changes

a – gradual change; b – immediate delivery of spare parts; c – no spare parts shortage; d – no shortage, orders are fulfilled on time

Различают три вида удельных потребностей в запасных частях: нормативную, фактическую и планируемую. Термин «фактическая удельная потребность», обозначаемый как K_{ϕ} , описывает соотношение между количеством запасных частей Q_{ϕ} , которое было получено в результате выполнения заказов и нарядов, к общему числу обслуженных транспортных средств A_{ϕ} , выражается как:

$$K_n = Q_n / A_n ; \quad K_{\phi} = Q_{\phi} / A_{\phi}$$

Нормативная и фактическая удельные потребности могут отличаться на некоторую величину, обусловленную условиями эксплуатации автомобилей и производства запасных частей.

В качестве примера можно показать порядок определения потребности в ШРУСах для конкретной СТО в планируемом году по данным предыдущего года. Приняв установленную норму расхода 10 ШРУСов на 100 автомобилей и фактический расход 120 ШРУСов на 600 автомобилей в прошлом году и, подставив эти значения, получим:

$$K_n = 10/100 = 0,1; \quad K_{\phi} = 120/600 = 0,2.$$

Анализ соотношения действительного потребления запасных частей к предписанным нормам выявляет эффективность их применения на сервисных станциях. Это соотношение, известное как коэффициент использования запасных частей η , определяется делением реального потребления на нормативное значение. В приведённом примере коэффициент равен $\eta = 0,2/0,1 = 2$. При значениях η меньше единицы фиксируется сокращение избыточных запасов, тогда как при η больше единицы снижается риск нехватки запасных частей.

Для эффективной эксплуатации оборудования в автосервисах, а также для точной оценки потребностей в запасных частях, важно определить диапазон коэффициента использования запасов в соответствии с возможностями обслуживания рабочих станций. Текущий уровень оборотных активов в сервисных центрах обычно составляет примерно 25 % от годового оборота запасных частей. Следовательно, показатели коэффициента использования запасных частей обычно колеблются в пределах 0,75 до 1,25.

Таким образом, использование коэффициента эффективности запасных частей в аналитических моделях позволяет адекватно оценить их необходимое наличие, опираясь на текущее состояние запасов (избыток или недостаток комплектующих на складе). Это способствует оптимизации управления запасами на автосервисных предприятиях.

Коэффициент η может колебаться от значений ниже 0,75 до более чем 1,25. Исследования показывают, что при значении η не превышающем 3, сокращение запланированных ресурсов на запасные части не рекомендуется, чтобы избежать риска недостатка на сервисных станциях. При высоком реальном расходе следует проанализировать ассортимент однотипных запасных частей с разной комплектацией, выяснить причины повышенной потребности и, основываясь на этих данных, скорректировать требуемый объем запасов, учитывая производственные возможности обслуживающей зоны. Коэффициент η возможно удерживать на прежнем уровне или даже увеличить для компонентов низкой и средней ценовой категории с целью уменьшения использования дорогостоящих деталей и агрегатов.

Выявлено, что повышение использования специфических компонентов автомобиля (например, полуоси, редуктора, сальников) приводит к сокращению потребности в более крупных сборочных единицах, таких как полный задний мост. При коэффициенте эффективности запасных частей $\eta = 0,75$, запас можно держать на стабильном уровне или даже исключить из плана закупок. Однако для менее используемых деталей допускается увеличение запаса в рамках коэффициентов от 0,75 до 1,25. После анализа различных стратегий управления запасами при техническом обслуживании и ремонтных работах определяется плановый коэффициент эффективности $\eta_{\text{п}}$. В данном случае, если применить коэффициент $\eta_{\text{п}}$ равный 2, то план потребности в запасных частях $K_{\text{п}}$ рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{\text{п}} = K_n \cdot \eta_{\text{п}} = 0,1 \cdot 2 = 0,2.$$

Планирование числа автомобилей для обслуживания основывается на производственных возможностях автосервиса и пропускной способности рабочих зон. Для оптимизации работы СТО, учитывают потребность в комплектующих: либо ориентируются на выполнение большого объема работ с низкой сложностью, требующих минимального вмешательства, либо на обслуживание меньшего количества автомобилей с проведением комплексных и высокотрудоемких ремонтных работ. Количество обслуживаемых автомобилей корректируется на основе предыдущих достижений сервиса или прогнозируемого увеличения спроса. Финальное число транспортных средств уточняется в контексте развития сервиса и внедрения новых услуг, синхронизируя это с объемом необходимых запасных частей.

При расчёте потребностей в запасных частях ключевым аспектом является обеспечение их доступности на сервисной станции, что характеризуется уровнем вероятности их наличия, обозначаемым как α . Данный уровень представлен через индекс доступности запасных частей U_{α} или эквивалентно через квантиль нормального распределения (таблица 1). Следовательно, объем требуемых запасных частей будет определяться на основе этих показателей.

$$Q = A_{\text{п}} \cdot K_{\text{п}} + U_{\alpha} \cdot \sqrt{A_{\text{п}} \cdot K_{\text{п}}}$$

Распределение запросов на запасные части заметно варьируется в зависимости от их стоимости, причем основная масса заказов приходится на элементы с относительно низкой ценой. Это обуславливает необходимость количественного анализа расходования запасных частей с учетом стоимости каждого элемента и частоты их замены за определенный эксплуатационный период. После анализа статистических данных были идентифицированы три основные категории запасных частей. Первая категория охватывает наиболее востребованные элементы (80 %), вторая категория – детали с долей спроса от 15 до 18 %, и третья категория – элементы, спрос на которые составляет от 2 до 5 %. Вероятность того, что запасные части будут в наличии для каждой категории, представлена в таблице 1.

Из анализа данного примера ясно, что когда речь заходит о категоризации вероятности обнаружения ШРУСов, они квалифицируются как принадлежащие ко второй категории риска. Следовательно, устанавливаем уровень значимости $\alpha = 0,7$ и соответствующий квантиль распределения $U_\alpha = 0,5244$. Это позволяет точно определить потребности в шарнирах равных угловых скоростей (ШРУСах) для автосервиса, особенно учитывая запланированное на 10 % увеличение объема работ на следующий год.

$$Q = (600 \cdot 1,1 \cdot 0,2) + 0,5244 \cdot \sqrt{600 \cdot 1,1 \cdot 0,2} = 138 \text{ шт.}$$

Таблица 1 – Коэффициенты гарантированного наличия запасных частей U_α на СТО в зависимости от уровня вероятности

Table 1 – Coefficients of guaranteed availability of spare parts U_α at service stations depending on the probability level

α	U_α	α	U_α
0,50	0,0000	0,95	1,6450
0,55	0,1275	0,970	1,881
0,60	0,2533	0,975	1,960
0,65	0,3853	0,990	2,326
0,70	0,5244	0,995	2,576
0,75	0,6745	0,997	2,748
0,80	0,8416	0,999	3,090
0,85	1,0360	0,9995	3,290
0,90	1,2820		

Окончательно годовую потребность в запасных частях Q определяют в суммарном выражении.

Характерной особенностью метода расчета потребности в запасных частях для СТО является то, что он учитывает фактический расход запасных частей в зависимости от выполненных объемов реализации бытовых услуг за прошедший период. При оформлении заявки на запасные части учитываются и другие показатели, например, остаток запасных частей на складе, заявленное количество на текущий период и выделенные на них фонды, реализация и движение изделий по складу.

Заключение. Эффективное управление запасами на станциях технического обслуживания включает точное определение объема и ассортимента автомобильных запчастей. Ассортимент хранимых компонентов должен быть достаточно разнообразным, чтобы удовлетворять запросы на ремонт различных автомобилей, избегая ситуаций, когда необходимость отказа клиенту в услугах из-за недостатка определенных деталей приводит к потере клиента и снижению объема предоставляемых услуг. Однако, с учетом финансовых ограничений по оборотным средствам и ограниченности складской площади, ассортимент должен быть сбалансированно оптимизирован на необходимый минимум, чтобы управлять ресурсами без излишней нагрузки на хранение и финансы.

На автосервисных складах ассортимент запчастей, сформированный под влиянием различных факторов, не всегда соответствует оптимальным потребностям ремонтных работ. Не каждая деталь, присутствующая на складе, находится в постоянном спросе. Так, чаще всего спрос определяется популярностью конкретных наименований деталей. Хотя в теории при ремонте может понадобиться любая запасная часть, на практике постоянное наличие всех возможных компонентов на складе не является экономически целесообразным.

В соответствии с критериями использования автомобилей, спецификой работ и условиями деятельности автосервисов, для складов СТО рекомендуется классификация запасных частей по функциональной значимости на три категории. Первая категория включает компонен-

ты, необходимые для технического обслуживания (ТО) транспортных средств. Вторая категория ориентирована на технический ремонт (ТР) ключевых узлов и механизмов, критичных для безопасности движения, защиты экологии и снижения расхода топлива. Третья категория предназначена для технического ремонта автомобилей, исключая части, отнесенные ко второй группе.

Conclusion. Effective inventory management at service stations involves accurately determining the volume and range of automotive parts. The range of components stored must be sufficiently diverse to meet repair requests for various vehicles, avoiding situations where having to turn away a customer due to a shortage of certain parts leads to loss of business and a reduction in service volume. However, given financial constraints on working capital and limited warehouse space, the range must be balanced and optimized to the bare minimum to manage resources without placing undue strain on storage and finances.

In auto service station warehouses, the range of parts, influenced by various factors, does not always correspond to optimal repair needs. Not every part in stock is in constant demand. Demand is often determined by the popularity of specific parts. Although in theory any spare part may be needed for repairs, in practice, constantly having every possible component in stock is not cost-effective.

Based on vehicle usage criteria, specific work requirements, and service station operating conditions, it is recommended that service station warehouses classify spare parts into three categories based on their functional importance. The first category includes components necessary for vehicle maintenance. The second category focuses on the technical repair of key components and mechanisms critical to road safety, environmental protection, and fuel economy. The third category is intended for vehicle technical repair, excluding parts classified in the second category.

Библиографический список

1. Danilov I., Marusin A., Mikhlik M., Uspensky I. Development of the mathematical model of fuel equipment and justification for diagnosing diesel engines by injector needle displacement. *Transport Problems*. 2020. Vol. 15. No 1. Pp. 93-104.
2. Колотов А. С. и др. Эффективность телематики в технической эксплуатации автотранспорта. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2025. № 3 (81). С. 504-511.
3. Карташов А. А. и др. Диагностирование рулевого управления и подвески автомобилей в процессе эксплуатации. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева*. 2024. Т. 16. № 3. С. 134-140.
4. Успенский И. А. и др. Вероятностная модель прогнозирования износа тормозных колодок. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева*. 2021. Т. 13. № 3. С. 112-119.
5. Успенский И. А. и др. Учет запасных частей на складе дилерской СТО. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2025. № 2 (80). С. 390-402.
6. Юхин И. А. и др. Анализ и прогнозирование потребностей дилерской СТО в запасных частях. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2025. № 2 (80). С. 411-421.
7. Дидманидзе О. Н. и др. Техническое регулирование в области сельскохозяйственных самоходных машин с учетом переоснащения и внесения изменений в конструкцию. *Транспортное дело России*. 2024. № 2. С. 91-94.
8. Успенский И. А. и др. Определение удельного электрического сопротивления сдвига фрикционной накладки тормозной колодки относительно металлической пластины (корпуса). *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2020. № 3 (59). С. 395-405.
9. Simdiankin A., Byshov N., Uspensky I. A method of vehicle positioning using a non-satellite navigation system. *Transportation Research Procedia*. Saint Petersburg, 2018. V. 36. Pp. 732-740.
10. Simdyankin A., Uspensky I., Belyu L. Mechanism of improving safety of freight transportation by road with route optimization by organizing areas with increased freight tariffs. *Transportation Research Procedia*. Saint Petersburg, 2020. Pp. 662-673.

References

1. Danilov I., Marusin A., Mikhlik M., Uspensky I. Development of the mathematical model of fuel equipment and justification for diagnosing diesel engines by injector needle displacement. *Transport Problems*. 2020. Vol. 15. No 1. Pp. 93-104.
2. Kolotov A. S. et al. The effectiveness of telematics in the technical operation of vehicles. *Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education*. 2025. No 3 (81). Pp. 504-511.
3. Kartashov A. A. et al. Diagnostics of steering and suspension of vehicles during operation. *Bulletin of the Ryazan State Agro-technological University named after P. A. Kostychev*. 2024. Vol. 16. No 3. Pp. 134-140.
4. Uspensky I. A. et al. A probabilistic model for predicting brake pad wear. *Bulletin of the Ryazan State Agro-technological University named after P. A. Kostychev*. 2021. Vol. 13. No 3. Pp. 112-119.
5. Uspensky I. A. et al. Accounting of spare parts in the dealer service station warehouse. *Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education*. 2025. No 2 (80). Pp. 390-402.
6. Yukhin I. A. et al. Analysis and forecasting of dealer service station needs for spare parts. *Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education*. 2025. No 2 (80). Pp. 411-421.
7. Didmanidze O. N. et al. Technical regulation in the field of agricultural self-propelled machines, taking into account retrofitting and making changes to the design. *The transport business of Russia*. 2024. No 2. Pp. 91-94.

8. Uspensky I. A. et al. Determination of the electrical shear strength of the friction lining of the brake pad relative to the metal plate (housing). Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: science and higher professional education. 2020. No 3 (59). Pp. 395-405.

9. Simdiankin A., Byshov N., Uspensky I. A method of vehicle positioning using a non-satellite navigation system. Transportation Research Procedia. Saint Petersburg, 2018. V. 36. Pp. 732-740.

10. Simdyankin A., Uspensky I., Belyu L. Mechanism of improving safety of freight transportation by road with route optimization by organizing areas with increased freight tariffs. Transportation Research Procedia. Saint Petersburg, 2020. Pp. 662-673.

Информация об авторах

Карташов Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (Российская Федерация, 440028, г. Пенза, ул. Г. Титова, 28), e-mail: ak_29@mail.ru

Успенский Иван Алексеевич, доктор технических наук, заведующий кафедрой, ФГБНУ Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: ivan.uspensckij@yandex.ru

Юхин Иван Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБНУ Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: yuival@rambler.ru

Бышов Дмитрий Николаевич, доктор технических наук, доцент кафедры, ФГБНУ Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: university@rgatu.ru

Аникин Николай Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры, ФГБНУ Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: hay459@mail.ru

Астахов Павел Александрович, студент, ФГБНУ Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: yoshihamura@mail.ru

Authors' Information

Kartashov Aleksandr Aleksandrovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Penza State University of Architecture and Civil Engineering (Russian Federation, 440028, Penza, G. Titova str., 28), e-mail: ak_29@mail.ru

Uspensky Ivan Alekseevich, Doctor of Engineering Sciences, Head of the Department, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev str., 1), e-mail: ivan.uspensckij@yandex.ru

Yukhin Ivan Aleksandrovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev str., 1), e-mail: yuival@rambler.ru

Byshov Dmitry Nikolaevich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev str., 1), e-mail: university@rgatu.ru

Anikin Nikolai Viktorovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev str., 1), e-mail: hay459@mail.ru

Astakhov Pavel Aleksandrovich, Student, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev str., 1), E-mail: yoshihamura@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-65

THE WAYS TO ENSURE THE ELECTRICITY SUPPLY RELIABILITY TO THE RURAL CONSUMERS FROM THE ELECTRIC RAILWAY NETWORKS

^{1,2}Kirillov S. V., ^{3,4}Vinogradov A. V.

¹Michurinsk power supply division of the open joint-stock company "Russian Railways"

Michurinsk, Russian Federation

²Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russian Federation

³Federal Scientific Agroengineering Center VIM"

Moscow, Russian Federation

⁴Oryol State Agrarian University named after N. V. Parakhin

Moscow, Russian Federation

Corresponding author E-mail: kirill_mich@mail.ru

Received 14.10.2025

Submitted 08.01.2026

Summary

This article examines the specifics of power supply to agricultural consumers from railway power grids. The causes of power outages for these consumers are discussed. The research is based on the results of a literature review dedicated to finding relevant ways to improve power supply reliability, as well as an analysis of railway infrastructure work technology.

Abstract

Introduction. Demands for reliable power supply to rural consumers are increasing, as are the costs of power outages. This is due to the increasing range and power of equipment used by both rural residents and agricultural enterprises. Failure to meet power supply reliability requirements can also lead to the failure to fulfill various contractual obligations and have a significant impact on people's psychological and emotional well-being. **Object.** The object of the study is the power supply system for rural consumers connected

to the railway grid, which in turn is part of the electric railway infrastructure. **Materials and methods.** The study's materials include the results of a literature review devoted to finding relevant ways to improve the reliability of power supply, as well as the results of an analysis of the technology for performing work on railway infrastructure. **Results and conclusions.** The study identified the main causes of power outages for rural consumers supplied by railway grids. Methods for improving power supply reliability were classified. Among these, technical, organizational, and combined methods were identified and discussed, which could form the basis of a technological policy for improving the reliability of power supply to consumers.

Keywords: electricity supply to rural consumers, reliability of electricity supply, electric railways, power supply systems, railway infrastructure, ways to improve the reliability of electricity supply.

Citation. Kirillov S. V., Vinogradov A. V. The ways to ensure the electricity supply reliability to the rural consumers from the electric railway networks. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 625-636 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-65.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 621.311

СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

^{1,2}Кириллов С. В., кандидат технических наук

^{3,4}Виноградов А. В., доктор технических наук, доцент

¹Мичуринская дистанция электроснабжения открытого акционерного общества «РЖД»
г. Мичуринск, Российская Федерация

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Мичуринский государственный аграрный университет
г. Мичуринск, Российская Федерация

³Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»
г. Москва, Российская Федерация

⁴Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина
г. Москва, Российская Федерация

Актуальность. Требования к надёжности электроснабжения сельских потребителей растут, так как растут и ущербы при отключениях электроэнергии. Это связано с увеличением спектра и мощности оборудования, используемого как сельским населением, так и предприятиями АПК. Невыполнение требований надёжности электроснабжения могут также вызвать невыполнение различных договорных отношений, оказать значительное влияние на психологическое и эмоциональное состояние людей. **Объект.** Объектом исследования является система электроснабжения сельских потребителей, подключённых к электрическим сетям железных дорог, которая в свою очередь является частью инфраструктуры электрической железной дороги. **Материалы и методы.** Материалами исследования стали результаты литературного обзора, посвящённого поиску актуальных способов повышения надёжности электроснабжения, а также результаты анализа технологии производства работ на инфраструктуре железных дорог. **Результаты и выводы.** В результате исследования выявлены основные причины отключений электроснабжения сельских потребителей, питаемых от электрических сетей железных дорог. Классифицированы способы повышения надёжности электроснабжения. Среди них выделены и рассмотрены технические, организационные и комбинированные способы, которые могут стать основой технологической политики по повышению надёжности электроснабжения потребителей.

Ключевые слова: электроснабжение сельских потребителей, надёжность электроснабжения, электрические железные дороги, системы электроснабжения, инфраструктура железных дорог, способы повышения надёжности электроснабжения.

Цитирование. Кириллов С. В., Виноградов А. В. Способы обеспечения надёжности электроснабжения сельских потребителей от электрических сетей железных дорог. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 625-636. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-65.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. При проектировании и строительстве электрических железных дорог закладывались технические решения для обеспечения электрической энергией сторонних, нетяговых потребителей от системы электроснабжения железной дороги. К данным потребителям относятся и сельские, расположенные вблизи транспортной инфраструктуры, где отсутствует возможность подключения к районным и другим источникам электроснабжения [1, 2].

Линии электропередачи, расположенные вдоль железной дороги, и подключенные к центрам питания электрических железных дорог – тяговым подстанциям, относятся к железнодорожной инфраструктуре. Практически на всем протяжении электрических железных дорог переменного тока с номинальным напряжением 25 кВ имеются линии электропередачи системы «два дополнительных провода – рельс» (далее ДПР), которые служат для электроснабжения железнодорожных, а также сторонних, в том числе сельских, потребителей. Электроснабжение потребителей по системе ДПР имеет свои особенности [1]:

- линии электропередачи имеют двухстороннюю схему питания, с возможностью подачи напряжения в линию от одной из смежных питающих подстанций;

- потребители, подключенные к данным линиям, территориально расположены вдоль железнодорожной трассы, и распределительные электрические сети имеют незначительное развитие в стороны, перпендикулярные оси железной дороги;

- от общих шин РУ 25 кВ получают питание электроподвижной состав (ЭПС) и подстанции 25/0,4 кВ (ТП), питающие различных не железнодорожных, в т.ч. сельскохозяйственных потребителей;

- тяговый рельс является общим проводником фазы напряжения 25 кВ одновременно для тяговой сети, которая используется для питания ЭПС и для системы ДПР, которая используется для питания ТП 25/0,4 кВ;

- в случае производства работ на инфраструктуре железной дороги, из работы выводится отдельный участок инфраструктуры, в границах отдельной железнодорожной станции или перегона, по смежным участкам и соседнему пути движение поездов не прерывается;

- при производстве работ, связанных с разборкой рельсов, имеется возможность использования фаз «А» и «В» линии ВН напряжением 25 кВ (неполнофазный режим).

В связи с тем, что сельские потребители питаются от системы ДПР, то каждое обслуживание рельсового пути, а также другой инфраструктуры связано с отключениями потребителей. Имеется значительное количество жалоб и обращений потребителей из-за периодических отключений электрической энергии [1, 3].

Сельские электрические сети, питаемые от трансформаторных подстанций (ТП) 25/0,4 кВ системы ДПР имеют те же особенности, что и питаемые от районных распределительных сетей [4, 5, 6].

Требования к надёжности электроснабжения сельских потребителей растут, так как растут и их ущербы при отключениях электроэнергии. Это связано с увеличением спектра и мощности оборудования, используемого как сельским населением, так и предприятиями АПК. На предприятиях АПК широко используются современные энергозависимые устройства с электрическим питанием – системы отопления, кондиционирования, вентиляции, холодильные установки, ПЭВМ и другие устройства, обеспечивающие технологический процесс производства, хранения и переработки сельхозпродукции. В настоящее время широко распространено дистанционное образование и повышение квалификации, различные формы удалённой работы, которые подразумевают проведение on-line обучения, проверки знаний и тестирований, выполнение договорных обязательств. Данные формы образования и занятости обязывают выполнение определённых действий в заданное время. Невыполнение требований надёжности электроснабжения могут привести не только к материальному ущербу, но и вызвать невыполнение различных договорных отношений, оказать значительное влияние на психологическое и эмоциональное состояние людей.

Вопросам повышения надёжности электроснабжения сельских потребителей посвящено множество работ. Ряд высказанных в них идей и предложений могут быть основой способов и средств обеспечения надёжного электроснабжения сельских потребителей, питаемых от электрических сетей железных дорог. Обзор работ отечественных и зарубежных авторов позволил выделить следующие укрупнённые направления повышения надёжности электроснабжения сельских потребителей, в том числе питаемых от электрических сетей железных дорог.

Это мониторинг надёжности электроснабжения, в том числе с применением современных счетчиков, обеспечивающих как учёт электрической энергии с требуемым уровнем точности, так и регистрацию параметров, необходимых для оценки надёжности электроснабжения и показателей качества электроэнергии [7, 8].

Обеспечение полнофазной работы подстанции 25/0,4 кВ системы ДПР (при отключении третьей фазы – рельса) предлагается выполнять с подачей отсутствующей фазы различными способами, такими как строительство отдельной ЛЭП (для обхода места производства работ), использование земли в качестве проводника фазы питания, использование высоковольтных фазосдвигающих устройств [9, 10], а также нашло реализацию в полезных моделях (патент на полезную модель № 182064 U1 Российская Федерация, МПК H02J 9/06. Устройство симметрирования напряжения в трехпроводной высоковольтной сети: № 2018114246: заявл. 18.04.2018: опубл. 02.08.2018 / И. О. Ботев, Н. П. Кириллов, Ю. В. Маракулин [и др.]; заявитель Акционерное общество "Корпорация "Стратегические пункты управления" АО "Корпорация "СПУ-ЦКБ ТМ". – EDN CCYUIG; патент на полезную модель № 62302 U1 Российская Федерация, МПК H02J 9/06, H02M 5/14. Устройство для симметрирования неполнофазных режимов: № 2006144630/22: заявл. 15.12.2006: опубл. 27.03.2007 / Н. П. Кириллов, В. А. Смоляков, А. В. Катаржин, П. А. Дульнев; заявитель ОБЩЕВОЙСКОВАЯ АКАДЕМИЯ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ (ОА ВС РФ). – EDN QYDYSG).

Рассматривается обеспечение работы подстанций 25/0,4 кВ в неполнофазном режиме с формированием отсутствующей фазы со стороны низкого напряжения [11, 12, 13, 14].

Полезным может быть применение методов секционирования ЛЭП для уменьшения зоны отключения и минимизации числа отключаемых потребителей [15, 16].

Применение средств мобильной генерации – передвижных (на автомобильном и железнодорожном ходу) и переносных электростанций, для подачи электроэнергии непосредственно потребителям на время отключений электроэнергии от электрической сети железной дороги [17, 18, 19, 20, 21].

Могут также применяться энергетические платформы, использующие статические источники электрической энергии, такие как аккумуляторы, источники бесперебойного питания, термоэлектрогенераторы, а также сверхпроводниковые индуктивные (СПИН) и другие накопители энергии [22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29].

Разными авторами рассматривается применение альтернативных автономных источников питания – ветряных и солнечных электростанций, мини гидроэлектростанций, геотермальных источников электрической энергии, а также использующих биоэнергетику (производство энергии из биотоплива различных видов) [30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38].

Другие учёные предлагают изменение схемы питания и переподключение потребителей, попадающих в зону отключения, к другим линиям электрических сетей железных дорог и других электросетевых организаций, на которых не производятся отключения, связанные с производством работ на инфраструктуре железной дороги [39, 40].

Интересными представляются и идеи применения комбинированных схем резервного электроснабжения, когда для электроснабжения одного объекта или группы объектов используются различные виды источников электрической энергии – генераторы с ДВС, альтернативные источники электроснабжения, статические источники питания и др. [41, 42].

Многообразие предложений в части повышения надёжности электроснабжения сельских потребителей требует классификации указанных способов, выявления наиболее рациональной области применения каждого способа, разработки мероприятий по их внедрению. Внедрение способов затрагивает использование значительного количества различных ресурсов. Интересным в этой части видится применение теории и методов оптимального распределения ресурсов [43, 44, 45].

Материалы и методы. Систематизация способов повышения надёжности электроснабжения сельских потребителей, питаемых от электрических сетей железных дорог требует, прежде всего, понимания причин отключений электроснабжения потребителей. Анализ указанных выше особенностей системы электроснабжения железных дорог позволяет утверждать, что отключения могут быть вызваны следующими причинами:

– отключения вследствие аварий или повреждений ЛЭП и других элементов системы электроснабжения;

- ошибочные действия персонала и неселективная работа устройств релейной защиты и автоматики;
- производство работ на ЛЭП, подстанциях и другом оборудовании, участвующем в электроснабжении;
- производство работ на инфраструктуре железной дороги, и объектах, имеющих приближение к железной дороге (путепроводы, мосты, здания, высотные конструкции и т.п.), которые требуют снятия напряжения с ЛЭП и других устройств системы электроснабжения по требованиям электробезопасности;
- разборка рельсового пути, участвующего в питании подстанций 25/0,4 кВ системы ДПР в качестве проводника фазы высокого напряжения.

Акцент в настоящем исследовании делается на отключения, связанные с производством работ на инфраструктуре железной дороги и объектах, имеющих приближение к железной дороге, а также разборке рельсового пути, так как они наиболее массовые и частые. Как правило, данные работы бывают плановые и внеплановые. Дата и период проведения плановых работ определяются на основании требований государственных и отраслевых нормативных документов. Внеплановые работы могут возникнуть по следующим причинам:

- выявление отступлений от норм эксплуатации и содержания объектов инфраструктуры железной дороги, выявленное средствами диагностики, в результате обходов и осмотров – остродефектный рельс, нарушение состояния балластной призмы, наклон или повреждение опорной конструкции и т.п.;
- повреждения объектов инфраструктуры вследствие воздействия природных факторов, техногенных аварий, катастроф, незаконного вмешательства посторонних лиц и объектов.

При производстве работ на инфраструктуре железной дороги достаточно часто основанием отключений является необходимость выполнения требований электробезопасности. Другой частой причиной является разборка рельсового пути. В этой связи возникает риск невыполнения показателей надежности электроснабжения сельских потребителей. В общем виде, для их выполнения необходимо решить задачу оптимизации. В нашем случае критерием оптимальности является продолжительность перерывов в электроснабжении (отключений) сельских потребителей от электрических сетей железных дорог – суточная ($T_{сут}$) и суммарная годовая ($\sum T_{год}$), определяемые государственными нормативными документами и договорными отношениями между потребителем электрической энергии и энергосбытовой организацией. Согласно приказу Минэнерго РФ от 08.07.2002 г. № 204 «Об утверждении глав Правил устройств электроустановок» и Постановлению Правительства РФ от 27.12.2004 № 861 (ред. от 27.12.2024) для третьей категории надежности электроснабжения допустимое число часов отключения в год составляет 72 часа, но не более 24 часов подряд, включая срок восстановления электроснабжения, за исключением случаев, когда для производства ремонта объектов электросетевого хозяйства необходимы более длительные сроки, согласованные с Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору. Для потребителей 1 и 2 категории надежности эти сроки индивидуальны, но не могут превышать сроки отключения объектов третьей группы.

Результаты и обсуждение. Предлагается следующая классификация способов повышения надежности электроснабжения потребителей, питаемых от электрических сетей железных дорог (рисунок 1).

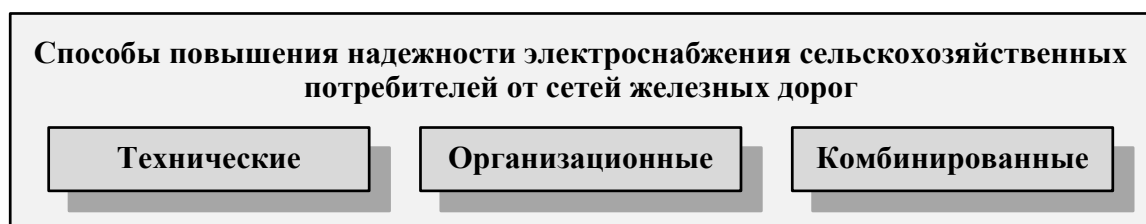


Рисунок 1 – Классификация способов повышения надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей от сетей железных дорог
Figure 1 – Classification of methods for increasing the reliability of electricity supply to agricultural consumers from railway networks

Технические способы повышения надежности электроснабжения подразумевают использование каких-либо технических средств, либо изменение существующих технических решений для обеспечения работы системы электроснабжения потребителей. Основные технические способы повышения надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей от сетей железных дорог представлены ниже.

Технические способы с обеспечением нормальной работы ТП системы ДПР в полнофазном режиме:

- переподключение питающей фазы высокого напряжения ТП 25/0,4 кВ системы электроснабжения ДПР с пути, на котором производится работа по замене рельс, на другой путь;
- перевод питающей фазы высокого напряжения ТП 25/0,4 кВ системы электроснабжения ДПР с рельс на отключенную и заземленную контактную подвеску в зоне производства работ (с использованием участка отключенной контактной подвески в качестве фазного провода высокого напряжения);
- прокладка временной линии для питания одного фазного провода высокого напряжения вместо отсутствующих рельс;
- строительство выносной обходной воздушной линии с переносом всех фазных проводов, в т.ч. фазы «С» высоковольтной линии 25 кВ, на неё;
- переустройство воздушных линий высокого напряжения, подверженных частым отключениям вследствие работ на смежных устройствах, в кабельное исполнение;
- перевод питающей фазы высокого напряжения ТП 25/0,4 кВ системы электроснабжения ДПР с рельсовой сети на землю (с использованием земли в качестве фазного провода высокого напряжения).

Технические способы с обеспечением работы ВЛ в неполнофазном режиме:

- использование однофазных силовых трансформаторов 25/0,23 кВ с переподключением на них потребителей в ТП 25/0,4 кВ системы ДПР при наличии напряжения только на фазах «А» и «В»;
- применение высоковольтных фазосдвигающих устройств для создания третьей фазы питания ТП 25/0,4 кВ системы ДПР при отключении фазы, передаваемой через рельс.

Технические способы с обеспечением работы ВЛ и ТП в неполнофазном режиме:

- использование ТП 25/0,4 кВ в неполнофазном режиме со стороны высокого напряжения с включением электромеханического генератора – фазорасщепителя на стороне низкого напряжения;
- использование ТП 25/0,4 кВ в неполнофазном режиме со стороны высокого напряжения с применением статических низковольтных фазосдвигающих устройств для получения третьей фазы трехфазного напряжения на стороне низкого напряжения;
- использование ТП 25/0,4 кВ в неполнофазном режиме со стороны высокого напряжения с подключением статического преобразователя напряжения на стороне низкого напряжения для получения трехфазного напряжения.

Секционирование линий электропередачи ВН и НН:

- секционирование на стороне ВН (25 кВ) ЛЭП;
- использование методов сетевого резервирования и секционирования сетей питания сельскохозяйственных потребителей по стороне НН (0,4 кВ).

Изменение схем питания с уменьшением района питания от одной ТП 25/0,4кВ:

- разукрупнение схемы электроснабжения с уменьшением количества потребителей, питаемых от одной подстанции с изменением количества ТП и мощности трансформаторов ТП.

Применение автономных энергетических платформ и средств распределенной генерации:

- мобильные (переносные) средства генерации (бензиновые, дизельные и газовые электрические генераторы);
- передвижные средства генерации на железнодорожном или автомобильном ходу.

Применение мобильных энергетических платформ и генерирующих мощностей, использующих статические источники электрической энергии:

- термоэлектрогенераторы;
- аккумуляторные источники бесперебойного питания и накопители электрической энергии различных принципов функционирования.

Применение мобильных, или стационарных энергетических платформ и генерирующих мощностей, в том числе с использованием возобновляемых источников энергии:

- солнечные батареи;
- ветровые электростанции;
- мини гидроэлектростанции;
- установки биоэнергетики.

– стационарные средства распределенной генерации для обеспечения электроснабжения отключенных потребителей (бензиновые, дизельные и газовые электрические генераторы).

Организационные способы подразумевают решение организационных вопросов взаимодействия между структурными подразделениями, филиалами ОАО «РЖД» и сторонними организациями, в т.ч. электросетевыми, а также использование научно обоснованных методов планирования и реализации технологии работ. Одним из таких методов является метод **оптимального распределения ресурсов**. Метод требует использования ресурсов (соответственно распределения) с учетом критерия оптимальности. Целевая функция (критерий оптимальности) разрабатываемых моделей, в рассматриваемом случае, направлена на то, чтобы обеспечить минимальную продолжительность работ на инфраструктуре железной дороги и связанное с этим время отключения потребителей:

$$T_{\text{сут}} = f(x) \rightarrow \min \quad , \quad x \in Y \quad (1)$$

$$\sum T_{\text{год}} = f(x) \rightarrow \min \quad , \quad x \in Y \quad (2)$$

где $T_{\text{сут}}$ – продолжительность отключения (перерыва в электроснабжении) в течение одних суток, часы;

$\sum T_{\text{год}}$ – суммарная продолжительность отключений (перерывов в электроснабжении) в течение календарного года, часы; $f(x)$ – целевая функция; Y – множество, заданное ограничениями на управляемые переменные.

Очевидно, что в выражениях (1) и (2), абсолютного минимума достичь практически невозможно, или это будет связано со значительным увеличением затрат. Оптимальным решением по целевой функции будет выполнение условий по не превышению времени отключений, указанного в приказе Минэнерго РФ от 08.07.2002 г. № 204 «Об утверждении глав Правил устройств электроустановок» и Постановлении Правительства РФ от 27.12.2004 № 861 (ред. от 27.12.2024).

Для этого необходимо найти решение по рациональной организации работы и использованию следующих ресурсов при работе на инфраструктуре железной дороги: организация движения поездов; организация производства ремонтных работ; подход железнодорожной строительной техники для производства работ; подход строительной техники на автомобильном ходу для производства работ; обеспечение сменяемости (ротации) бригад, обслуживающих железнодорожную строительную технику; обеспечение сменяемости (ротации) бригад, обслуживающих строительной техники на автомобильном ходу; обеспечение сменяемости бригад путевых работников; обеспечение сменяемости работников, выполняющих обеспечение производства работ (электробезопасность, сохранность коммуникаций, безопасный пропуск поездов и т.п.); подвоз материала для производства работ (рельсы, шпалы, рельсошпальная решетка, щебень и т.д.); вывоз демонтированных материалов (рельсы, шпалы, рельсошпальная решетка, щебень и т.д.). Часть решений этого вопроса отражена в работах [46, 47, 48].

Комбинированные способы подразумевают совмещение технических и организационных способов.

Комбинированные способы повышения надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей от сетей железных дорог связаны с реализацией следующих мероприятий:

- временное переподключение сельских потребителей на питание от других электрических сетей железных дорог (то есть резервирование питания от данных сетей);

– переподключение сельских потребителей на питание от электрических сетей других электросетевых организаций (то есть резервирование питания от данных сетей).

В основе выбора способов повышения надежности электроснабжения в каждом конкретном случае должны лежать результаты анализа возможности их реализации и технико-экономический расчет. Так же выбор способов выполняется с учётом выявленных причин отключений потребителей.

Заключение. 1. Железнодорожные электрические сети отличаются от распределительных сетей других электросетевых организаций тем, что расположены на опорных конструкциях контактной сети, по сути, в охранной зоне ВЛ, и являются частью инфраструктуры железной дороги. Поэтому главной причиной невыполнения требований надежности электроснабжения сельских потребителей от железнодорожных электрических сетей являются плановые отключения при производстве работ на инфраструктуре железной дороги, и объектах, имеющих приближение к железной дороге (путепроводы, мосты, здания, высотные конструкции и т.п.), которые требуют снятия напряжения с линий электропередачи и других устройств электроснабжения.

2. Повышение надежности электроснабжения потребителей, питаемых от электрических сетей железных дорог, возможно, с применением различных организационных, технических, или комбинированных способов, направленных на снижение количества и продолжительности отключений. Выбор способов повышения надежности электроснабжения в каждом конкретном случае должен осуществляться с учётом результатов анализа возможности их реализации и технико-экономического расчета.

Conclusion. 1. Railway power grids differ from the distribution networks of other power grid organizations in that they are located on overhead contact network support structures, essentially within the overhead power line's protection zone, and are part of the railway infrastructure. Therefore, the main reason for failure to meet the requirements for reliable power supply to rural consumers from railway power grids is planned outages during work on railway infrastructure and facilities adjacent to the railway (overpasses, bridges, buildings, high-rise structures, etc.), which require de-energizing power lines and other power supply devices.

2. Improving the reliability of power supply to consumers supplied by railway grids is possible through various organizational, technical, or combined methods aimed at reducing the number and duration of outages. The choice of methods to improve power supply reliability in each specific case should be based on the results of a feasibility study and technical and economic assessment.

Библиографический список

1. Кириллов С. В., Виноградов А. В. Основы концепции совершенствования электроснабжения сельских потребителей от системы электроснабжения электрифицированной железной дороги. Техника и оборудование для села. 2024. № 7 (325). С. 42-45.
2. Кириллов С. В., Виноградов А. В. Развитие схем электроснабжения сельских потребителей от электрических сетей железных дорог. Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2025. Т. 72. № 2 (59). С. 36-45.
3. Кириллов С. В., Малютин С. А. Современная концепция оценки последствий невыполнения показателей надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей. Вестник Курганской ГСХА. 2025. № 1 (53). С. 56-66.
4. Дюкин И. Р., Братухин А. В., Сидоров А. И. Особенности сельских электрических сетей. Вестник Вятского ГАТУ. 2023. № 4 (18). С. 15-23.
5. Серов А. Г. Развитие электроснабжения сельского хозяйства, его особенности. Образование, инновации, цифровизация: взгляд регионов: сборник научных трудов по материалам Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Тверь: Издательство Тверской ГСХА, 2022. С. 304-306.
6. Виноградов А. В., Лансберг А. А., Виноградова А. В. Анализ конфигурации электрических сетей 0,4 кВ Орловской области. Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2023. Т. 70. № 4 (53). С. 22-29.
7. Мифтахов А. Р. Интеллектуальные системы учета электрической энергии (ИСУЭ). Актуальные вопросы развития естественных и технических наук: материалы XXX Всероссийской научно-практической конференции. Ставрополь: ООО "Ставропольское издательство "Параграф", 2023. С. 130-131.
8. He Zh. et al. Scheduling optimization of electric energy meter distribution vehicles for intelligent batch rotation. Heliyon. 2024. Vol. 10. No. 4. P. e26516.
9. Кириллов С. В., Виноградов А. В. Обоснование использования земли в качестве одной из фаз питания трансформаторной подстанции 25/0,4 кВ системы электроснабжения сельскохозяйственных потребителей. Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2025. № 2 (74). С. 72-82.
10. Кириллов С. В., Виноградов А. В. Практическое исследование системы электроснабжения сельских потребителей, питаемых от электрических сетей железных дорог. Агроинженерия. 2025. Т. 27. № 4. С. 68-77.
11. Стельмаков В. Н., Хмуров В. П., Тарасов А. Н. Фазоповоротные устройства с тиристорным управлением. Электротехника. 2014. № 1. С. 11-18.
12. Еремочкин С. Ю., Жуков А. А., Дорохов Д. В. К вопросу о запуске трехфазного асинхронного электродвигателя от однофазной сети переменного тока. Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования: материалы XV международной научно-практической конференции. Новосибирск: Издательский центр НГАУ "Золотой колос", 2023. С. 213-216.

13. Бочаров Ю. А. Автотрансформаторный фазорасщепитель. Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов: материалы XXIII Международной научно-практической конференции. Чита: Забайкальский государственный университет, 2023. С. 172-175.
14. Асташков Н. П., Оленцевич В. А. Техническое решение повышения уровня надежности фазорасщепителей электровозов переменного тока. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2021. № 2 (70). С. 170-180.
15. Тюрина Е. А., Виноградова А. В. Анализ способов секционирования и резервирования сельских электрических сетей. Агротехника и энергообеспечение. 2024. № 3 (44). С. 43-50.
16. Виноградова А. В., Виноградов А. В. Устройство деления электрической сети и вариант его применения. Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2022. Т. 69. № 2 (47). С. 42-46.
17. Бирюков В. П., Кузьмина И. А. Решение задачи определения оптимального состава и распределения мобильных дизель-генераторных установок по территории города. Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2021. Т. 11. № 4-1. С. 27-33.
18. Виноградов А. В. и др. Обоснование мощности генераторов для резервирования в секционированных линиях электропередачи. Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2024. Т. 71. № 3 (56). С. 27-34.
19. Косарев Б. А. и др. Динамическое перераспределение источников питания в электротехнической системе с распределенной генерацией. Омский научный вестник. 2019. № 2 (164). С. 50-55.
20. Рыбаков Б. А., Савитенко М. А., Сиделев О. А. Газопоршневые генераторные установки для распределенной энергетики и автономной генерации. Турбины и дизели. 2024. № 4 (115). С. 76-79.
21. Иванюга М. М., Яковенко Н. И., Ковалев В. В. Повышение надежности электроснабжения птицеводческих комплексов Брянской области в современных условиях. Проблемы энергообеспечения, автоматизации, информатизации и природопользования в АПК: сборник материалов Международной научно-технической конференции. Брянск: Брянский ГАУ, 2025. С. 35-39.
22. Извеков Е. А. и др. Разработка электрической схемы подключения системы накопления энергии к воздушной линии 0,38 кВ. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15. № 2 (73). С. 64-70.
23. Носков В. Н. Повышение устойчивости энергоснабжения не্যাговых потребителей железнодорожного транспорта. Транспорт: наука, образование, производство: труды Международной научно-практической конференции. Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2023. Т. 2. С. 62-66.
24. Немчинов Н. А., Куропаткина А. В., Вихров М. Е. Применение статических ИБП на базе ионисторов в системах электроснабжения промышленных объектов. Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2023. № 7. С. 28-33.
25. Казанина И. В., Иман А. А. Оптимизация систем резервного электроснабжения с акцентом на интеграцию интеллектуальных систем управления и систем накопления энергии. Norwegian Journal of Development of the International Science. 2024. № 147. С. 79-84.
26. Анисимова О. С., Папченко Е. И. Инновационные методы аккумулирования энергии: анализ перспективных направлений. Аграрная наука и производство: новые подходы и актуальные исследования: материалы международной научно-практической конференции. Донской государственный аграрный университет, 2025. С. 232-236.
27. Афанасьев В. Я. и др. Перспективные способы аккумулирования энергии. Уголь. 2024. № 8 (1183). С. 124-129.
28. Смирнов В. В., Шевченко Е. В. Термоэлектрическая энергетика. Научная весна-2023. Технические науки: сборник научных трудов: научное электронное издание. Шахты, 2023. С. 252-263.
29. Крюков К. А., Соколова М. К. Термоэлектродвигатель: принцип работы и целесообразность применения на теплоэнергетических объектах. Диалог поколений: Изучаем. Обучаем. Учимся: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2023. Т. 2. С. 105-112.
30. Дробинский А. В., Уразалимова Д. С., Кириченко Л. Н. Мобильная гидроэнергетическая установка. Bulletin of Toraihyrov University. Energetics series. 2022. No. 1.2022. Pp. 56-66.
31. Pupcevic M. B., Mitrovic Z. D. Application of Chebyshev's inequality in the preliminary feasibility study for constructing a solar thermal power plant. Military Technical Courier. 2022. Vol. 70. No. 3. Pp. 563-582.
32. Харченко Д. П., Азарян А. А., Таразанов В. И. Ветро-солнечные электростанции фермерских хозяйств. Технические и технологические системы: материалы XIV Международной научной конференции. Краснодар: ООО "Издательский Дом - Юг", 2023. С. 210-212.
33. Агеев В. А., Голобоков С. В., Рудин А. Р. Система электроснабжения района с ветровой электростанцией. Актуальные вопросы устойчивого развития регионов, отраслей, предприятий: материалы Международной научно-практической конференции. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2023. Т. 4. С. 15-19.
34. Воротницкий В. Э. Опыт строительства солнечных электростанций, производства и утилизации солнечных панелей. Энергохозяйство за рубежом. 2023. № 5 (330).
35. Пушникова Е. А., Степаненко Д. А. Возможности широкого применения альтернативной энергетики в Российской Федерации. Вестник факультета управления СПбГЭУ. 2024. № 18. С. 70-77.
36. Кузнецов Н. В. и др. Анализ перспектив развития геотермальной энергетики в России. Вестник Академии. 2025. № 1. С. 49-61.
37. Тасмаганбетов А. Б. и др. Международный опыт государственной поддержки развития биоэнергетики. Вестник Карагандинского университета. Серия: Экономика. 2023. Т. 109. № 1. С. 232-239.
38. Кадыров Б. К., Оразов А. Б., Джумамаырадов Э. Развитие биоэнергетики: Современные тенденции и перспективы. A Posteriori. 2025. № 3. С. 94-96.
39. Коркин Э. Б., Ранта А. Р. Новые подходы к организации электроснабжения не্যাговых потребителей в условиях ОАО "РЖД". Локомотив. 2022. № 9 (789). С. 38-40.
40. Кириллов С. В., Виноградов А. В. Развитие схем электроснабжения сельских потребителей от электрических сетей железных дорог. Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2025. Т. 72. № 2 (59). С. 36-45.

41. Волков Р. О., Нагорных А. А. Разработка резервных схем электроснабжения на основе комбинированных источников энергии. Будущее науки: взгляд молодых ученых на инновационное развитие общества: сборник научных статей 3-й Всероссийской молодежной научной конференции. Курск: ЗАО "Университетская книга", 2025. С. 406-408.

42. Кашин Я. М., Шаршак А. А., Шестаков Ф. А. Системы накопления энергии для резервного электроснабжения локальных объектов. Малая энергетика: проблемы, задачи и перспективы: материалы Международной научно-практической конференции. Краснодар, 2023. С. 80-84.

43. Гурин Л. С., Дымарский Я. С., Меркулов А. Д. Задачи и методы оптимального распределения ресурсов. Москва: Советское радио, 1968. 464 с.

44. Баркалов С. А., Моисеев С. И., Серебрякова Е. А. Математическая модель оптимального распределения ресурсов в строительной сфере в условиях их дефицита. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2023. Т. 23. № 1. С. 89-99.

45. Демиденко О. В. Оптимизация материально-технического обеспечения строительства. Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2024. № 2 (48). С. 44-49.

46. Туманов А. А. Современные методы проведения ремонтных "окон" на инфраструктуре ОАО "РЖД". Кочневские чтения - 2023: современная теория и практика эксплуатационной работы железных дорог: труды II-й Международной научно-практической конференции. Москва: Российский университет транспорта (МИИТ), 2023. С. 201-203.

47. Тураев Б. Х., Куренков П. В., Бондаренко Т. А. Экономическое обоснование оптимальной продолжительности закрытия перегона или «окна» для проведения путевых работ. Экономика железных дорог. 2024. № 7. С. 35-49.

48. Горшков В. В., Оленцевич В. А. Определение оптимальных схем многосуточных закрытий перегонов для производства ремонтных работ на Восточном полигоне. Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2024. № 3 (40). С. 50-59.

References

1. Kirillov S. V., Vinogradov A. V. Fundamentals of the concept of improving electricity supply to rural consumers from an electrified railway power supply system. Machinery and equipment for the village. 2024. No 7 (325). Pp. 42-45.

2. Kirillov S. V., Vinogradov A. V. Development of power supply schemes for rural consumers from electric railway networks. Electrical technologies and electrical equipment in the agro-industrial complex. 2025. Vol. 72. No 2 (59). Pp. 36-45.

3. Kirillov S. V., Malyutina S. A. The modern concept of assessing the consequences of failure to meet the reliability indicators of power supply to agricultural consumers. Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy. 2025. No 1 (53). Pp. 56-66.

4. Dyukin I. R., Bratukhin A. V., Sidorov A. I. Features of rural electric networks. Bulletin of the Vyatka GATU. 2023. No 4 (18). Pp. 15-23.

5. Serov A. G. Development of agricultural electricity supply, its features. Education, innovation, digitalization: the view of the regions: a collection of scientific papers based on the materials of the All-Russian (national) scientific and practical Conference. Tver: Publishing House of the Tver State Agricultural Academy, 2022. Pp. 304-306.

6. Vinogradov A. V., Lansberg A. A., Vinogradova A. V. Analysis of the configuration of 0.4 kV electrical networks in the Orel region. Electrical technologies and electrical equipment in the agro-industrial complex. 2023. Vol. 70. No 4 (53). Pp. 22-29.

7. Miftakhov A. R. Intelligent electric energy metering systems. Current issues of the development of natural and technical sciences: proceedings of the XXX All-Russian Scientific and Practical Conference. Stavropol: Stavropol Publishing House "Paragraph", LLC, 2023. Pp. 130-131.

8. He Zh. et al. Scheduling optimization of electric energy meter distribution vehicles for intelligent batch rotation. Heliyon. 2024. Vol. 10. No. 4. P. e26516.

9. Kirillov S. V., Vinogradov A. V. Substantiation of the use of land as one of the phases of power supply to a 25/0.4 kV transformer substation of the power supply system for agricultural consumers. Bulletin of the Bashkir State Agrarian University. 2025. No 2 (74). Pp. 72-82.

10. Kirillov S. V., Vinogradov A. V. Practical study of the power supply system for rural consumers powered by electric railway networks. Agroengineering. 2025. Vol. 27. No 4. Pp. 68-77.

11. Stelmakov V. N., Khmurov V. P., Tarasov A. N. Phase-rotating devices with thyristor control. Electrical engineering. 2014. No 1. Pp. 11-18.

12. Eremochkin S. Yu., Zhukov A. A., Dorokhov D. V. On the issue of starting a three-phase asynchronous electric motor from a single-phase alternating current network. The state and innovations of technical service of machinery and equipment: proceedings of the XV International Scientific and practical conference. Novosibirsk: Publishing Center of NGAU "Zolotoy Kolos", 2023. Pp. 213-216.

13. Bocharov Yu. A. Autotransformer phase separator. Kulagin readings: machinery and technologies of production processes: proceedings of the XXIII International Scientific and Practical Conference. Chita: Zabaykalsky State University, 2023. Pp. 172-175.

14. Astashkov N. P., Olentsevich V. A. A technical solution to increase the reliability of phase splitters of alternating current electric locomotives. Modern technologies. System analysis. Modeling. 2021. No 2 (70). Pp. 170-180.

15. Tyurina E. A., Vinogradova A. V. Analysis of methods of partitioning and reserving rural electric networks. Agricultural machinery and energy supply. 2024. No 3 (44). Pp. 43-50.

16. Vinogradova A. V., Vinogradov A. V. Electrical network division device and its application option. Electrical technologies and electrical equipment in the agro-industrial complex. 2022. Vol. 69. No 2 (47). Pp. 42-46.

17. Biryukov V. P., Kuzmina I. A. Solving the problem of determining the optimal composition and distribution of mobile diesel generator sets in the city. Economics: yesterday, today, tomorrow. 2021. Vol. 11. No 4-1. Pp. 27-33.

18. Vinogradov A. V. et al. Justification of the power of generators for redundancy in partitioned power transmission lines. Electrical technologies and electrical equipment in the agro-industrial complex. 2024. Vol. 71. No 3 (56). Pp. 27-34.

19. Kosarev B. A. et al. Dynamic redistribution of power supplies in an electrical system with distributed generation. *Omsk Scientific Bulletin*. 2019. No 2 (164). Pp. 50-55.
20. Rybakov B. A., Savitenko M. A., Sidelev O. A. Gas piston generator sets for distributed energy and autonomous generation. *Turbines and diesels*. 2024. No 4 (115). Pp. 76-79.
21. Ivanyuga M. M., Yakovenko N. I., Kovalev V. V. Improving the reliability of electricity supply to poultry farms in the Bryansk region in modern conditions. Problems of energy supply, automation, informatization and environmental management in agriculture: proceedings of the International Scientific and Technical Conference. Bryansk: Bryansk State Agrarian University, 2025. Pp. 35-39.
22. Izvekov E. A. et al. Development of an electrical circuit for connecting an energy storage system to an overhead line of 0.38 kV. *Bulletin of the Voronezh State Agrarian University*. 2022. Vol. 15. No 2 (73). Pp. 64-70.
23. Noskov V. N. Increasing the stability of energy supply to non-heavy consumers of railway transport. *Transport: science, education, production: proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Rostov-on-Don: Rostov State University of Railway Transport, 2023. V. 2. Pp. 62-66.
24. Nemchinov N. A., Kuropatkina A.V., Vikhrov M. E. The use of static UPS based on ionistors in power supply systems of industrial facilities. *Electrical equipment: operation and repair*. 2023. No 7. Pp. 28-33.
25. Kazanina I. V., Iman A. A. Optimization of backup power supply systems with an emphasis on the integration of intelligent control systems and energy storage systems. *Norwegian Journal of Development of the International Science*. 2024. No 147. Pp. 79-84.
26. Anisimova O. S., Papchenko E. I. Innovative methods of energy storage: an analysis of promising areas. *Agricultural science and production: new approaches and current research: proceedings of the international scientific and practical conference*. Don State Agrarian University, 2025. Pp. 232-236.
27. Afanasyev V. Ya. et al. Promising ways of energy storage. *Coal*. 2024. No 8 (1183). Pp. 124-129.
28. Smirnov V. V., Shevchenko E. V. Thermoelectric power engineering. *Scientific spring-2023. Technical sciences: collection of scientific papers: scientific electronic edition*. Shakhty, 2023. Pp. 252-263.
29. Kryukov K. A., Sokolova M. K. Thermoelectric generator: principle of operation and expediency of application at thermal power facilities. *Dialogue of generations: We are studying. We teach them. Learning: materials of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation*. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 2023. V. 2. Pp. 105-112.
30. Drobinsky A. V., Urazalimova D. S., Kirichenko L. N. Mobile hydropower plant. *Bulletin of Toraihyrov University. Energetics series*. 2022. No. 1.2022. Pp. 56-66.
31. Pupcevic M. B., Mitrovic Z. D. Application of Chebyshev's inequality in the preliminary feasibility study for constructing a solar thermal power plant. *Military Technical Courier*. 2022. Vol. 70. No 3. Pp. 563-582.
32. Kharchenko D. P., Azaryan A. A., Tarazanov V. I. Wind and solar power plants of farms. *Technical and technological systems: proceedings of the XIV International Scientific Conference*. Krasnodar: Publishing House – Yug LLC, 2023. Pp. 210-212.
33. Ageev V. A., Golobokov S. V., Rudin A. R. The district's electricity supply system with a wind power plant. *Current issues of sustainable development of regions, industries, enterprises: proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Tyumen: Tyumen Industrial University, 2023. V. 4. Pp. 15-19.
34. Vorotnitskiy V. E. Experience in the construction of solar power plants, production and utilization of solar panels. *Energy management abroad*. 2023. № 5 (330).
35. Pushnikova E. A., Stepanenko D. A. The possibilities of widespread use of alternative energy in the Russian Federation. *Bulletin of the Faculty of Management of St. Petersburg State University*. 2024. No 18. Pp. 70-77.
36. Kuznetsov N. V. et al. Analysis of the prospects for the development of geothermal energy in Russia. *Bulletin of the Academy*. 2025. No 1. Pp. 49-61.
37. Tasmaganbetov A. B. et al. International experience of state support for bioenergy development. *Bulletin of the Karaganda University. Series: Economics*. 2023. V. 109. No 1. Pp. 232-239.
38. Kadyrov B. K., Orazov A. B., Dzhumamyradov E. Development of bioenergy: Current trends and prospects. *A Posteriori*. 2025. No 3. Pp. 94-96.
39. Korkin E. B., Ranta A. R. New approaches to the organization of electricity supply to non-traction consumers in the conditions of JSC Russian Railways. *Locomotive*. 2022. No 9 (789). Pp. 38-40.
40. Kirillov S. V., Vinogradov A.V. Development of power supply schemes for rural consumers from electric railway networks. *Electrical technologies and electrical equipment in the agro-industrial complex*. 2025. Vol. 72. No 2 (59). Pp. 36-45.
41. Volkov R. O., Nagornyykh A. A. Development of backup power supply schemes based on combined energy sources. *The future of science: the view of young scientists on the innovative development of society: collection of scientific articles of the 3rd All-Russian Youth Scientific Conference*. Kursk: CJSC "University Book", 2025. Pp. 406-408.
42. Kashin Ya. M., Sharshak A. A., Shestakov F. A. Energy storage systems for backup power supply of local facilities. *Small power engineering: problems, tasks and prospects: proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Krasnodar, 2023. Pp. 80-84.
43. Gurin L. S., Dymarskiy Ya. S., Merkulov A. D. Tasks and methods of optimal resource allocation. *Moscow: Soviet Radio*, 1968. 464 p.
44. Barkalov S. A., Moiseev S. I., Serebryakova E. A. Mathematical model of optimal allocation of resources in the construction sector in conditions of their scarcity. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer technology, control, radio electronics*. 2023. Vol. 23. No 1. Pp. 89-99.
45. Demidenko O. V. Optimization of material and technical support for construction. *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region*. 2024. No 2 (48). Pp. 44-49.
46. Tumanov A. A. Modern methods of repair of "windows" on the infrastructure of JSC "Russian Railways". *Kochnevsky Readings - 2023: modern theory and practice of railway operational work: proceedings of the II-th International Scientific and Practical Conference*. Moscow: Russian University of Transport (MIIT), 2023. pp. 201-203.
47. Turaev B. Kh., Kurenkov P. V., Bondarenko T. A. Economic justification of the optimal duration of the stage closure or "window" for track work. *Economics of railways*. 2024. No 7. Pp. 35-49.
48. Gorshkov V. V., Olentsevich V. A. Determination of optimal schemes for multi-day lane closures for repair work at the Eastern landfill. *Transport in the Asia-Pacific region*. 2024. No 3 (40). Pp. 50-59.

Информация об авторах

Кириллов Сергей Викторович, кандидат технических наук, начальник Мичуринской дистанции электроснабжения ОАО «РЖД» (Российская Федерация, 393778, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Фрунзе, 1), доцент кафедры, ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ (Российская Федерация, 393760, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101), e-mail: kirill_mich@mail.ru

Виноградов Александр Владимирович, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5); профессор кафедры, РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева (Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49), e-mail: winaleksandr@gmail.com

Authors' Information

Kirillov Sergey Viktorovich, Candidate of Engineering Sciences, Head of the Michurinskaya Power Supply Division of JSC Russian Railways (Russian Federation, 393778, Tambov Region, Michurinsk, Frunze Str., 1), Associate Professor of the Department, Michurinsk State Agrarian University (Russian Federation, 393760, Tambov Region, Michurinsk, Internatsionalnaya Str., 101), e-mail: kirill_mich@mail.ru

Vinogradov Aleksandr Vladimirovich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Chief Researcher, Head of the Laboratory, Federal Scientific Center of VIM (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5), Professor of the Department, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev (Russian Federation, 127434, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49), e-mail: winaleksandr@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-66

THE OPTIMIZATION OF THE WEEDING SHAFT PARAMETERS OF THE ROW CROW CULTIVATOR**Martynov I. S., Shaprov M. N., Borodin V. I., Tronev S. V.***Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: ismartynov@mail.ru

Received 06.11.2025

Submitted 09.12.2025

Summary

The diverse soils and climatic conditions of the Lower Volga region require that Diptych producers carefully select the right technologies and equipment for cultivating agricultural crops. The drought and dryland conditions of this zone have a beneficial effect on crop yields. It's also worth noting the parameters that influence crop productivity: heat, light, and soil moisture. This is especially true for row crops, of which melons are among the most responsive. Therefore, it's crucial to pay attention to operations such as seeding, sowing, and row spacing. Given this issue, with the advent of tillage machines, ensuring the necessary amount of soil moisture for the root system of melons is crucial. To address this issue, row-crop cultivators have been improved and their parameters optimized.

Abstract

Introduction. The diverse soils and climate conditions of the Lower Volga region require producers to constantly monitor and carefully select technologies and equipment for crop cultivation. Droughts and hot winds typical of this region adversely affect crop yields. Parameters that influence crop productivity include heat, light, and soil moisture. This is especially true for row crops, of which melons are the most responsive. Therefore, it is essential to pay attention to operations such as pre-sowing cultivation, seeding, and inter-row cultivation. **Object.** The object of the research is the method of inter-row cultivation of melon crops and the parameters of the cultivator weeding paws. **Materials and methods.** When cultivating row crops, requirements must be met that take into account the timing and depth of cultivation, weed control, the size of the protective zone, and the risk of injury to crop plants. An analysis of row-crop cultivators' working parts revealed that weeding tines are more effective for cultivating areas on both sides of the row. They effectively cut weeds and prevent wet soil layers from reaching the field surface. It should also be noted that during the initial stages of row crop development, additional moisture is needed in the root zone. **Results and conclusions.** An analysis of the results of exploratory experiments and theoretical studies of the soil cultivation process allowed us to identify three main controllable factors influencing soil moisture in the root zone: compaction tip height, compaction tip width, and compaction tip angle. The research identified the parameter values that have the greatest impact on increasing soil moisture in the compacted zone. An analysis of two-dimensional cross-sections showed that soil moisture can be maximized with a compaction tip height of 19.5-20.5 mm, a compaction tip width of 28-30.4 mm, and a compaction tip angle of 22.5-23.2 degrees. This results in a 22.5 % increase in soil moisture in the compacted zone.

Keywords: weeding paws, cultivators, melons, soil moisture, root system, compacting point.

Citation. Martynov I. S., Shaprov M. N., Borodin V. I., Tronev S. V. The optimization of the weeding shaft parameters of the row crow cultivator. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 636-645 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-66.

Authors' contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, implementation, or analysis of this study. All authors of this article have read and presented the final version in a simplified form.

Conflict of interest. The authors declare that they have no conflicts of interest.

УДК 631.316.4.02

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛОЛЬНОЙ ЛАПЫ ПРОПАШНОГО КУЛЬТИВАТОРА**Мартынов И. С.**, кандидат технических наук, доцент**Шапров М. Н.**, доктор технических наук, профессор**Бородин В. И.**, аспирант**Тронеv С. В.**, доктор технических наук, профессорФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. «Разнообразие почв и климатических условий Нижнего Поволжья требуют от производителей постоянного мониторинга и грамотного подбора технологий и технических средств для возделывания сельскохозяйственных культур. Характерные для данной зоны засуха и суховеи оказывают неблагоприятное воздействие на их урожайность. Также стоит отметить параметры, влияющие на продуктивность культур, – тепло, свет и количество почвенной влаги. Особенно это касается пропашных культур, среди которых наиболее отзывчивыми являются бахчевые» [1]. В связи с этим необходимо уделять внимание таким операциям, как предпосевная культивация, посев и обработка междурядий. Исходя из этого проблема совершенствования почвообрабатывающих машин, обеспечивающих необходимое количество почвенной влаги корневой системе бахчевых культур, является актуальной. **Объект.** Объектом исследований являются способ междурядной обработки бахчевых культур и параметры полольных лап культиватора. **Материалы и методы.** При обработке пропашных культур соблюдаются требования, учитывающие сроки и глубину обработки, уничтожение сорняков, величину защитной зоны, травмирование культурных растений и др. При анализе рабочих органов пропашных культиваторов, выявлено, что для обработки зон с обеих сторон ряда целесообразнее использовать полольные лапы. Они хорошо подрезают сорняки и не выносят влажные слои почвы на поверхность поля. Также следует учесть, что в начальные фазы развития пропашных культур возникает необходимость дополнительного количества влаги в прикорневой зоне. **Результаты и выводы.** Анализ результатов поисковых опытов, теоретических исследований процесса обработки почвы позволил выделить три основных управляемых фактора, влияющих на влажность почвы корневой зоны – высота уплотняющего наральника, ширина уплотняющего наральника и угол наклона носка уплотняющего наральника. При проведении исследований выявлены значения параметров, наибольшим образом влияющие на увеличение влажности почвы уплотненной зоны. Анализ двумерных сечений показал, что увеличение влажности почвы до максимального значения возможно при высоте уплотняющего наральника 19,5-20,5 мм, ширине уплотняющего наральника 28-30,4 мм и угле наклона носка уплотняющего наральника 22,5-23,2 град. При этом увеличение влажности почвы уплотненной зоны составит 22,5 %.

Ключевые слова: *полольные лапы, культиваторы, бахчевые культуры, влажность почвы, корневая система растений, уплотняющий наральник.*

Цитирование. Мартынов И. С., Шапров М. Н., Бородин В. И., Тронеv С. В. Оптимизация параметров полольной лапы пропашного культиватора. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 636-645. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-66.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. «Разнообразие почв и климатических условий Нижнего Поволжья требуют от производителей постоянного мониторинга и грамотного подбора технологий и технических средств для возделывания сельскохозяйственных культур. Характерные для данной зоны засуха и суховеи оказывают неблагоприятное воздействие на их урожайность.

Также стоит отметить факторы, влияющие на продуктивность культур: тепло, свет и количество почвенной влаги. Особенно это касается пропашных культур, среди которых наиболее отзывчивыми на эти параметры являются бахчевые» [1-5]. В связи с этим необходимо уделять внимание таким операциям, как предпосевная культивация, посев и обработка междурядий [6-10].

«При междурядной обработке пропашных культур необходимо соблюдать требования [6-10], учитывающие сроки и глубину обработки, уничтожение сорняков, величину защитной зоны, травмирование культурных растений и др. Причем следует учитывать фазы развития культурных и сорных растений, грамотно сочетать рабочие органы культиватора для повышения эффективности его работы» [4, 11-14]. Стоит отметить, что уничтожение сорняков на ранних стадиях развития благоприятно сказывается на качестве механической

обработки, для которой используются различные виды рабочих органов [15-19]. Одни направлены на разрыхление почвы, другие – на подрезание сорняков без рыхления и т.д. Однако несмотря на разнообразие почвообрабатывающих органов, цель одна – получение качественной высокоурожайной продукции.

Следует учесть, что при технологических процессах возделывания пропашных культур практически любой из рабочих органов, воздействуя на почву, приводит к перемешиванию ее частиц в большей или меньшей степени, что несомненно приводит к потерям влаги.

В условиях рискованного земледелия перспективным направлением является применение почвообрабатывающих органов, обеспечивающих необходимые условия для развития растений пропашных культур и в первую очередь сохранение почвенной влаги.

Объект исследований – способ междурядной обработки бахчевых культур и параметры полольных лап культиватора. Целью исследований является определение оптимальных параметров уплотняющего наральника полольной лапы пропашного культиватора, влияющих на влажностные показатели почвы прикорневой зоны.

Материалы и методы. Проведя анализ рабочих органов пропашных культиваторов [11-15], выявлено, что для обработки защитных зон с обеих сторон ряда целесообразнее использовать полольные лапы. Они хорошо подрезают сорняки и не выносят влажные слои почвы на поверхность поля. Также следует учесть, что в начальные фазы развития пропашных культур, особенно бахчевых (например, арбуза), возникает необходимость подвода дополнительного количества влаги в прикорневую зону.

Для выполнения этой задачи полольные лапы (рисунок 1) культиватора были модернизированы [4, 19, 20].

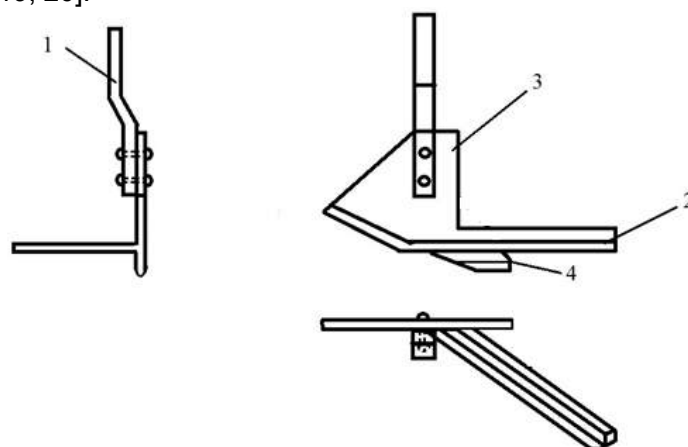


Рисунок 1 – Полольная лапа

1 – стойка; 2 – лезвие; 3 – щека; 4 – уплотняющий наральник

Figure 1 – Weeding paw

1 – stand; 2 – flat-cutting blade; 3 – vertical cheek; 4 – sealing nose

При междурядной обработке полольные лапы подрезают сорняки и уплотняют наральниками почву с обеих сторон ряда, подтягивая дополнительный объем влаги к боковым корням (рисунок 2).

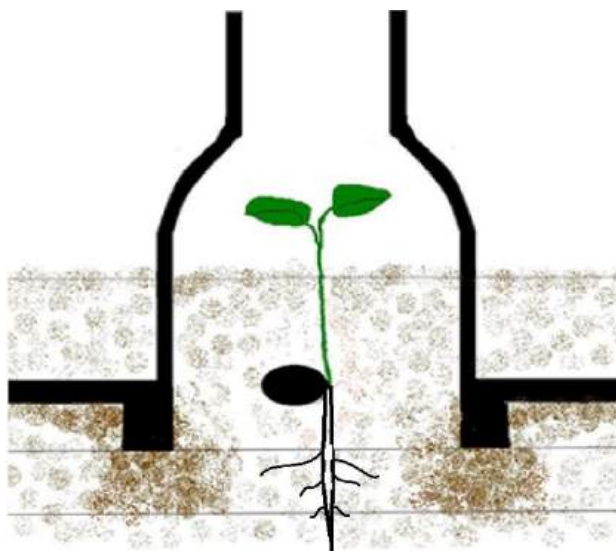


Рисунок 2 – Схема обработки почвы
Figure 2 – Soil cultivation diagram

Результаты и обсуждения. Анализ проведенных исследований по проведению междурядной обработки бахчевых культур позволил выделить управляемые факторы (рисунок 3), влияющие на влажность почвы корневой зоны: h_{yn} (x_1) – высота уплотняющего наральника, мм, b_{yn} (x_2) – ширина уплотняющего наральника, мм, α (x_3) – угол наклона носка уплотняющего наральника, град.

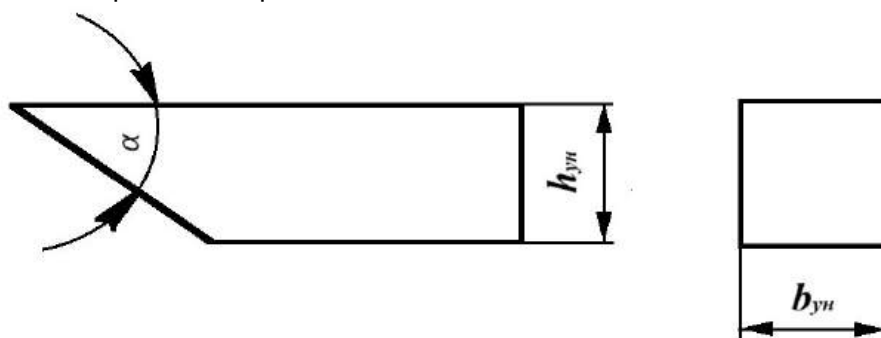


Рисунок 3 – Схема уплотняющего наральника
Figure 3 – Sealing tip diagram

Согласно данным анализа литературных источников, аналитических расчетов и проведенных предварительных исследований выбраны следующие параметры уплотняющего наральника: ширина от 2 до 4 см, высота от 1 до 2,5 см, угол наклона носка от 20 до 25°. Для светло-каштановой почвы влажностью не более 20 %, учитывая коэффициенты трения, отлично подходит угол α выше указанных значений. Ширина и высота наральника были выбраны исходя из того, что увеличение указанных размеров влечет повышение тягового сопротивления рабочего органа и повышение выталкивающей силы почвы, а размеры менее 1 см не будут обеспечивать требуемое условие по подтягиванию капиллярной влаги. После использования модернизированной полольной лапы, через несколько дней влажность начинает подниматься, в зависимости от размеров уплотнителя с 20 % и вплоть до 25 %, затем плавно снижается.

Для вышеуказанных параметров установлены уровни варьирования и их интервалы, отображенные в таблице 1.

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования факторов
Table 1 – Levels and intervals of factor variation

Факторы / Factors	Уровни фактора / Factor levels			Интервал варьирования, ε / Variation interval, ε
	0	-1	+1	
x_1 – высота уплотняющего наральника, мм / x_1 – height of the sealing tip, mm	20	15	25	5
x_2 – ширина уплотняющего наральника, мм / x_2 – width of sealing tip, mm	32	24	40	8
x_3 – угол наклона носка уплотняющего наральника, град / x_3 – sealing tip tip inclination angle, degrees	22,5	20	25	2,5

Для исключения факторов, которыми можно пренебречь, учитывая их незначительность, проведены мероприятия, отсеивающие данные величины.

При этом выходным показателем в ходе проведения исследований выбрано увеличение влажности почвы уплотненной зоны ΔW , %.

В результате расчетов получено уравнение регрессии в кодированном виде:

$$Y_{\Delta W} = 22,3 - 2,6X_2 + 0,7X_3 - 0,1X_1X_2 + 0,2X_1X_3 - 0,3X_2X_3 - 6,6X_1^2 - 4,1X_2^2 - 3,3X_3^2 \quad (1)$$

«Адекватность полученных математических моделей проверялась по критерию Фишера» [1],

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S^2(y)}, \quad (2)$$

где $S^2(y) = (\sum_1^N \sum_1^n [y_{iq} - y_i]^2) / N(n - 1)$ – дисперсия ошибки опыта; $S_{ад}^2 = n \sum_1^N (\bar{y}_i - y_i)^2 / (N - [k + 1])$ – дисперсия неадекватности модели, здесь: y_i – случайная величина, рассчитанная по математической зависимости; $\bar{y}_i$ – среднееарифметическое значение случайной величины; y_{iq} – значение i-ой величины в q-том опыте; n – число повторностей опыта; N – число строк матрицы плана; k – число факторов» [1].

Результаты расчетов дисперсии неадекватности модели $S_{ад}^2$ и дисперсии ошибки $S_{(y)}^2$ отображены в таблице 2.

Таблица 2 – Экспериментальные данные и результаты расчета увеличения влажности почвы
уплотненной зоны, %

Table 2 – Experimental data and calculation results for the increase in soil moisture in the compacted zone, %

№	$\Delta W_{i, \%}$			$\Delta W_{i, \%}$	$(\Delta W_{iq} - \Delta W_i)^2$			$\Delta W_{i, \%}$	$(\Delta W_i - \Delta W_i)^2$
	1	2	3		1	2	3		
1	11,3	10,6	9,8	10,6	0,53778	0,00111	0,58778	10,0	0,32111
2	4,5	6,7	6,2	5,8	1,69000	0,81000	0,16000	6,0	0,04000
3	12,4	12,8	12,2	12,5	0,00444	0,11111	0,07111	12,2	0,07111
4	4,2	3,8	5,3	4,4	0,05444	0,40111	0,75111	5,0	0,32111
5	10,0	10,2	9,6	9,9	0,00444	0,07111	0,11111	9,8	0,01778
6	6,4	6,7	5,2	6,1	0,09000	0,36000	0,81000	5,6	0,25000
7	12,8	10,3	11,5	11,5	1,60444	1,52111	0,00111	11,6	0,00444
8	16,7	16,4	15,2	16,1	0,36000	0,09000	0,81000	15,7	0,16000
9	15,7	16,7	15,1	15,8	0,01778	0,75111	0,53778	15,6	0,05444
10	20,9	20,1	19,1	20,0	0,75111	0,00444	0,87111	19,7	0,11111

$$\sum_1^N \sum_1^n [y_{iq} - y_i]^2 = 13,9467 \quad \sum_1^N (\bar{y}_i - y_i)^2 = 1,351111$$

$$S^2(y) = 0,6973$$

$$S_{ад}^2 = 0,6756$$

В результате проведенных вычислений определено значение критерия $F=0,969$, которое соответствует условию $F_{0,05} > F$ (при котором $F_{0,05}=2,599$ представляет собой табличное значение критерия при значимости 5 %). То есть можно сделать вывод, что матмодели адекватны результатам исследований.

Согласно методике проведения факторного эксперимента определены оптимальные значения факторов, которые указаны в кодированном и раскодированном видах (числитель и знаменатель) в таблице 3.

Таблица 3 – Оптимальные значения факторов
Table 3 – Optimal values of factors

Фактор / Factor	Оптимальные значения / Optimal values
X_1 – высота уплотняющего наральника, мм / X_1 – height of the sealing tip, mm	$\frac{0}{20}$
X_2 – ширина уплотняющего наральника, мм / X_2 – width of sealing tip, mm	$-\frac{0,32}{30,4}$
X_3 – угол наклона носка уплотняющего наральника, град / X_3 – sealing tip tip inclination angle, degrees	$\frac{0,12}{22,8}$

Для дальнейшего анализа матмодель необходимо привести к каноническому виду. При этом с помощью компьютера получены коэффициенты B_{11} , B_{22} , B_{33} , которые также представлены в канонической форме и значение $Y_{\Delta W_{\text{опт}}}$, являющееся критерием оптимизации в оптимальной точке на сечениях (рисунки 4-6).

После преобразований уравнение (1) примет вид

$$Y_{\Delta W_{\text{опт}}} - 22,7 = -6,6X_1^2 - 4,1X_2^2 - 3,3X_3^2, \quad (3)$$

При дальнейшем исследовании обратим внимание на знаки при членах уравнения (3). Так как они отрицательные, то поверхности (рисунки 4-6) представляют собой параболоиды с координатами центров, являющимися оптимальными значениями факторов.

При их рассмотрении по уравнению (1) относительно параметров (x_1) и (x_2) фактор угла наклона носка уплотняющего наральника (x_3) равен 0,12 (рисунок 4).

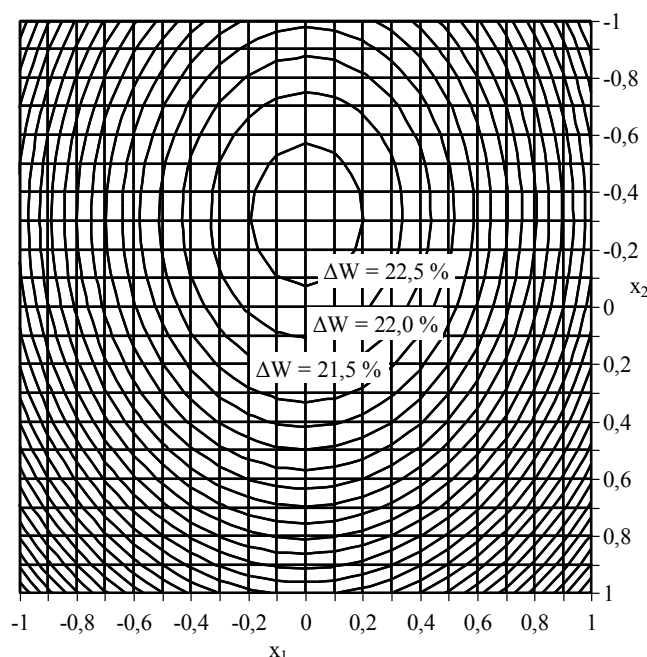


Рисунок 4 – Двумерное сечение для изучения факторов влияния x_1 и x_2 при $x_3=0,12$ на увеличение влажности почвы уплотненной зоны, %

Figure 4 – Two-dimensional section for studying the influence factors x_1 and x_2 at $x_3=0.12$ on the increase in soil moisture in the compacted zone, %

При этом значения факторов, находящиеся в оптимальном интервале, можно принять равными $x_1 = -0,1 \dots 0,1$ и $x_2 = -0,5 \dots 0,2$.

При рассмотрении сечений относительно параметров (x_1) и (x_3) фактор ширины уплотняющего наральника (x_2) равен $-0,32$ (рисунок 5).

Значения факторов, находящиеся в оптимальном интервале, в данном случае принимаются равными $x_1 = -0,1 \dots 0,1$ и $x_3 = 0 \dots 0,3$.

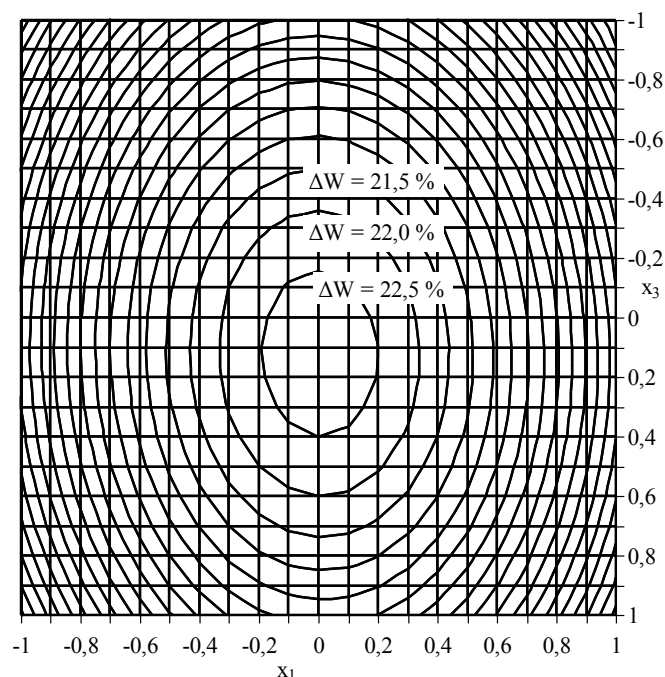


Рисунок 5 – Двумерное сечение для изучения факторов влияния x_1 и x_3 при $x_2 = -0,32$ на увеличение влажности почвы уплотненной зоны, %
Figure 5 – Two-dimensional section for studying the influence factors x_1 and x_3 at $x_2 = -0,32$ on the increase in soil moisture in the compacted zone, %

При рассмотрении сечения (рисунок 6) относительно параметров (x_2) и (x_3), фактор высоты уплотняющего наральника (x_1) в оптимальном значении равен нулю.

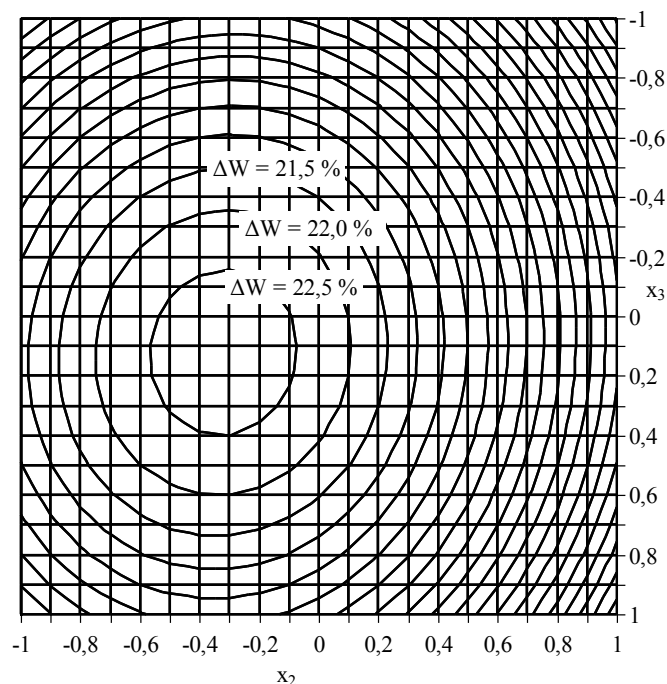


Рисунок 6 – Двумерное сечение для изучения факторов влияния x_2 и x_3 при $x_1=0$ на увеличение влажности почвы уплотненной зоны, %
Figure 6 – Two-dimensional section for studying the influence factors x_2 and x_3 at $x_1=0$ on the increase in soil moisture in the compacted zone, %

При этом значения факторов, находящиеся в оптимальном интервале, можно принять равными $x_2 = -0,5 \dots 0,2$ и $x_3 = 0 \dots 0,3$.

Анализ сечений (рисунки 4-6) показал, что увеличение влажности почвы уплотненной зоны до максимального значения возможно при следующих показателях: $x_1 = -0,1 \dots 0,1$ (19,5...20,5 мм), $x_2 = -0,5 \dots 0,2$ (28...30,4 мм) и $x_3 = 0 \dots 0,3$ (22,5...23,2 град). При этом увеличение влажности почвы уплотненной зоны составит 22,5 %.

Этапы развития растений арбуза (рисунок 7), наглядно демонстрируют эффективность применения усовершенствованных полольных лап по сравнению с контролем.

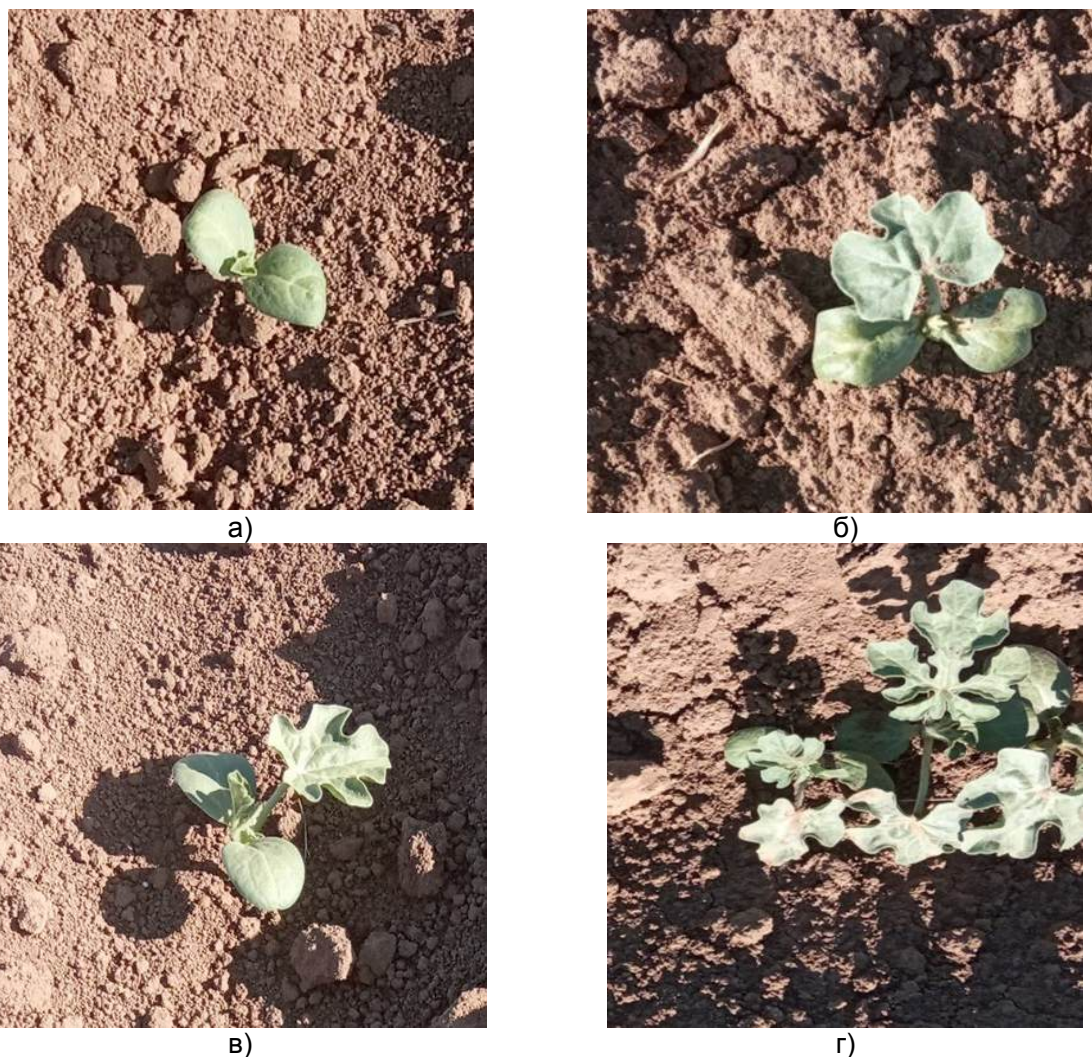


Рисунок 7 – Развитие растений на участках:
а), в) контрольный; б), г) обработанный усовершенствованной полольной лапой
Figure 7 – Plant development in the plots:
a), c) control; b), d) treated with an improved weeding paw

Закключение. При проведении исследований выявлены параметры, наибольшим образом влияющие на увеличение влажности почвы уплотненной зоны. Анализ двумерных сечений показал, что увеличение влажности почвы до максимального значения возможно при высоте уплотняющего наральника 19,5-20,5 мм, ширине уплотняющего наральника 28-30,4 мм и угле наклона носка уплотняющего наральника 22,5-23,2 град. При этом влажность почвы уплотненной зоны увеличивается с 20 % (до обработки) до 24,5 % (после обработки).

Conclusion. The study identified the parameters that have the greatest impact on increasing soil moisture in the compacted zone. Analysis of two-dimensional cross-sections revealed that soil moisture can be maximized with a compaction tip height of 19.5-20.5 mm, a compaction tip width of 13.8-16 mm, and a compaction tip angle of 22.5-23.2 degrees. This results in a 22.5 % increase in soil moisture in the compacted zone, from 20 % to 24.5 %.

Библиографический список

1. Мартынов И. С. и др. Оптимизация параметров распределяющего устройства высевашего аппарата пропашной сеялки. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16. № 4 (79). С. 120-128.
2. Рахимов Р. С. и др. Разработка технологии и изготовление комплекса машин для возделывания сельскохозяйственных культур. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. № 1 (21). С. 86-96.
3. Ioannou A. et al. Advanced nanomaterials in agriculture under a changing climate: The way to the future. Environmental and Experimental Botany. 2020. № 176. Article number 104048.
4. Бородин В. И. и др. Совершенствование технологии междурядной обработки пропашных культур. Известия НВ АУК. 2025. № 3 (81). С. 557-567.
5. Murmu K., Thakur T. C. Design and development of combined conservation Tillage machine with chisellers and clod pulverizing roller. AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. № 50 (1). Pp. 66-72.
6. Coleman G. R. Y. et al. Using energy requirements to compare the suitability of alternative methods for broadcast and cite-specific weed control. Weed Technology. 2019. Vol. 33. Issue 4. Pp. 633-650.
7. Шапоров М. Н. и др. Результаты экспериментальных исследований физико-механических свойств плетей бахчевых культур. Известия НВ АУК. 2023. № 4 (72). С. 460-470.
8. Бумбар И. В., Мазур В. В., Кувшинов А. А. Совершенствование технологий и технических средств при возделывании кукурузы на зерно в южной сельскохозяйственной зоне Амурской области. Дальневосточный аграрный вестник. 2021. № 2 (58). С. 131-136.
9. Соколов А. С., Соколова Г. Ф. Изучение влияния кратности междурядных обработок на засоренность и урожайность дыни в Астраханской области. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 5 (163). С. 76-81.
10. Федосов С. Е. и др. Повышение качества поверхностной обработки почвы. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2020. № 4. С. 121-127.
11. Алдошин Н. В., Маматов Ф. М., Исмаилов И. И. Средства механизации для обработки почвы в бахчеводстве. Техника и оборудование для села. 2021. № 2 (284). С. 12-15.
12. Руденко Н. Е. и др. Ресурсосберегающий пропашной культиватор. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. № 4. С. 31-37.
13. Мазур В. В. и др. Определение оптимальных параметров комбинации рабочих органов культиватора для междурядной обработки кукурузы в условиях Амурской области. Дальневосточный аграрный вестник. 2023. Т. 17. № 4. С. 197-208.
14. Несмиян А. Ю., Семинихин А. М., Богомяких В. А., Фоменко Д. С. Обоснование параметров приспособления для формирования противозрозионного рельефа в междурядьях пропашных культур. Вестник аграрной науки Дона. 2017. № 4 (40). С. 21-29.
15. Поварь А. А., Мяло В. В. Недостатки и сравнительный анализ орудий для поверхностной обработки почвы. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2016. № 1. С. 242-248.
16. Шилов С. А., Шилов А. Н., Фадеев А. А. Кинематические параметры рабочего органа с изменяемой глубиной обработки почвы по ширине междурядья. Дальневосточный аграрный вестник. 2022. Т. 16. № 3. С. 130-134.
17. Чаткин М. Н., Федоров С. Е., Бычков М. В., Жалнин А. А. Оптимизация параметров рабочих органов культиваторов. ТЕСНика. 2020. № 1. С. 34-37.
18. Юдина Е. М., Малашихин Н. В. Совершенствование технических средств для обработки междурядий. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 3 (77). С. 131-133.
19. Мартынов И. С., Шапоров М. Н., Бородин В. И. Рабочий орган для междурядной обработки почвы. Сельский механизатор. 2022. № 10. С. 8.
20. Мартынов И. С., Шапоров М. Н., Мисюрин В. Ю., Бородин В. И. Разработка и исследование рабочего органа для междурядной обработки бахчевых культур. Известия НВ АУК. 2023. № 2 (70). С. 534-542.

References

1. Martynov I. S. et al. Optimization of the Parameters of the Distribution Device of the Seeding Unit of a Row-Crop Seeder. Vestnik of the Voronezh State Agrarian University. 2023. Vol. 16. No. 4 (79). Pp. 120-128.
2. Rakhimov R. S. et al. Development of Technology and Manufacturing of a Complex of Machines for Cultivating Agricultural Crops. Agrarian Science of Euro-North-East. 2020. No. 1 (21). Pp. 86-96.
3. Ioannou A. et al. Advanced Nanomaterials in Agriculture under a Changing Climate: The Way to the Future. Environmental and Experimental Botany. 2020. No. 176. Article Number 104048.
4. Borodin V. I. et al. Improving the Technology of Inter-Row Cultivation of Row Crops. Proceedings of the LV AUC. 2025. No 3 (81). Pp. 557-567.
5. Murmu K., Thakur T. C. Design and development of combined conservation tillage machine with chisellers and clod pulverizing roller. AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. No. 50 (1). Pp. 66-72.
6. Coleman G. R. Y. et al. Using energy requirements to compare the suitability of alternative methods for broadcast and cite-specific weed control. Weed Technology. 2019. Vol. 33. I. 4. Pp. 633-650.
7. Shaprov M. N. et al. Results of experimental studies of the physical and mechanical properties of melon vines. Proceedings of the LV AUC. 2023. No 4 (72). Pp. 460-470.
8. Bumbar I. V., Mazur V. V., Kuvshinov A. A. Improving technologies and technical means for cultivating grain corn in the southern agricultural zone of the Amur Region. Far Eastern Agrarian Bulletin. 2021. No. 2 (58). Pp. 131-136.
9. Sokolov A. S., Sokolova G. F. Studying the Influence of the Frequency of Inter-Row Cultivation on Weed Infestation and Melon Yield in the Astrakhan Region. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2018. No. 5(163). Pp. 76-81.
10. Fedosov S. E. et al. Improving the Quality of Surface Tillage. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2020. No. 4. Pp. 121-127.
11. Aldoshin N. V., Mamatov F. M., Ismailov I. I. Mechanization tools for tillage in melon growing. Machinery and equipment for the village. 2021. No. 2 (284). Pp. 12-15.

12. Rudenko N. E. et al. Resource-saving row-crop cultivator. *Agricultural machinery and technologies*. 2017. No. 4. Pp. 31-37.
13. Mazur V. V. et al. Determination of optimal parameters for a combination of cultivator working bodies for inter-row cultivation of corn in the Amur Region. *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2023. Vol. 17. No. 4. Pp. 197-208.
14. Nesmiyan A. Yu., Seminikhin A. M., Bogomyagikh V. A., Fomenko D. S. Justification of the parameters of a device for forming anti-erosion relief in the inter-rows of row crops. *Bulletin of agrarian science of the Don*. 2017. No. 4 (40). Pp. 21-29.
15. Povar A. A., Myalo V. V. Disadvantages and comparative analysis of tools for surface tillage. *Bulletin of Omsk State Agrarian University*. 2016. No. 1. Pp. 242-248.
16. Shilov S. A., Shilov A. N., Fadeev A. A. Kinematic Parameters of a Working Tool with Variable Tillage Depth by Row Spacing. *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2022. Vol. 16. No. 3. Pp. 130-134.
17. Chatkin M. N., Fedorov S. E., Bychkov M. V., Zhalnin A. A. Optimization of the parameters of cultivator working bodies. *TESNika*. 2020. No. 1. Pp. 34-37.
18. Yudina E. M., Malashikhin N. V. Improvement of technical means for row spacing. *Bulletin of the Orenburg State Agrarian University*. 2019. No 3 (77). Pp. 131-133.
19. Martynov I. S., Shaprov M. N., Misyuryaev V. Yu., Borodin V. I. Development and study of a working element for inter-row cultivation of melons and gourds. *Proceedings of the LV AUC*. 2023. No. 2 (70). Pp. 534-542.
20. Martynov I. S., Shaprov M. N., Borodin V. I. Working element for inter-row tillage. *Rural machine operator*. 2022. No 10. P. 8.

Информация об авторах

Мартынов Иван Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), ORCID: 0000-0002-6185-7740, e-mail: ismartynov@mail.ru
Шапров Михаил Николаевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), ORCID: 0000-0002-9929-5042, e-mail: m.shaprov@yandex.ru
Бородин Виталий Игоревич, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), ORCID: 0009-0001-0005-475X, e-mail: megavitas.borodin@yandex.ru
Тронеv Сергей Викторович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: stronev@mail.ru

Authors' Information

Martynov Ivan Sergeevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), ORCID: 0000-0002-6185-7740, e-mail: ismartynov@mail.ru
Shaprov Mikhail Nikolaevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), ORCID: 0000-0002-9929-5042, e-mail: m.shaprov@yandex.ru
Borodin Vitaly Igorevich, postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), ORCID: 0009-0001-0005-475X, e-mail: megavitas.borodin@yandex.ru
Tronev Sergey Victorovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: stronev@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-67

THE PHYTOTOXIC EFFECT STUDIES OF THE SOILS CONTAINING BOTTOM SEDIMENTS FROM THE RICE IRRIGATION SYSTEM COLLECTOR

Milchenkova D. V., Drovovozova T. I.*Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems
Novocherkassk, Rostov Region, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: milchenkova.darya@mail.ru

Received 25.07.2025

Submitted 20.12.2025

The study was conducted as part of the implementation of the state assignment of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation for 2025 and the planning period of 2026 and 2027 Reg. No.125012400746-2 "To conduct research and develop technical solutions for a modular drainage and waste water treatment plant using the example of a rice irrigation system".

Summary

The article presents the results of the assessment of the phytotoxic effect of soils obtained by mixing rain-fed soil with bottom sediments from the collector channel of the rice irrigation system. An acceptable level of agrochemical safety of soil obtained by mixing rain-fed soil with 25 % by weight of bottom sediments has been established.

Abstract

Introduction. During the operation of reclamation channels, sedimentation of suspended, organic substances and heavy metals occurs, forming the chemical composition of bottom sediments (BS) and their accumulation. The purpose of the research was to evaluate the soil reclamation properties of sediments from the collector channel of the rice irrigation system (RIS) and to establish the degree of toxicity of the soil obtained by mixing it with rain-fed soil. **The object.** Responses of test plants planted in rain-fed soil, soils obtained by mixing soil and bottom sediments grew on the studied factors. **Materials and methods.** The research was carried out in the laboratory agro-technical complex "Agrolab" "RosNIIPM". In the first series of studies, the type of soil and the type of test plants were variable factors, while the quality of irrigation water was constant. In the second series, the variable factors were the type of soil and the quality of irrigation

water (water from the Don River (DV), water from the Don River mixed with collector and drainage waters from the collector channel RIS in a ratio of 1:1 by volume (DV+CDW)), the constant was the test plant. The determination of the toxic effects of various types of soil was carried out in accordance with phyto-test methods. **Results and conclusions.** The chemical composition of the studied BS was characterized by a high content of mobile phosphorus (46,4 mg/kg) and an average content of potassium (248,4 mg/kg). The introduction BS of RIS to 25 % into the rain-fed soil from the collector channel reduced the germination rate of watercress seeds by 13 %, the germination rate of sorghum and white mustard seeds did not change, which allowed us to conclude about the agro-ecological safety of this soil. When watering the soil, the germination rate of seeds when mixed with the soil drops by 10 %, however, it does not depend on the ratio of soil and BS in the soil. When watering with DV+CDW water, the germination energy of seeds in all types of soils fluctuated by 2 % up or down from the control. The level of toxicity of the soil obtained by adding 25 % by weight to the rain-fed soil BS the collector RIS, when watering the garden in relation to watercress is acceptable (IT = 23.2 %). With an increase in the mass fraction of BS in the soil, the toxicity level increases (IT 47.2 and 52.47 %), which is explained by the high mineralization of soil samples (from 4000 to 6000 mg/kg).

Keywords: sediments, soil types, test plants, soil toxicity index.

Citation. Milchenkova D. V., Drovovozova T. I. The phytotoxic effect studies of the soils containing bottom sediments from the rice irrigation system collector. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 645-659 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-67.

Authors' contribution. Milchenkova D.V. directly planned, executed and analyzed the results of this study. Drovovozova T. I. defined the general concept of research, led the implementation of the research program. All the authors of this article have reviewed and approved the submitted final version.

Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 627.157:502.2.08+626.84

ИССЛЕДОВАНИЯ ФИТОТОКСИЧНОГО ЭФФЕКТА ГРУНТОВ, СОДЕРЖАЩИХ ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ИЗ КОЛЛЕКТОРА РИСОВОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Мильченкова Д. В., научный сотрудник

Дрововозова Т. И., доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник

ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»
г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация

Исследование проводилось в рамках реализации государственного задания Минсельхоза России на 2025 г. рег. № 125012400746-2 «Провести исследования и разработать технические решения модульной станции очистки дренажно-сбросных вод на примере рисовой оросительной системы».

Актуальность. В процессе эксплуатации мелиоративных каналов происходит седиментация взвешенных органических веществ и тяжелых металлов, формирующих химический состав донных отложений (ДО) и их накопление. Цель исследований – оценить агромелиоративные свойства донных отложений из отводящего коллектора рисовой оросительной системы (РОС) и установить степень токсичности грунта, полученного его смешением с богарной почвой. **Объект.** Отклики тест-растений, высаженные в богарную почву, грунты, полученные смешением почвы и донных отложений РОС на исследуемые факторы. **Материалы и методы.** Исследования проводились в лабораторном агротехническом комплексе «Агролаб» ФГБНУ «РосНИИПМ». В первой серии исследований переменными факторами являлись тип грунта и вид тест-растений, постоянным – качество поливной воды. Во второй серии – переменными факторами являлись тип грунта и качество поливной воды (вода из реки Дон (ДВ), вода из реки Дон смешанная с коллекторно-дренажными водами из коллекторного канала РОС в соотношении 1:1 по объему (ДВ + КДВ)), постоянным – тест-растение. Определение токсического воздействия различных типов грунта выполнялось в соответствии с методиками фитотестирования. **Результаты и выводы.** Химический состав исследуемых ДО характеризовался высоким содержанием подвижного фосфора (46,4 мг/кг) и средним содержанием калия (248,4 мг/кг). Внесение в богарную почву ДО с коллекторного канала РОС в количестве 25 % по массе снижало всхожесть семян кресс-салата на 13 %, всхожесть семян сорго и горчицы белой не менялась, что позволило сделать вывод об агроэкологической безопасности данного грунта. При поливе ДВ всхожесть семян при примешивании к почве ДО падает на 10 %, однако не зависит от соотношения почвы и ДО в грунте. При поливе водой ДВ + КДВ энергия прорастания семян во всех типах грунтов колебалась на 2 % в большую или меньшую сторону от контроля. Уровень токсичности грунта, полученного добавлением к богарной почве 25 % по массе ДО из коллектора РОС, при поливе ДВ по отношению к кресс-салату является допустимым (ИТ = 23,2 %). С увеличением массовой доли ДО в грунте уровень токсичности возрастает (ИТ 47,2 и 52,47 %), что объясняется высокой минерализацией образцов грунта (от 4000 до 6000 мг/кг).

Ключевые слова: донные отложения, типы грунтов, тест-растения, индекс токсичности почвы.

Цитирование. Мильченкова Д. В., Дрововозова Т. И. Исследования фитотоксичного эффекта грунтов, содержащих донные отложения из коллектора рисовой оросительной системы. *Известия НВ АУК*. 2026. 1(85). 645-659. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-67.

Авторский вклад. Мильченкова Д. В. непосредственно планировала, выполняла и анализировала результаты данного исследования. Дрововозова Т. И. определила общую концепцию исследований, руководила осуществлением программы исследований. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В связи с изменениями Российского законодательства¹ возникла проблема утилизации извлеченного при уходных работах на естественных и искусственных водотоках донного грунта. В настоящее время учеными проведены многочисленные исследования химического состава донных отложений естественных водных объектов, а также искусственных водотоков на орошаемых землях [1-10].

Вопросам применения донных отложений естественных водотоков в качестве удобрения в сельском хозяйстве посвящены многие работы [11-18]. Так, в работе О. В. Степанын и др. были проведены исследования по возможности использования донных отложений Цимлянского водохранилища в качестве органического удобрения [11-16]. Согласно проведенным ими исследованиям в донных отложениях «содержание органического углерода варьировалось от 0,54 до 3,07 %» [11]. Были установлены единичные случаи превышения предельно-допустимых концентраций цинка и марганца и недостаточного уровня содержания фосфора и органического вещества, однако в целом донные илы из водохранилища соответствовали требованиям, предъявляемым к удобрениям.

Наибольший интерес представляют донные отложения искусственных водотоков, а именно коллекторов, отводящих дренажные воды с орошаемых земель. Химический анализ донных отложений из открытых коллекторных каналов показал, что содержание тяжелых металлов (ТМ) в донных отложениях не превышает предельно допустимые концентрации для почв, однако они характеризуются высоким значением минерализации (таблица 1) [10].

Таблица 1 – Химический состав донных отложений (ДО) из коллектора рисовой оросительной системы и предельно допустимые концентрации веществ [10]

Table 1 – Chemical composition of bottom sediments (BS) from the collector of the rice irrigation system and maximum permissible concentrations of substances [10]

Наименование показателя / Indicator name	ПДК _{почв} (подвижные формы), мг/кг / MPC _{of the soil} (mobile forms), mg/kg	ПДК _{почв} (валовые формы), мг/кг / MPC _{of the soil} (gross forms), mg/kg	Донные отложения / Bottom sediments
pH	-	-	8,3
Сухой остаток / Dry residue	-	-	6020
Железо общее* / Common iron*	н/н	н/н	0,002
Марганец* / Manganese*	140	1500	1,0
Медь** / Copper**	3,0	132	10
Свинец** / Lead**	6,0	130	4,5
Цинк** / Zinc**	23	220	19,5

*подвижные формы / *movable forms

**валовые формы / **gross forms

Вышеуказанные факторы ограничивают возможности повторного использования такого донного грунта в растениеводстве. Поскольку донные отложения способны накапливать загрязняющие вещества, то прежде чем рекомендовать использование их в качестве удобрений необходимо оценить уровень их экологической и агрохимической безопасности.

1 О внесении изменения в федеральный классификационный каталог отходов, утвержденный приказом Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242: Приказ Росприроднадзора от 4 октября 2021 г. N 670 КонтурНорматив

Цель исследований – оценить агромелиоративные свойства донных отложений из отводящего коллектора рисовой оросительной системы и установить степень токсичности грунта, полученного его смешением с богарной почвой.

Материалы и методы. Объектом исследования являлись отклики тест-растений, высаженные в богарную почву, грунты, полученные смешением почвы и донных отложений рисовой оросительной системы. Провели две серии исследований с одним постоянным фактором и двумя переменными (рисунок 1).

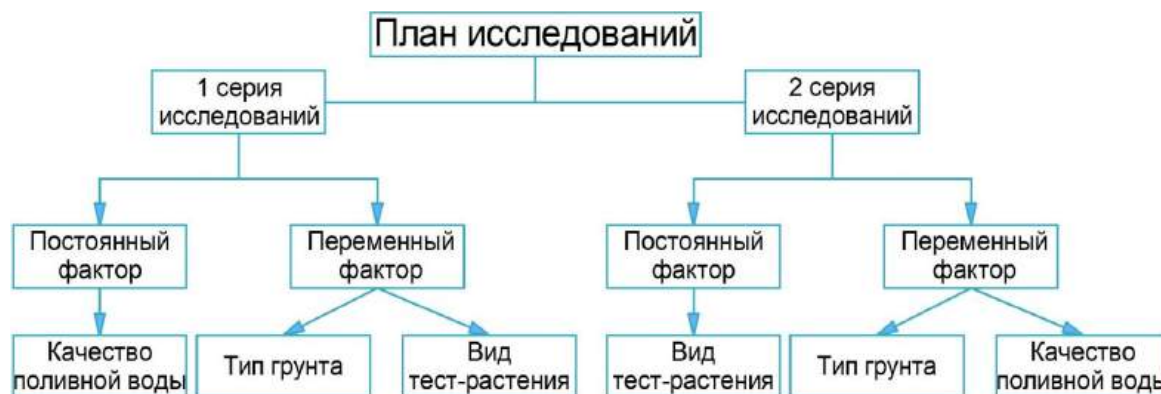


Рисунок 1 – План исследования грунтов, содержащих донные отложения

Figure 1 – The plan of investigation of the soils containing bottom sediments

В фитоиндикационных исследованиях первой серии учитывались следующие факторы: фактор А – тип грунта, фактор Б – вид тест-растений (таблица 2). Тест-растения были отобраны согласно рекомендациям ГОСТ Р ИСО 18763-2019²: кресс-салат, сорго, горчица белая. Полив осуществлялся водой, очищенной на обратноосмотической установке.

Таблица 2 – Переменные факторы в первой серии исследований

Table 2 – Variable factors in the first series of studies

№ опыта / Experiment number	Фактор А – Тип грунта / Factor A is the type of soil	Фактор Б – Тест-растение / Factor B – Test Plant
1	П / soils selected from rain-fed lands	Кресс-салат / Watercress salad
2	П+ДО (1:1) / a mixture of rich soil and bottom sediments (1:1)	Кресс-салат / Watercress salad
3	П+ДО (2:1) / a mixture of rich soil and bottom sediments (2:1)	Кресс-салат / Watercress salad
4	П+ДО (3:1) / a mixture of rich soil and bottom sediments (3:1)	Кресс-салат / Watercress salad
5	П / soils selected from rain-fed lands	Сорго / Sorghum
6	П+ДО (1:1) / a mixture of rich soil and bottom sediments (1:1)	Сорго / Sorghum
7	П+ДО (2:1) / a mixture of rich soil and bottom sediments (2:1)	Сорго / Sorghum
8	П+ДО (3:1) / a mixture of rich soil and bottom sediments (3:1)	Сорго / Sorghum
9	П / soils selected from rain-fed lands	Горчица белая / White mustard
10	П+ДО (1:1) / a mixture of rich soil and bottom sediments (1:1)	Горчица белая / White mustard
11	П+ДО (2:1) / a mixture of rich soil and bottom sediments (2:1)	Горчица белая / White mustard
12	П+ДО (3:1) / a mixture of rich soil and bottom sediments (3:1)	Горчица белая / White mustard

2 ГОСТ Р ИСО 18763-2019. Качество почвы. Определение токсического воздействия загрязняющих веществ на всхожесть и рост на ранних стадиях высших растений: нац. Стандарт Российской Федерации: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 августа 2019 г. № 497-ст: введен впервые: дата введения 01.01.2021.

Фактор А: П – почвы, отобранные на богарных землях; П + ДО (1:1) – механическая смесь богарной почвы и донных отложений из коллектора с рисовой оросительной системы в равных массовых частях; П + ДО (2:1) – механическая смесь 2 частей по массе богарной почвы и 1 части по массе донных отложений из коллектора с рисовой оросительной системы; П + ДО (3:1) – механическая смесь 3 частей по массе богарной почвы и 1 части по массе донных отложений из коллектора с рисовой оросительной системы.

Вторая серия исследований проводилась с тест-растением кресс-салат. Переменными факторами эксперимента являлись: фактор А – тип грунта, фактор В – качество поливной воды: ДВ – вода из реки Дон, ДВ + КДВ – вода из реки Дон смешанная с коллекторно-дренажными водами из коллекторного канала РОС в соотношении 1:1 по объему (таблица 3).

Таблица 3 – Переменные факторы во второй серии исследований
Table 3 – Variable factors in the second series of studies

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
Фактор А – тип грунта / Factor A is the type of soil	П / soils selected from rain-fed lands	П+ДО (1:1) / a mixture of rain-fed soils and bottom sediments (1:1)	П+ДО (2:1) / a mixture of rain-fed soils and bottom sediments (2:1)	П+ДО (3:1) / a mixture of rain-fed soils and bottom sediments (3:1)	П / soils selected from rain-fed lands	П+ДО (1:1) / a mixture of rain-fed soils and bottom sediments (1:1)	П+ДО (2:1) / a mixture of rain-fed soils and bottom sediments (2:1)	П+ДО (3:1) / a mixture of rain-fed soils and bottom sediments (3:1)
Фактор В – качество поливной воды / Factor B – irrigation water quality	ДВ / water from the Don River	ДВ / water from the Don River	ДВ / water from the Don River	ДВ / water from the Don River	ДВ+КДВ / water from the Don River mixed with collector and drainage waters from the collector channel	ДВ+КДВ / water from the Don River mixed with collector and drainage waters from the collector channel	ДВ+КДВ / water from the Don River mixed with collector and drainage waters from the collector channel	ДВ+КДВ / water from the Don River mixed with collector and drainage waters from the collector channel

Отбор проб почвы и донных отложений осуществлялся в одно и то же время. Токсичность исследуемых грунтов определяли методом фитотестирования (методом «Фитотест»). Длительность фитотестирования 7 суток³. Параметрами фитотестирования (тест-функциями) являлись энергия прорастания семян (всхожесть), длина корней, длина ростков, надземная фитомасса [19].

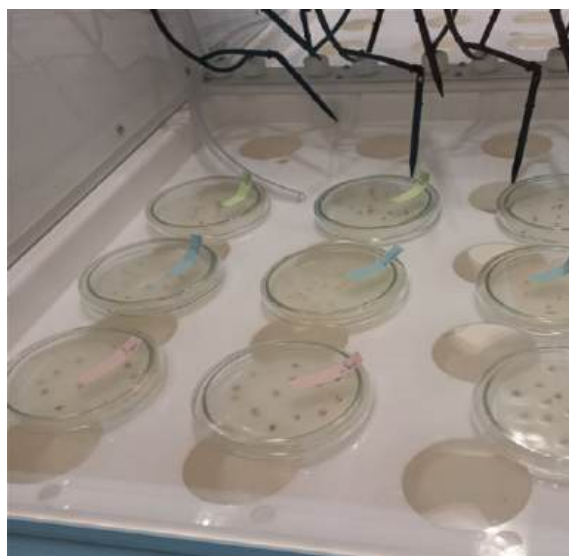
Опыты выполнялись в лабораторном агротехническом комплексе «Агролаб» ФГБНУ «РосНИИПМ».

Фитотестирование всех типов грунтов, проводили двумя способами:

- 1) размещением семян тест-растений в водной вытяжке (рисунок 2 а),
- 2) посевом семян непосредственно в грунт (рисунок 2 б).

В каждый вегетационный сосуд высевали 15 семян (N_0). Опыты проводились в трехкратной повторности. Высев в водной вытяжке приняли за холостой опыт, в богарной почве за контроль.

³ Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности. Методические рекомендации МР 2.1.7.2297-07: утв. Глав. Гос. санитарным врачом РФ 10 октября 2007. URL: <https://base.garant.ru/4186631/?ysclid=md2sezk2i206140819>



а) посев семян в водной вытяжке в чашках Петри
a) sowing seeds in an aqueous extract in Petri dishes



б) посев семян в грунт
b) sowing seeds in the ground

Рисунок 2 – Вид проб в секциях лабораторного агротехнического комплекса «Агролаб»
Figure 2 – Type of samples in sections of the laboratory agrotechnical complex «Agrolab»

Энергию прорастания (всхожесть, B) определяли по формуле:

$$B = \frac{N_p}{N_0} \cdot 100 \% \quad (1)$$

где B – энергия прорастания, %; N_p – число проросших семян, шт.; N_0 – общее число семян, взятых для опыта, шт.⁴

Уровень токсичности грунта определяли по двум показателям: фитотоксичному эффекту (ФЭ) какого-либо единичного параметра и индексу токсичности (ИТ), определяемого по сочетанному действию нескольких параметров. Индекс токсичности грунта определяется либо химическим анализом (люминесцентным)⁵, либо фитотестированием. Оба способа характеризуются высокой степенью объективности.

Фитотоксичный эффект грунта по любому из параметров рассчитывали по формуле:

$$\text{ФЭ} = \frac{T\Phi_k - T\Phi_{оп}}{T\Phi_k} \cdot 100 \% \quad (2)$$

где ФЭ – фитотоксичный эффект, %; $T\Phi_k$ – тест-функция растений в контроле; $T\Phi_{оп}$ – тест-функция растений на фитотоксичной среде (в опыте) [20].

Критерии уровня фитотоксичного эффекта почвы или любого грунта представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Критерии уровня фитотоксичного эффекта грунта по i -ой тест-функции

Table 4 – Criteria for the level of phytotoxic effect of soil according to the i -th test function

Значение показателя ФЭ, % / The value of the FE indicator, %	Характеристика уровня токсичности грунта / Characteristics of the soil toxicity level
$\text{ФЭ} < 10$	Отсутствует / Absent
$10 \leq \text{ФЭ} < 30$	Слабый / Weak
$30 \leq \text{ФЭ} \leq 50$	Средний / Medium
$\text{ФЭ} > 50$	Высокий / High

4 Выродов И. П. Метод расчета жизнеспособности и всхожести семян // Известия ВУЗов. Пищевая технология. 1999. № 2-3. С. 60-62. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-rascheta-zhiznesposobnosti-i-vshozhesti-semyan/viewer>

5 Определение интегральной токсичности почв с помощью биотеста "Эколюм": Методические рекомендации МР 01.019-07: утв. Глав. врачом ФГУЗ «Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Федеральной службы по надзору и защите прав потребителей и благополучия человека 15 июня 2007.

Индекс фитотоксичности грунта (ИТ) (индекс токсичности почвы) по n -му количеству контролируемых параметров фитотестирования представляет собой среднее арифметическое из фитотоксичных эффектов грунта по любому из параметров, выраженный в процентах:

$$\text{ИТ} = \frac{\sum_{i=1}^n \Phi \Theta_i}{n} \cdot 100 \% \quad (3)$$

где ИТ – индекс токсичности грунта (почвы); n – количество тест-функций, шт.; i – контролируемая тест-функция.

Таблица 5 – Критерии оценки токсичности грунта по действию на тест-растение по ИТ [21]
Table 5 – Criteria for assessing soil toxicity by effect on the test plant according to the soil toxicity index [21]

Значение показателя ИТ, % / The value of the IT indicator, %	Характеристика степени токсичного воздействия грунта на тест-растение / Characteristics of the degree of toxic effect of soil on the test plant
0 – 25	Допустимая степень токсичности / Acceptable degree of toxicity
26 – 70	Образец умеренной токсичности / A sample of moderate toxicity
более 71 / more than 71	Образец высоко токсичен / The sample is highly toxic

Агрономелиоративная оценка исследуемых типов грунта проводилась по показателям: органическое вещество, подвижный фосфор, калий, азот нитратный. Содержание гумуса оценивали по методу Тюрина в модификации ЦИНАО, нитратного азота по методу ЦИНАО, подвижного фосфора и калия в соответствии с ГОСТ 26205-91⁶.

Результаты и обсуждение. Результаты агрономелиоративной оценки качества почв, ДО и их смесей представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Агрохимические свойства богарной почвы и грунтов, полученных смешением почвы с ДО из коллектора рисовой оросительной системы (пробы отобраны в августе 2024)

Table 6 – Agrochemical properties of rain fed soil and soils obtained by mixing soil with BS from the collector of the rice irrigation system (samples collected in August 2024)

Тип грунта / Type of soil	Органическое вещество / Organic matter		Азот нитратный / Nitrogen nitrate		Фосфор / Phosphorus		Калий / Potassium	
	%	Обеспеченность / Security	Мг/кг / Mg/kg	Обеспеченность / Security	Мг/кг / Mg/kg	Обеспеченность / Security	Мг/кг / Mg/kg	Обеспеченность / Security
Почвы богарные / Rain-fed soils	3,2	Низкогумусовые / Low-humus	16,78	Средняя / Medium	80,2	Очень высокая / Very high	802,8	Очень высокая / Very high
ДО / bottom sediments	2,1	Низкогумусовые / Low-humus	1,15	Очень низкая / Very low	46,4	Высокая / High	248,4	Средняя / Medium
П + ДО 3:1 / a mixture of rain-fed soils and bottom sediments 3:1	2,92	Низкогумусовые / Low-humus	12,87	Низкая / Low	71,75	Очень высокая / Very high	664,2	Очень высокая / Very high
П+ДО 2:1 / a mixture of rain-fed soils and bottom sediments 2:1	2,83	Низкогумусовые / Low-humus	11,57	Низкая / Low	68,9	Очень высокая / Very high	618,0	Очень высокая / Very high
П + ДО 1:1 / a mixture of rain-fed soils and bottom sediments 1:1	2,65	Низкогумусовые / Low-humus	8,965	Очень низкая / Very low	63,3	Очень высокая / Very high	525,6	Высокая / High

6 ГОСТ 26205-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО: утв. и введ. Постановлением Комитета стандартизации и метрологии СССР № 2389 от 29.12.1991. 8 с.

Почвы, донные отложения и их смеси по содержанию органического вещества относятся к низкогумусовым, обеспеченность азотом нитратным в почве средняя в ДО – очень низкая, соответственно их смеси также характеризуются низким содержанием нитратного азота. По содержанию подвижного фосфора и калия обеспеченность почвы характеризуется как очень высокая, поэтому не смотря на более низкую обеспеченность ими ДО, смеси П и ДО позволяют получить грунты с очень высоким содержанием фосфора и калия.

Всхожесть семян в почве сравнивали с холостым опытом, всхожесть семян в смешанных грунтах – с почвой. Лабораторную всхожесть рассчитали на 5 и 7 сутки (таблица 7).

Таблица 7 – Результаты вычисления всхожести семян тест-растений в исследуемых типах грунта
Table 7 – Results of calculating the germination of seeds of test plants in the studied soil types

Тип грунта / Type of soil	Тест-растение / The test plant	Количество проросших семян (а) / Number of germinated seeds (a)		Всхожесть, % / Germination, %	
		На 5 сутки / For the 5th day	На 7 сутки / For the 7th day	На 5 сутки / For the 5th day	На 7 сутки / For the 7th day
Холостой опыт / Idle experiment	Кресс-салат / Watercress salad	15	13	100	87
П / soils selected from rain-fed lands	Кресс-салат / Watercress salad	11	11	73,3	73,3
П + ДО (1:1) / a mixture of rain-fed soils and bottom sediments (1:1)	Кресс-салат / Watercress salad	6	7	40	47
П + ДО (2:1) / a mixture of rain-fed soils and bottom sediments (2:1)	Кресс-салат / Watercress salad	2	9	13	60
П + ДО (3:1) / a mixture of rain-fed soils and bottom sediments (3:1)	Кресс-салат / Watercress salad	3	9	20	60
Холостой опыт / Idle experiment	Copro / Sorghum	8	5	53,3	34
П / soils selected from rain-fed lands	Copro / Sorghum	9	6	60	13,3
П + ДО (1:1) / a mixture of rain-fed soils and bottom sediments (1:1)	Copro / Sorghum	4	4	27	27
П + ДО (2:1) / a mixture of rain-fed soils and bottom sediments (2:1)	Copro / Sorghum	0	0	0	0
П + ДО (3:1) / a mixture of rain-fed soils and bottom sediments (3:1)	Copro / Sorghum	0	2	0	13,3
Холостой опыт / Idle experiment	Горчица белая / White mustard	15	14	100	93,3
П / soils selected from rain-fed lands	Горчица белая / White mustard	8	6	53,3	60
П + ДО (1:1) / a mixture of rain-fed soils and bottom sediments (1:1)	Горчица белая / White mustard	6	8	40	53,3
П + ДО (2:1) / a mixture of rain-fed soils and bottom sediments (2:1)	Горчица белая / White mustard	3	7	20	47
П + ДО (3:1) / a mixture of rain-fed soils and bottom sediments (3:1)	Горчица белая / White mustard	5	9	33,3	60

Далее графически изобразили зависимость всхожести семян тест-растений от изучаемого типа грунта (рисунок 3). Исключив неоднозначные результаты, полученные на смеси почвы и ДО в соотношении 2:1, получили закономерные зависимости всхожести от типа грунта для всех тест-растений (рисунок 3 б).

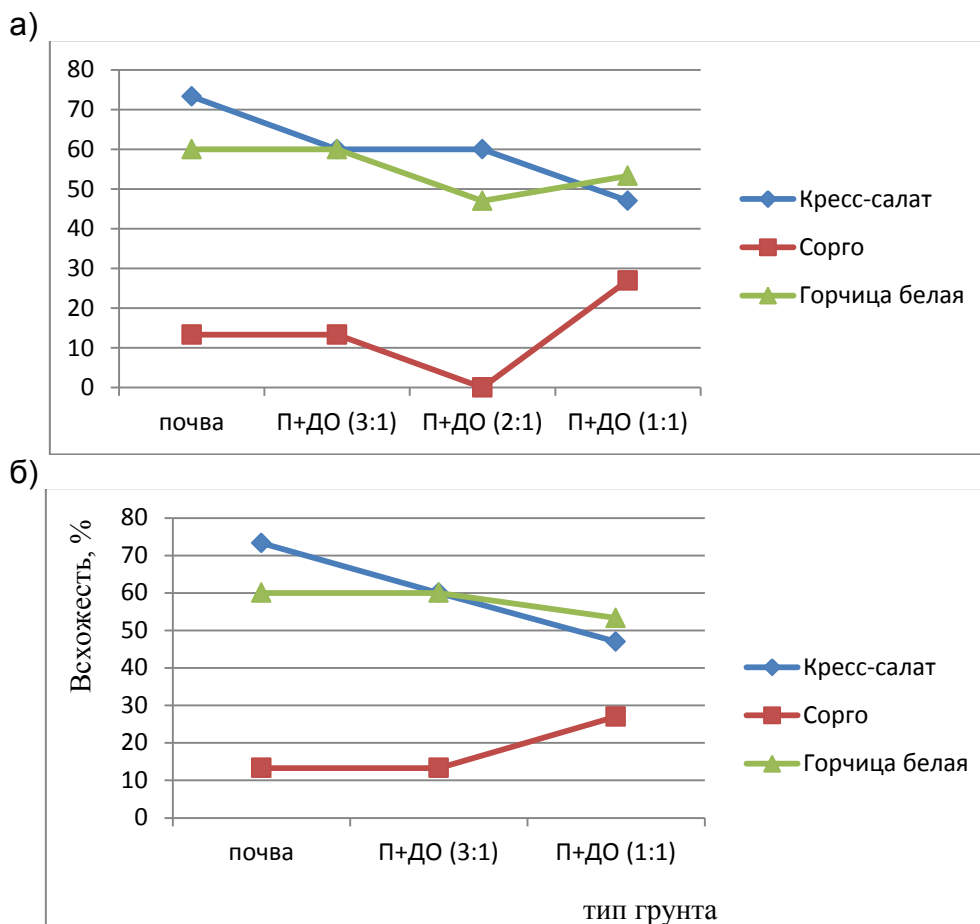


Рисунок 3 – Всхожесть семян тест-растений в почве и смешанных грунтах на 7 сутки
Figure 3 – Germination of test plant seeds in soil and mixed soils on day 7



Рисунок 4 – Взвешивание фитомассы
Figure 4 – Weighing of phytomass

Результаты исследований показали, что внесение в грунт ДО с коллекторного канала рисовой оросительной системы в количестве 25 % по массе снижало всхожесть семян кресс-салата на 13 %, а вариант (П + ДО (1:1)) 50 % по массе – угнетало всхожесть семян на 26 %. У семян сорго и горчицы белой, являющихся сидератами, увеличение в грунте доли донных отложений либо не влияло на всхожесть, либо ее стимулировало. Так, если содержание ДО в грунте составляло 25 % по массе, то всхожесть семян сорго и горчицы белой не менялась, а содержание ДО в грунте 50 % по массе для горчицы белой уменьшало ее примерно на 7 %, для семян сорго – увеличивало почти на 14 %. Через 30 суток после закладки семян тест-растений их зеленая фитомасса была срезана, взвешена и рассчитана плотность фитомассы (рисунок 4).

По среднему весу из повторностей опытов рассчитали плотность фитомассы, приходящуюся на площадь вегетационного сосуда. Результаты исследований представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Плотность фитомассы тест-растений при выращивании на различном грунте через 30 суток после закладки семян

Table 8 – Phytomass density of test plants when grown on different soil 30 days after seed laying

Вид растения / Plant type	Плотность фитомассы (мг/см ²) на типах грунта / Phytomass density (mg/cm ²) on soil types		
	П / Soils selected from rain-fed lands	П + ДО 3:1 / a mixture of rain-fed soils and bottom sediments (3:1)	П + ДО 1:1 / a mixture of rain-fed soils and bottom sediments (1:1)
Кресс салат / Watercress salad	11,46	5,73	4,67
Сорго / Sorghum	6,16	2,33	3,39
Горчица белая / White mustard	13,37	10,62	13,58

Исследования с семенами сорго не показали однозначного результата, так как во всех видах грунта они покрывались плесенью. Наиболее чувствительным при прорастании к составу грунта оказался кресс-салат.

Дальнейшие исследования проводили с кресс-салатом. При этом, как указывалось ранее, переменными параметрами являлись и тип грунта, и качество поливной воды. Лабораторная всхожесть семян кресс-салата на 7 сутки при поливе природными водами представлена на рисунке 5.

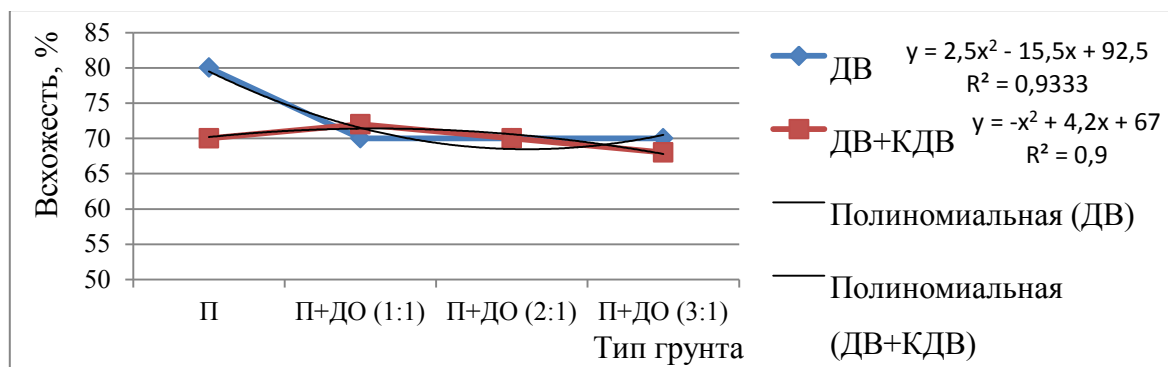


Рисунок 5 – Всхожесть кресс-салата в различных типах грунта при поливе донской водой и смешанной с КДВ

Figure 5 – Germination of watercress in various types of soil when watered with Don water and mixed with collector drainage water

Результаты показали, что при поливе донской водой всхожесть семян при применении к почве ДО падает на 10 %, однако не зависит от соотношения почвы и ДО в грунте. При поливе водой, полученной смешением донской и коллекторно-дренажных вод, энергия прорастания семян во всех типах грунтов колебалась на 2 % в большую или меньшую сторону от контроля, что на наш взгляд, может быть объяснено погрешностью эксперимента. При этом фактические значения и зависимости всхожести при поливе природными водами схожие. Влияние качества поливной воды на всхожесть семян кресс-

салата очевидно, донская вода и вода, полученная смешением выше указанных вод, характеризовались существенным содержанием фосфат-ионов, что усиливало удобрительный эффект. В таблице 9 для сравнения приведены данные всхожести семян кресс-салата на 7 сутки на различных грунтах и при поливе различной водой.

Таблица 9 – Сравнительные результаты всхожести кресс-салата при поливе водой различного качества
Table 9 – Comparative results of the germination of watercress when watered with water of different quality

Тип грунта / Type of soil	Всхожесть, % / Germination, %		
	Полив ООСВ* / Watering with water after reverse osmosis installation	Полив ДВ / watered with Don water	Полив водой Д + КДВ / watered with Don water and mixed with collector drainage water
П / Soils selected from rain-fed lands	73	80	70
П + ДО (1:1) / a mixture of rain-fed soils and bottom sediments (1:1)	47	70	72
П + ДО (2:1) / a mixture of rain-fed soils and bottom sediments (2:1)	60	70	70
П + ДО (3:1) / a mixture of rain-fed soils and bottom sediments (3:1)	60	70	68

ООСВ* – вода после обратноосмотической установки / Watering with water after reverse osmosis installation

Из данных таблицы виден синергетический эффект от внесения ДО и полива природной водой, либо водой, полученной смешением с КДВ рисовой оросительной системы.

Далее были проведены измерения длины ростков (l_p) и корней (l_k) в проросших растениях кресс-салата (рисунок 6). Результаты исследований представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Средняя длина ростка и корня кресс-салата в различных опытах
Table 10 – Average length of the sprout and root of watercress in various experiments

№ опыта / № experience	1	2	3	4	5	6	7	8
Тип грунта / Type of soil	П / rain-fed soils and	П + ДО (1:1) / mixture of rain-fed soils and bottom sediments (1:1)	П + ДО (2:1) / mixture of rain-fed soils and bottom sediments (2:1)	П + ДО (3:1) / mixture of rain-fed soils and bottom sediments (3:1)	П / rain-fed soils and	П + ДО (1:1) / mixture of rain-fed soils and bottom sediments (1:1)	П + ДО (2:1) / mixture of rain-fed soils and bottom sediments (2:1)	П + ДО (3:1) / mixture of rain-fed soils and bottom sediments (3:1)
Вариант полива / Irrigation option	ДВ / Don water	ДВ / Don water	ДВ / Don water	ДВ / Don water	ДВ + КДВ / watered with Don water and mixed with collector drainage water	ДВ + КДВ / watered with Don water and mixed with collector drainage water	ДВ + КДВ / watered with Don water and mixed with collector drainage water	ДВ + КДВ / watered with Don water and mixed with collector drainage water
Средняя длина ростка (l_p) / Average sprout length (l_p)	5,55	5,03	5,25	5,18	5,45	4,96	5,04	4,92
Средняя длина корня (l_k) / Average root length (l_k)	3,75	2,6	2,65	3,6	3,67	2,85	2,6	3,5

Вид извлеченных из грунта ростков кресс-салата отдельных опытов представлен на рисунке 6.



Рисунок 6 – Вид проростков тест-растения
Figure 6 – Type of test plant seedlings

Фитотоксичный эффект грунтов оценили по параметрам всхожесть, длина ростков и корней (таблица 11).

Таблица 11 – Фитотоксичный эффект по всхожести семян, длине ростков и корня кресс-салата
Table 11 – Phytotoxic effect on germination of seeds, sprouts and root of watercress

№ опыта / N	2	3	4	6	7	8
Тип грунта / Type of soil	П + ДО (1:1) / mixture of rain-fed soils and bottom sediments (1:1)	П + ДО (2:1) / mixture of rain-fed soils and bottom sediments (2:1)	П + ДО (3:1) / mixture of rain-fed soils and bottom sediments (3:1)	П + ДО (1:1) / mixture of rain-fed soils and bottom sediments (1:1)	П + ДО (2:1) / mixture of rain-fed soils and bottom sediments (2:1)	П + ДО (3:1) / mixture of rain-fed soils and bottom sediments (3:1)
Вариант полива / Irrigation option	ДВ / Don water	ДВ / Don water	ДВ / Don water	ДВ + КДВ / watered with Don water and mixed with collec- tor drainage water	ДВ + КДВ / watered with Don water and mixed with collec- tor drainage water	ДВ + КДВ / watered with Don water and mixed with collec- tor drainage water
ФЭ _в , % /	12,5	12,5	12,5	0	0	2,8
ФЭ(<i>l</i> _р), % /	9,37	5,4	6,7	9,0	7,5	9,7
ФЭ(<i>l</i> _к), % /	30,6	29,3	4,0	22,34	29,15	4,6

Из данных таблицы видно, что наиболее ярко выраженный токсичный эффект проявляется по отношению к корневой системе, причем в грунте, содержащем 25 % по массе ДО, фитотоксичный эффект отсутствует, с увеличением содержания ДО (33 и 50 %) уровень токсичности приближается к среднему.

Далее рассчитали индекс токсичности грунтов – смесей почвы и ДО в различных соотношениях по массе по отношению к кресс-салату при поливе донской водой и водой, полученной смешением донской и коллекторно-дренажной вод, по всем трем контролируемым параметрам (таблица 12).

Таблица 12 – Характеристика уровня токсичности грунтов по отношению к кресс-салату

Table 12 – Characteristics of the soil toxicity level in relation to watercress

№ опыта / N	2	3	4	6	7	8
Тип грунта / Type of soil	П + ДО (1:1) / mixture of rain-fed soils and bottom sediments (1:1)	П + ДО (2:1) / mixture of rain-fed soils and bottom sediments (2:1)	П + ДО (3:1) / mixture of rain-fed soils and bottom sediments (3:1)	П + ДО (1:1) / mixture of rain- fed soils and bottom sedi- ments (1:1)	П + ДО (2:1) / mixture of rain-fed soils and bottom sediments (2:1)	П + ДО (3:1) / mixture of rain-fed soils and bottom sediments (3:1)
Вариант полива / Irrigation option	ДВ / Don water	ДВ / Don water	ДВ / Don water	ДВ + КДВ / watered with Don water and mixed with collector drainage water	ДВ + КДВ / watered with Don water and mixed with collector drainage water	ДВ + КДВ / watered with Don water and mixed with collec- tor drainage water
ИТ, %	52,47	47,2	23,2	31,34	36,65	17,1
Уровень токсичности грунта / The level of soil toxicity	Умеренный / Moderate		Допустимый / Acceptable	Умеренный / Moderate		Допустимый / Acceptable

Закключение. Донные отложения из коллекторного канала рисовой оросительной системы характеризуются высоким содержанием подвижного фосфора (46,4 мг/кг) и средним содержанием калия (248,4 мг/кг), поэтому при смешении с богарной почвой могут проявить синергетический удобрительный эффект. Исследования уровня токсичности грунта, смешанного с донными отложениями, позволили сделать вывод об агроэкологической безопасности грунтов и установить допустимое массовое соотношение почвы и ДО из открытого коллектора.

Исследования показали, что уровень токсичности грунта, полученного добавлением к богарной почве 25 % по массе донных отложений из коллектора рисовой оросительной системы, при выращивании кресс-салата является допустимым. С увеличением массовой доли донных отложений в грунте уровень токсичности возрастает, что объясняется высокой минерализацией образцов грунта (от 4000 до 6000 мг/кг). Грунт, содержащий 25 % по массе ДО, не оказывал на сидераты сорго и горчицу белую явно выраженного токсичного эффекта. Но поскольку с сидератами исследуемой тест-функцией рассматривалась только всхожесть семян, то для установления достоверного отклика этих растений на присутствие в грунте донных отложений требуются дальнейшие исследования.

Оценка токсичности грунта по фитотоксичному эффекту по какому-либо одному из параметров дает заниженные результаты степени токсичности грунта. Для объективной и достоверной оценки степени токсичности грунта необходимо учитывать весь комплекс тест-функций растений на исследуемом грунте.

Conclusions. Bottom sediments from the collector channel of the rice irrigation system are characterized by a high content of mobile phosphorus (46.4 mg/kg) and an average content of potassium (248.4 mg/kg), therefore, when mixed with rainfed soil, they can exhibit a synergistic fertilizing effect. Studies of the toxicity level of soil mixed with bottom sediments allowed us to conclude about the agroecological safety of soils and establish an acceptable mass ratio of soil and bottom sediments from the collector channel.

Studies have shown that the level of toxicity of the soil obtained by adding 25 % by weight of bottom sediments from the collector channel of the rice irrigation system to the rainfed soil is acceptable when growing watercress. With an increase in the mass fraction of bottom sediments in the soil, the toxicity level will increase, which is explained by the high mineralization of soil samples (from 4000 to 6000 mg/kg). The soil containing 25 % by weight of BS to had no pronounced toxic effect on green manures sorghum and white mustard. However, since only the germination of seeds was considered with green manures, further studies are required to establish a reliable response of these plants to the presence of bottom sediments in the soil.

Assessment of soil toxicity by phytotoxic effect on any one of the parameters gives underestimated results of the degree of soil toxicity. For an objective and reliable assessment of the degree of soil toxicity, it is necessary to take into account the entire complex of test functions of plants on the soil under study.

Библиографический список

1. Дворникова В. С., Каверина Н. В. Геохимическое состояние донных отложений пойменных озер Подгоренского гидрографического участка р. Дон. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2016. № 1. С. 71-74.
2. Рыжаков А. Н., Мартынов Д. В. Оценка степени загрязнения донных отложений малых рек Ростовской области. Экология и водное хозяйство. 2021. Т. 3. № 2. С. 29-39.
3. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: РАН, 2021. 298 с.
4. Молев М. Д., Паскарелов С. И., Мирошниченко Д. Е. Оценка содержания тяжёлых металлов в донных отложениях реки Дон. Дневник науки. 2023. № 5. <http://www.dnevniknauki.ru/>
5. Матишов Г. Г., Польшин В. В., Ильин Г. В., Усягина Г. С. Донные отложения дельты Дона и содержание техногенных радионуклидов в них. Наука Юга России. 2023. Т. 19. № 3. С. 29-38.
6. Hakanson L. Ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach. Wat. Res. 1980. Vol. 14. Pp. 975-1001.
7. Закруткин В. Е., Решетняк В. Н., Решетняк О. С., Гибков Е. В. Донные отложения рек техногенно нарушенных геосистем Восточного Донбасса: сравнительная оценка уровня загрязнения тяжелыми металлами по отечественным и зарубежным критериям. Известия РАН. Серия Географическая. 2021. Т. 85. № 4. С. 554-564.
8. Abraham G. M. S., Parker R. J. Assessment of heavy metal enrain fedment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. Environ. Monit. Assess. 2008. V. 36. Pp. 227-238.
9. Дударева И. А., Алимова Г. С., Токарева А. Ю. Марганец в воде и донных отложениях нижнего течения реки Иртыш. Успехи современного естествознания. 2017. № 8. С. 70-74. <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36523>
10. Дрововозова Т. И., Булгакова Л. А., Власов М. В., Красовская Н. Н. Изучение содержания тяжелых металлов в донных отложениях и воде в отводящем канале рисовой оросительной системы. Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14. № 4. С. 155-170.
11. Степаньян О. В., Рыбалкина Е. И., Хорошев О. А., Казеев К. Ш., Нестерук Г. В., Клещенков А. В., Польшин В. В., Герасюк В. С. Использование донных отложений Цимлянского водохранилища в качестве органического удобрения. Наука юга России. 2024. Т. 20. № 4. С. 61-69.
12. Лобченко Е. Е., Минина Л. И., Ничипорова И. П., Первышева О. А. Динамика качества воды Цимлянского водохранилища (за период с 1979 по 2014 годы). Водное хозяйство России. 2016. № 6. С. 74-92.
13. Гуляев М. В., Горская О. И. Применение технологии переработки донного ила Цимлянского водохранилища для решения проблемы его заиления. Глобальная ядерная безопасность. 2014. № 2 (11). С. 36-38.
14. Стрелков С. П., Кондрашин К. Г., Сорокин А. П., Мухин А. А., Петров Р. А. Модель применения материала донных отложений в сельском хозяйстве. Астраханский вестник экологического образования. 2023. № 3 (75). С. 115-121.
15. Ветчинников А. А., Титова В. И., Баранов А. И., Сеньчева Е. В. Оценка возможности использования донных отложений пруда для рекультивации техногенно нарушенных почв. Агрохимический вестник. 2018. № 2. С. 50-53.
16. Никаноров А. М., Хоружая Т. А., Мартышева Н. А. Современные характеристики и тенденции многолетних изменений эколого-токсикологического состояния Цимлянского водохранилища. Метеорология и гидрология. 2012. № 4. С. 75-85.
17. Kazberuk W., Szulc W., Rutkowska B. Use bottom sediment to agriculture – effect on plant and heavy metal content in soil. Agronomy. 2021. № 11 (6). P. 1077.
18. Szara-Bak M., Baran A., Klimkowicz-Pawlas A. Recycling of bottom sediment to agriculture: effects on plant growth and soil properties. Journal of Soils and Sediments. 2023. № 23 (1). Pp. 539-551.
19. Тишин А. С., Тишина Ю. Р. Методы и способы фитотестирования почв: обзор. Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 11-2 (113). С. 93-98. <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-i-sposoby-fitotestirovaniya-pochv-obzor/viewer>
20. Манжина С. А., Дрововозова Т. И., Русин Л. И. Исследование экологических и агрохимических показателей осадков сточных вод методом фитотестирования. Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13. № 3. С. 188-205.
21. Котьяк П. А., Чебыкина Е. В., Воронин А. Н., Носкова Е. В. Изменение токсичности почвы под действием технологий возделывания культур. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2023. № 8(226). С. 25-33. <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-toksichnosti-pochvy-pod-deystviem-tehnologiy-vozdelyvaniya-kultur/viewer>

References

1. Dvornikova V. S., Kaverina N.V. Geochemical state of bottom sediments of floodplain lakes of the Podgorensk hydrographic area of the river. Don. Bulletin of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology. 2016. No 1. Pp. 71-74.
2. Ryzhakov A. N., Martynov D. V. Assessment of the degree of pollution of bottom sediments of small rivers of the Rostov region. Ecology and water management. 2021. V. 3. No 2. Pp. 29-39.
3. Vinogradov A. P. Geochemistry of rare and scattered chemical elements in soils. Moscow: RAS, 2021. 298 p.
4. Molev M. D., Paskarelov S. I., Miroshnichenko D. E. Assessment of heavy metals content in river bottom sediments Don. Diary of science. 2023. № 5. <http://www.dnevniknauki.ru/>
5. Matishev G. G., Polshin V. V., Ilyin G. V., Usyagina G. S. Bottom sediments of the Don Delta and the content of technogenic radionuclides in them. Science of the South of Russia. 2023. V. 19. No 3. Pp. 29-38.
6. Hakanson L. Ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach. Wat. Res. 1980. V. 14. Pp. 975-1001.

7. Zakrutkin V. E., Reshetnyak V. N., Reshetnyak O. S., Gibkov E. V. Bottom sediments of rivers of technogenically disturbed geosystems of Eastern Donbass: comparative assessment of the level of heavy metal pollution according to domestic and foreign criteria. *News of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series*. 2021. V. 85. No. 4. Pp. 554-564.
8. Abraham G. M. S., Parker R. J. Assessment of heavy metal enrain fedment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environ. Monit. Assess.* 2008. V. 36. Pp. 227-238.
9. Dudareva I. A., Alimova G. S., Tokareva A. Yu. Manganese in water and bottom sediments of the lower reaches of the Irtysh River. *Successes of modern natural science*. 2017. No 8. Pp. 70-74. <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36523>
10. Drovovozova T. I., Bulgakova L. A., Vlasov M. V., Krasovskaya N. N. Study of the content of heavy metals in bottom sediments and water in the drainage channel of the rice irrigation system. *Land reclamation and hydraulic engineering*. 2024. V. 14. No 4. Pp. 155-170.
11. Stepanyan O. V., Rybalkina E. I., Khoroshev O. A., Kazeev K. S., Nesteruk G. V., Kleshchenkov A. V., Polshin V. V., Gerasyuk V. S. The use of bottom sediments of the Tsimlyansk reservoir as an organic fertilizer. *Science of the South of Russia*. 2024. V. 20. No 4. Pp. 61-69.
12. Lobchenko E. E., Minina L. I., Nichiporova I. P., Pervysheva O. A. Dynamics of water quality in the Tsimlyansk reservoir (for the period from 1979 to 2014). *Russian Water Industry*. 2016. No 6. Pp. 74-92.
13. Gulyaev M. V., Gorskaya O. I. Application of the technology of processing bottom silt of the Tsimlyansk reservoir to solve the problem of its siltation. *Global nuclear safety*. 2014. No 2 (11). Pp. 36-38.
14. Strelkov S. P., Kondrashin K. G., Sorokin A. P., Mukhin A. A., Petrov R. A. Model of application of bottom sediment material in agriculture. *Astrakhan Bulletin of Environmental Education*. 2023. No 3 (75). Pp. 115-121.
15. Vetchinnikov A. A., Titova V. I., Baranov A. I., Sencheva E. V. Assessment of the possibility of using pond sediments for the reclamation of technogenically disturbed soils. *Agrochemical Bulletin*. 2018. № 2. Pp. 50-53.
16. Nikanorov A. M., Khoruzhaya T. A., Martysheva N. A. Modern characteristics and trends of long-term changes in the ecological and toxicological state of the Tsimlyansk reservoir. *Meteorology and hydrology*. 2012. No 4. Pp. 75-85.
17. Kazberuk W., Szulc W., Rutkowska B. Use bottom sediment to agriculture – effect on plant and heavy metal content in soil. *Agronomy*. 2021. № 11 (6). P. 1077.
18. Szara-Bak M., Baran A., Klimkowicz-Pawlas A. Recycling of bottom sediment to agriculture: effects on plant growth and soil properties. *Journal of Soils and Sediments*. 2023. No 23 (1). Pp. 539-551.
19. Tishin A. S., Tishina Yu. R. Methods and methods of phytotesting soils: an overview. *International Scientific Research Journal*. 2021. No 11-2 (113). Pp. 93-98. <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-i-sposoby-fitotestirovaniya-pochvy-obzor/viewer>
20. Manzhina S. A., Drovovozova T. I., Rusin L. I. Investigation of ecological and agrochemical parameters of wastewater precipitation by phytotesting. *Land reclamation and hydraulic engineering*. 2023. V. 13. No 3. Pp. 188-205.
21. Kotyak P. A., Chebykina E. V., Voronin A. N., Noskova E. V. Changes in soil toxicity under the influence of crop cultivation technologies. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2023. No 8 (226). Pp. 25-33. <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-toksichnosti-pochvy-pod-deystviem-tehnologiy-vozdelyvaniya-kultur/viewer>

Информация об авторах

Мильченкова Дарья Вячеславовна, научный сотрудник, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (Российская Федерация, 346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190), ORCID: 0009-0001-7665-1366, e-mail: milchenkova.darya@mail.ru

Дрововозова Татьяна Ильинична, доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (Российская Федерация, 346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190), ORCID: 0000-0002-8724-7799, e-mail: tid70.drovovozova@yandex.ru

Authors' Information

Milchenkova Darya Vyacheslavovna, Research Associate, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems (Russian Federation, 346421, Rostov Region, Novocherkassk, Baklanovsky Ave., 190), ORCID: 0009-0001-7665-1366, e-mail: milchenkova.darya@mail.ru

Drovovozova Tatyana Ilyinichna, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems (Russian Federation, 346421, Rostov Region, Novocherkassk, Baklanovsky Ave., 190), ORCID: 0000-0002-8724-7799, e-mail: tid70.drovovozova@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-68

THE INVESTIGATION OF THE ULTRAMEMBRANES' EFFECTIVENESS IN THE REVERSE OSMOSIS PROCESS OF THE FOOD PRODUCTION WATER PURIFICATION

Rusanov A. S., Ovchinnikov A. S.

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: oas_volgau@mail.ru

Received 11.01.2026

Submitted 03.02.2026

Abstract

Introduction. The article presents the results of a study of the effectiveness of using ultramembranes based on modified poly sulfone in the reverse osmosis process for water purification in the food industry. A comparative analysis of the performance and selectivity of ultra-membranes and traditional polyamide membranes in the purification of water containing organic pollutants characteristic of food production (pec-

tin, sugars, organic acids) has been carried out. The effect of key operating parameters (operating pressure, temperature, pH, and flow velocity) on specific flux and salt retention has been experimentally investigated. Recommendations have been developed on optimal operating conditions for ultramembranes, which provide an increase in selectivity for organic compounds by 15-20 % and an increase in the washing cycle by 25-30 % compared with traditional membranes. The results obtained are of practical importance for the design and modernization of water treatment systems for food enterprises.

Keywords: reverse osmosis, ultramembranes, modified polysulfone, water treatment, organic pollutants, regime parameters, water purification efficiency.

Citation. Rusanov A. S., Ovchinnikov A. S. The investigation of the ultra-membranes' effectiveness in the reverse osmosis process of the food production water purification. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 659-665 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-68.

The authors' contribution. All the authors of this study were directly involved in the planning, execution, or analysis of this study. All the authors of this article have read and approved the submitted final version.

Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interest

УДК 628.165+664.87

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛЬТРАМЕМБРАН В ПРОЦЕССЕ ОБРАТНОГО ОСМОСА ПРИ ОЧИСТКЕ ВОДЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Русанов А. С., аспирант

Овчинников А. С., академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. В статье представлены результаты исследования эффективности применения ультрамембран на основе модифицированного полисульфона в процессе обратного осмоса для очистки воды на предприятиях пищевой промышленности. Проведен сравнительный анализ производительности и селективности ультрамембран и традиционных полиамидных мембран при очистке воды, содержащей характерные для пищевых производств органические загрязнители (пектины, сахара, органические кислоты). Экспериментально исследовано влияние ключевых режимных параметров (рабочего давления, температуры, pH, скорости потока) на удельный флюкс и солезадерживающую способность. Разработаны рекомендации по оптимальным режимам эксплуатации ультрамембран, обеспечивающим повышение селективности по органическим соединениям на 15-20 % и увеличение межпромывочного цикла на 25-30 % по сравнению с традиционными мембранами. Полученные результаты имеют практическую значимость для проектирования и модернизации систем водоподготовки пищевых предприятий.

Ключевые слова: обратный осмос, ультрамембраны, модифицированный полисульфон, водоподготовка, органические загрязнители, режимные параметры, эффективность очистки воды.

Цитирование. Русанов А. С., Овчинников А. С. Исследование эффективности ультрамембран в процессе обратного осмоса при очистке воды пищевых производств. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 659-665. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-68.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Мембранная фильтрация представляет собой высокотехнологичный метод очистки жидкостей, основанный на принципе разделения компонентов раствора с помощью полупроницаемой мембраны [1-3]. Этот процесс осуществляется под действием разности давлений, создаваемой по обе стороны мембраны [4-6]. Технология получила широкое распространение благодаря высокой эффективности, экологичности и возможности получения воды различной степени очистки [7-11].

Основой мембранного разделения служит селективная проницаемость мембраны, которая пропускает молекулы растворителя и задерживает растворенные вещества, взвешенные частицы и микроорганизмы. В зависимости от размера пор мембраны и удаляемых загрязнений различают четыре основных типа баромембранных процессов: микрофильтрация, ультрафильтрация, нанофильтрация и обратный осмос.

В последние годы внимание исследователей привлекают ультрамембраны на основе модифицированных полимерных материалов, обладающие улучшенными поверхностными свойствами и повышенной устойчивостью к органическому загрязнению. Однако во-

просы эффективности применения таких мембран в реальных условиях пищевых производств, оптимизации их эксплуатационных параметров и сравнения с традиционными аналогами остаются недостаточно изученными.

Целью настоящего исследования является сравнительная оценка эффективности ультрамембран на основе модифицированного полисульфона и традиционных полиамидных мембран в процессе обратного осмоса при очистке воды пищевых производств, а также разработка рекомендаций по оптимизации режимных параметров их эксплуатации.

Материалы и методы. Исследование проводилось на промышленной установке обратного осмоса УО–25000, эксплуатируемой в системе водоподготовки предприятия АО «Сады Придонья». Данная установка работает под давлением и используется для получения воды технологического назначения в пищевом производстве.

Материалы и оборудование:

Исследуемая установка: обратноосмотическая система УО–25000 с проектной производительностью 25 м³/ч, включающая блок предочистки (механические фильтры, установки ультрафильтрации), насосы высокого давления, полиамидные композитные мембранные модули в количестве 24 шт. и систему автоматического управления с контролем ключевых параметров.

В качестве объектов исследования использовались:

- ультрамембраны на основе модифицированного полисульфона (тип UF-4040);
- традиционные полиамидные композитные мембраны (тип BW30-4040).

Модельные растворы для исследований готовились на основе деионизированной воды с добавлением характерных для пищевых производств компонентов:

- сахароза: 50-100 мг/л;
- пектин: 20-50 мг/л;
- лимонная кислота: 10-30 мг/л;
- хлорид натрия: 200-500 мг/л.

Аналитическое оборудование:

- кондуктометр HANNA HI 8633 для измерения солесодержания;
- спектрофотометр UNICO 4800 для определения содержания органических веществ;
- HPLC система Agilent 1260 Infinity для анализа сахаров и органических кислот;
- анализатор размера частиц Malvern Mastersizer 3000.

Методика проведения экспериментов:

Эксперименты проводились в соответствии с ГОСТ Р 59024-2020 «Вода. Общие требования к отбору проб». Исследовалось влияние следующих параметров:

- рабочее давление: 5-25 бар;
- температура: 15-35°С;
- pH раствора: 4,0-7,0;
- скорость потока: 0,5-2,0 м/с.

Оценивались следующие показатели эффективности:

- удельный флюкс (л/(м²·ч));
- солезадерживающая способность (%);
- селективность по органическим соединениям (%);
- степень концентрирования.

Результаты и обсуждения. Обратный осмос является наиболее совершенным методом мембранной фильтрации, обеспечивающим удаление практически всех растворенных веществ, включая соли, ионы, органические молекулы и микроорганизмы. Размер пор обратноосмотических мембран составляет от 0,0001 до 0,001 мкм, что сопоставимо с размером гидратированных ионов. Процесс требует создания высокого давления от 15 до 80 бар, превышающего осмотическое давление раствора, что обеспечивает прохождение молекул воды через мембрану в направлении, противоположном естественному осмосу.

Механизм обратного осмоса описывается моделью растворения-диффузии, согласно которой молекулы воды растворяются в материале мембраны и диффундируют через нее под действием градиента давления. Селективность обратноосмотических мембран к растворенным солям составляет от 95 до 99,8 %, что позволяет получать воду с общим солесодержанием менее 10 мг/л из воды с минерализацией до 10000 мг/л. Производительность системы зависит от температуры, давления, концентрации солей и типа мембраны.

Осмотические мембраны изготавливаются из композитных полимерных материалов, состоящих из трех слоев: подложка из полиэстера, микропористый слой из полисульфона и тонкий селективный слой из ароматического полиамида толщиной около 0,2 мкм. Такая структура обеспечивает высокую проницаемость при сохранении селективности. Мембраны выпускаются в виде рулонных элементов различных размеров, обеспечивающих площадь фильтрации от 7 до 37 квадратных метров.

Сравнительная характеристика мембран – таблица 1.

Таблица 1 – Характеристики исследуемых мембран
Table 1 – Characteristics of the studied membranes

Параметр / Parameter	Ультрамембрана UF-4040 / Ultramembrane UF-4040	Традиционная мембрана BW30-4040 / Traditional membrane BW30-4040
Материал / Material	Модифицированный поли- сульфон / Modified polysulfone	Полиамидный композит / Polyamide composite
Рабочее давление, бар / Operating pressure, bar	5-30	10-40
pH диапазон / pH range	2-11	2-11
Макс. температура, °C / Max. temperature, °C	45	45
Удельный флюкс*, л/(м ² ·ч) / Specific flux*, l/(m ² ·h)	35-40	25-30
Солезадерживающая способ- ность*, % / Salt-holding capacity*, %	98,5-99,2	99,0-99,5
*при 15 бар, 25°C, 500 мг/л NaCl / *at 15 bar, 25°C, 500 mg/l NaCl		

Ультрамембрана UF-4040 демонстрирует существенно более высокую удельную производительность (флюкс + 40 %) по сравнению с традиционной мембраной BW30-4040, при сопоставимом уровне солезадержания и в более мягких рабочих условиях (нижний предел давления 5 против 10 бар). Это указывает на ее потенциальную более высокую энергоэффективность и экономическую целесообразность для применения в процессах, где критична производительность, а не максимальное солеудаление.

Далее рассмотрим влияние режимных параметров на эффективность – таблицы 2-4.

Таблица 2 – Влияние давления на показатели эффективности
Table 2 – Impact of pressure on performance indicators

Давление, бар / Pressure, bar	Ультрамембрана / Ultramembrane		Традиционная мембрана / Traditional membrane	
	Флюкс / Flux	Селективность* / Selectivity*	Флюкс / Flux	Селективность* / Selectivity*
5	12,5	85,2	8,3	82,5
10	25,8	88,7	17,6	85,3
15	38,2	91,5	26,4	88,1
20	49,6	93,8	34,2	90,7
25	58,3	95,2	40,8	92,5
*Селективность по органическим соединениям, % / *Selectivity for organic compounds, %				

Рост рабочего давления пропорционально увеличивает производительность (флюкс) и селективность обеих мембран. Однако ультрамембрана превосходит традиционную по обоим показателям на всех исследованных давлениях, демонстрируя более высокую эффективность при одинаковых энергозатратах. Оптимальный диапазон давления для максимизации эффективности ультрамембраны – 15-20 бар.

Таблица 3 – Влияние температуры на удельный флюкс
Table 3 – Effect of temperature on specific flux

Температура, °C / Temperature, °C	Ультрамембрана, л/(м ² ·ч) / Ultramembrane, l/(m ² ·h)	Традиционная мембрана, л/(м ² ·ч) / Traditional membrane, l/(m ² ·h)
15	32,5	23,8
20	35,8	26,4
25	38,2	28,1
30	40,5	29,7
35	42,3	31,2

Рост температуры линейно увеличивает производительность обеих мембран, что связано со снижением вязкости воды. Ультрамембрана сохраняет стабильное преимущество в 30-35 % по флюксу на всем температурном диапазоне. Оптимальный температурный режим для работы – 20-25°C, обеспечивающий баланс между высокой производительностью и энергозатратами на подогрев.

Таблица 4 – Динамика снижения флюкса во времени

Table 4 – Dynamics of flux decrease over time

Время, ч / Time, h	Ультрамембрана / Ultramembrane	Традиционная мембрана / Traditional membrane
0	100 %	100 %
24	92,5 %	85,3 %
48	87,2 %	73,8 %
72	82,6 %	64,5 %
96	78,3 %	57,2 %

Ультрамембрана демонстрирует значительно более высокую устойчивость к загрязнению (фоулингу). После 96 часов работы ее производительность снижается на 21,7 %, в то время как у традиционной мембраны падение составляет 42,8 %. Это позволяет увеличить межпромывочный цикл более чем в 2 раза, что ведет к сокращению эксплуатационных затрат и простоев.

На основе проведенных исследований определены оптимальные диапазоны режимных параметров для ультрамембран – таблица 5.

Таблица 5 – Рекомендуемые параметры эксплуатации

Table 5 – Recommended operating parameters

Параметр / Parameters	Оптимальный диапазон / Optimal range	Обоснование / Justification
Рабочее давление / Operating pressure	15-20 бар / bar	Максимальное сочетание производительности и селективности / Maximum combination of performance and selectivity
Температура / Temperature	20-25°C	Оптимальная вязкость и диффузионная способность / Optimal viscosity and diffusion capacity
pH	5,5-6,5	Минимизация гидролиза и осадкообразования / Minimization of hydrolysis and sedimentation
Скорость потока / Flow rate	1,0-1,5 м/с / m/s	Эффективное снижение концентрационной поляризации / Effective reduction of concentration polarization

Установлены конкретные оптимальные параметры эксплуатации ультрамембраны, обеспечивающие максимальную эффективность при минимальных рисках. Данные режимы позволяют сбалансировать производительность, селективность и долговечность мембраны за счет:

- компромисса между флюксом и энергозатратами (давление);
- контроля вязкости (температура);
- химической стабильности (pH) и предотвращения загрязнения (скорость потока).

Заключение. Ультрамембраны на основе модифицированного полисульфона демонстрируют на 25-30 % более высокую удельную производительность по сравнению с традиционными полиамидными мембранами в аналогичных условиях эксплуатации.

Селективность ультрамембран по органическим соединениям (пектины, сахара) на 15-20 % превышает аналогичный показатель для традиционных мембран, что особенно важно для пищевых производств.

Установлено, что ультрамембраны обладают повышенной устойчивостью к органическому загрязнению: снижение флюкса за 96 часов непрерывной работы составляет 21,7 % против 42,8 % для традиционных мембран.

Разработаны рекомендации по оптимальным режимам эксплуатации ультрамембран, включающие рабочие параметры и условия проведения регенерационных промывок.

Применение ультрамембран в системах обратного осмоса пищевых производств позволяет повысить эффективность очистки воды от специфических органических загрязнителей и снизить эксплуатационные затраты за счет увеличения межпромывочных циклов.

Полученные результаты имеют практическое значение для проектирования и модернизации систем водоподготовки предприятий пищевой промышленности, особенно специализирующихся на переработке фруктов и производстве соковой продукции.

Conclusion. Ultra membranes based on modified polysulfone demonstrate 25-30 % higher specific productivity compared to traditional polyamide membranes under similar operating conditions.

The selectivity of ultramembranes for organic compounds (pectin, sugars) is 15-20 % higher than that of traditional membranes, which is especially important for food production.

It was found that ultramembranes have increased resistance to organic contamination: the decrease in flux during 96 hours of continuous operation is 21.7 % versus 42.8 % for traditional membranes.

Recommendations have been developed on optimal operating conditions for ultramembranes, including operating parameters and conditions for regenerative flushing.

The use of ultramembranes in reverse osmosis systems of food production makes it possible to increase the efficiency of water purification from specific organic pollutants and reduce operating costs by increasing inter-washing cycles.

The results obtained are of practical importance for the design and modernization of water treatment systems for food industry enterprises, especially those specializing in fruit processing and juice production.

Библиографический список

1. Рудакова В. В., Корочкин А. В., Шипилов Д. Н. Особенности применения мембранной фильтрации в очистке сточных вод. Изыскания и проектирование дорог. Москва, 2024. С. 86-93.
2. Мельникова Е. И., Станиславская Е. Б., Богданова Е. В., Шабалова Е. Д. Обоснование параметров мембранной фильтрации при производстве изолята сывороточных белков. Пищевые системы. 2024. Т. 7. № 2. С. 246-252.
3. Бурак Л. Ч., Писарик М. И. Эффективность очистки воды мембранной фильтрацией. Научное обозрение. Технические науки. 2023. № 1. С. 37-43.
4. Джубари М. К., Алексеева Н. В. Технологии обратного осмоса при очистке промышленных сточных вод: состояние проблемы и борьба с обрастанием мембран. Южно-Сибирский научный вестник. 2021. № 2 (36). С. 60-70.
5. Халиков Р. М., Иванова О. В. Эффективные мембранные технологии для подготовки качественной питьевой воды. European Research: сб. ст. XIV Международной науч.-практ. конференции. 2018. С. 89-92.
6. Шагарова А. А., Горбаченко В. И. Анализ выбора полупроницаемых мембран в зависимости от технологических параметров процесса ультрафильтрации. Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. 2017 № 4 (21). С. 69-72.
7. Curto D., Franzitta V., Guercio A. A Review of the Water Desalination Technologies. Applied Sciences. 2021 V. 11. P. 670.
8. Jones E., Qadir M., van Vliet M. T. H., Smakhtin V., Kang S. The state of desalination and brine production: A global outlook. Science of The Total Environment. 2019. V. 657. Pp. 1343-1356.
9. Zapata-Sierra A., Cascajares M., Alcayde A., Manzano-Agugliaro F. Worldwide research trends on desalination. Desalination. 2022 V. 519. P. 115305.
10. Промышленная мембрана обратноосмотическая FILMTEC BW30 PRO-4040. <https://vipecology.ru/product/promyshlennaya-membrana-obratnoosmoticheskaya-filmtec-bw30-pro-4040/>
11. Ультрафильтрационная мембрана UF-4040. <https://3a-membrane.ru/ufm/uf-4040/>

References

1. Rudakova V. V., Korochkin A. V., Shipilov D. N. Application features of membrane filtration in wastewater treatment. Surveys and design of roads. Moscow, 2024. Pp. 86-93.
2. Melnikova E. I., Stanislavskaya E. B., Bogdanova E. V., Shabalova E. D. Substantiation of membrane filtration parameters in the production of whey protein isolate. Food systems. 2024. Vol. 7. No. 2. Pp. 246-252.
3. Burak L. Ch., Pisarik M. I. Efficiency of water purification by membrane filtration. Scientific review. Technical sciences. 2023. No. 1. Pp. 37-43.
4. Dzhubari M. K., Alekseeva N. V. Reverse osmosis technologies in industrial wastewater treatment: the state of the problem and the fight against membrane fouling. South Siberian Scientific Bulletin. 2021. No. 2 (36). Pp. 60-70.
5. Khalikov R. M., Ivanova O. V. Effective membrane technologies for the preparation of high-quality drinking water. European Research: collection of art. XIV International Scientific and Practical Conference 2018. Pp. 89-92.
6. Shagarova A. A., Gorbachenko V. I. Analysis of the choice of semipermeable membranes depending on the technological parameters of the ultrafiltration process. Energy and resource conservation: industry and transport. 2017. No. 4 (21). Pp. 69-72.
7. Curto D., Franzitta V., Guercio A. A Review of the Water Desalination Technologies. Applied Sciences. 2021. V. 11. P. 670.
8. Jones E., Qadir M., van Vliet M.T.H., Smakhtin V., Kang S. The state of desalination and brine production: A global outlook. Science of The Total Environment. 2019 V. 657. Pp. 1343-1356.
9. Zapata-Sierra A., Cascajares M., Alcayde A., Manzano-Agugliaro F. Worldwide research trends on desalination. Desalination. 2022 V. 519. P. 115305.

10. Industrial reverse osmosis membrane FILMTEC BW30 PRO-4040. <https://vipecology.ru/product/promyshlennaya-membrana-obratnoosmoticheskaya-filmtec-bw30-pro-4040/>

11. Ultrafiltration membrane UF-4040. <https://3a-membrane.ru/ufm/uf-4040/>

Информация об авторах

Русанов Алексей Сергеевич, технический директор, ООО УК «Сады Придонья» (Российская Федерация, г. Волгоград, ул. Хиросимы 2), e-mail: Rusanov-as@pridonie.ru

Овчинников Алексей Семенович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: volgau@volgau.com

Authors' Information

Rusanov Aleksey Sergeevich, Technical Director, LLC Management Company Sady Pridonya (Russian Federation, Volgograd, ul. Hiroshima, 2), e-mail: Rusanov-as@pridonie.ru

Ovchinnikov Aleksey Semenovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskii Ave., 26), e-mail: volgau@volgau.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-69

INCREASING THE DURABILITY OF THE WORKING BODIES OF CHISEL TOOLS BY STRENGTHENING THE CHISEL WITH LONGITUDINAL REINFORCEMENT ROLLERS

Subbotin S. I., Gapich D. S., Fomin S. D., Galansky K. V.

Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: fsd_58@mail.ru

Received 15.12.2025

Submitted 23.01.2026

Abstract

Introduction. The development of upgraded working bodies for the chisel plow is aimed at optimizing the chiseling process of the soil in order to increase erosion resistance. Research shows that the use of such working bodies helps to improve the tillage process and increase the durability of plow working bodies. **Object.** The object of the study is the working body of a chisel plow, made in the form of a chisel. **Materials and methods.** Experimental identification of the properties of the object under study, verification of the validity of accepted hypotheses. Then, on this basis, a comprehensive and in-depth study of the topic of scientific research. **Results and conclusions.** An experimental installation has been prepared for production testing of a chisel plow with upgraded working bodies in real conditions, which will allow evaluating its operability and economic feasibility. The results of such an inspection can be used to determine the effectiveness of the upgraded working bodies and make a decision on their implementation in production. The improvement of working bodies for agricultural machinery plays an important role in increasing production efficiency. This makes it possible to improve the quality of tillage and increase the durability of the working bodies of agricultural machinery.

Keywords: chisel plow, chisel plow chisel, experimental chisel plow working body.

Citation. Subbotin S. I., Gapich D. S., Fomin S. D., Galansky K. V. Increasing the durability of the working bodies of chisel tools by strengthening the chisel with longitudinal reinforcement rollers. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 665-678 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-69.

The authors' contribution. All the authors of this study were directly involved in the planning, execution, or analysis of this study. All the authors of this article have reviewed the submitted final version and approved it.

Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 631.316.22

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ЧИЗЕЛЬНЫХ ОРУДИЙ ЗА СЧЕТ УПРОЧНЕНИЯ ПРОДОЛЬНЫМИ АРМИРОВОЧНЫМИ ВАЛИКАМИ ДОЛОТА

Субботин С. И., аспирант

Гапич Д. С., доктор технических наук, профессор

Фомин С. Д., доктор технических наук, доцент

Галанский К. В., аспирант

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Разработка модернизированных рабочих органов для чизельного плуга направлена на оптимизацию процесса чизелевания почвы с целью повышения эрозионной стойкости. Исследования показывают, что использование таких рабочих органов способствует улучшению процесса обработки почвы и повышению долговечности рабочих органов плуга. **Объект.** Объектом

исследования является рабочий орган чизельного плуга, выполненный в виде долота. **Материалы и методы.** Экспериментальное выявление свойств исследуемого объекта, проверка справедливости принятых гипотез. Затем, на этой основе, всестороннее и глубокое изучение темы научного исследования. **Результаты и выводы.** Подготовлена экспериментальная установка для производственной проверки чизельного плуга с модернизированными рабочими органами в реальных условиях, что позволит оценить его работоспособность и экономическую целесообразность. Результаты такой проверки могут быть использованы для определения эффективности модернизированных рабочих органов и принятия решения о их внедрении в производство. Совершенствование рабочих органов для сельскохозяйственной техники играет важную роль в повышении эффективности производства. Это позволяет улучшить качество обработки почвы, повысить долговечность рабочих органов сельскохозяйственной техники.

Ключевые слова: чизельные плуги, долото чизельного плуга, экспериментальный рабочий орган чизельного плуга.

Цитирование. Субботин С. И., Гапич Д. С., Фомин С. Д., Галанский К. В. Повышение долговечности рабочих органов чизельных орудий за счет упрочнения продольными армировочными валиками долота. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 665-678. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-69.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Среди агротехнических приемов почвообработки, с точки зрения экологических факторов (развитие ветровой и водной эрозии), можно выделить безотвальное рыхление чизельными плугами [1-6]. Данный агротехнический прием применяют, как правило, на «тяжелых» почвах: значение коэффициента удельного сопротивления $6,5-11 \text{ кг/см}^2$; содержание гумуса менее 2 %; пониженное значение влажности почвы на момент проведения чизельной обработки (до 12 %). К достоинствам чизельной обработки следует отнести: предотвращение развития ветровой и водной эрозии почвы; улучшение их биомеханических и физико-механических показателей; сохранение влаги в почвенных горизонтах; повышение плодородия почвы [7-11].

Из основных недостатков чизельной обработки следует выделить: значительную энергоемкость процесса; сложность применения чизельных орудий на засорённых почвах и почвах пониженной влажностью в виду возникновения процесса глыбообразования и «порозности» пахотного слоя; возникновение эффекта резания почвенного фона без его крошения (на почвах с повышенной влажностью) [12-16].

Обеспечение продовольственной безопасности страны и наращивание экспортного потенциала сельскохозяйственной отрасли возможны при условии насыщения агропромышленного комплекса Российской Федерации не только необходимой, но и надежной техникой. Однако, чем больше и разнообразнее парк машин и техники, тем дороже для сельхозтоваропроизводителя будут их техническая эксплуатация и обеспечение запасными частями. Возрастающая интенсивность эксплуатации парка техники в аграрных хозяйствах повышает скорость изнашивания ее ресурсо-определяющих деталей, что обуславливает снижение количественных показателей долговечности техники.

Основным сдерживающим фактором увеличения доли деталей, восстановленных по существующим технологиям, является их недостаточная долговечность, повышение которой может быть достигнуто путем разработки и применения новых эффективных технологий, позволяющих довести их послеремонтный ресурс до ресурса новых и даже превзойти его. Поэтому разработка инновационных технологий изготовления рабочих органов с повышенной долговечностью актуальна.

Целью исследования является повышение долговечности рабочих органов чизельных орудий за счет оптимизации их геометрических параметров.

Материалы и методы. Программа экспериментальных исследований чизельного агрегата, оборудованного рабочими органами с улучшенными геометрическими характеристиками, включала в себя несколько основных разделов:

1. Изготовление опытной партии экспериментальных долот с улучшенной формой поверхности.
2. Создание экспериментальной установки, позволяющей выполнить тяговые испытания рабочей секции чизельного орудия, оборудованной экспериментальными рабочими органами.

3. Создание натурального объекта исследования, в виде чизельного машинно-тракторного агрегата, позволяющего оценить эффективность применения экспериментальных рабочих органов в реальных условиях эксплуатации.

4. Проведение сравнительных полевых испытаний экспериментальных объектов, получение значений регистрируемых параметров в виде осциллограмм, их математическая обработка, построение графических зависимостей исследуемых параметров.

Результаты и обсуждения.

Изготовление опытной партии экспериментальных долот (рисунок 1).

Технологический процесс изготовления экспериментальной партии долот с улучшенными геометрическими характеристиками рабочей поверхности включал в себя следующие технологические операции:

- получение отливок рабочего органа с заданными геометрическими характеристиками рабочей поверхности;
- механическая обработка полученных отливок: удаление наплывов, шлифовка поверхности, сверление крепёжных отверстий, нарезание резьбы;
- термическая обработка основных функциональных зон экспериментальных отливок.

Экспериментальные долота изготавливали литьем в песчано-глинистые формы. Для этой цели была изготовлена модель рабочего органа посредством 3D-печати (рисунок 2).

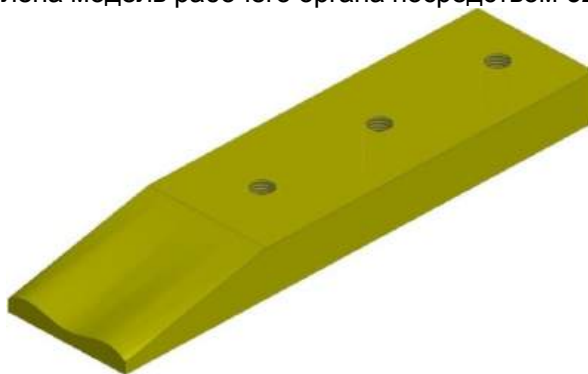


Рисунок 1 – Фрагмент экспериментального долота с улучшенными геометрическими характеристиками рабочей поверхности

Figure 1 – Fragment of an experimental chisel with improved geometric characteristics of the working surface

По полученной 3D-модели рабочего органа была отлита партия экспериментальных долот. В качестве основного материала для изготовления экспериментальных долот, согласно рекомендациям [21], был выбран высокоуглеродистый сплав ВЧ-50. Экспериментальные долота, после операций механической обработки, были подвергнуты термической обработке, состоящей из изотермической закалки, и низкого отпуска [21]. Основные режимы термической обработки представлены в таблице 1.



Рисунок 2 – Модель экспериментального рабочего органа, полученная посредством 3D-печати

Figure 2 – A model of an experimental working body obtained by 3D printing

Таблица 1 – Режимы термической обработки, применяемые для упрочнения экспериментальных долот
Table 1 – Heat treatment modes used to harden experimental chisels

№ партии / Batch number	Закалка / Hardening		Отпуск / Release
	Нагрев / Heating	Охлаждение / Cooling	
1	Ступенчатый: до 600°C в печи с шагом 100°C в течение 15 мин. Далее нагрев до 900°C в соляной ванне, время выдержки – 40 мин, затем перенос в соляную ванну $t = 400^{\circ}\text{C}$, время выдержки 2 часа / Stepwise: up to 600°C in the oven in increments of 100°C for 15 minutes. Next, heating to 900°C in a salt bath, the holding time is 40 minutes, then transfer to a salt bath $t = 400^{\circ}\text{C}$, the holding time is 2 hours	воздух / air	Температура отпуска – 240°C. Время выдержки – 2 часа / The release temperature is 240°C. Exposure time – 2 hours

Следующий этап программы экспериментальных исследований включал в себя создание экспериментальной установки, оборудованной экспериментальными долотами различной геометрической формы (рисунки 3, 4, 5). Основной целью создания такой установки являлось установление взаимосвязи новой геометрической поверхности носовой части долота с энергетическими затратами процесса чизелевания и процесса износа.



Рисунок 3 – Общий вид экспериментальной установки
Figure 3 – General view of the experimental setup



Рисунок 4 – Общий вид экспериментальных рабочих органов чизельного плуга
Figure 4 – General view of the experimental working bodies of the chisel plow

В качестве основного элемента экспериментальной установки выступала рама садового культиватора с ходовой системой. На раму при помощи переходных звеньев крепилась рабочая секция чизельного агрегата ОЧО-5 (рисунок 3).



Рисунок 5 – Измерение горизонтальной составляющей тягового сопротивления чизельной стойки

Figure 5 – Measurement of the horizontal component of the traction resistance of a chisel rack

С целью отслеживания влияния исключительно формы рабочих органов на тяговое сопротивление секции, с секции были демонтированы дополнительные элементы: отвал, крылья, дополнительные деформаторы, элементы крепления.

Мониторинг линейных размеров серийных и экспериментальных долот.

В процессе проведения экспериментальных исследований фиксировались линейные размеры базовых сечений долот согласно схеме (рисунок 6).

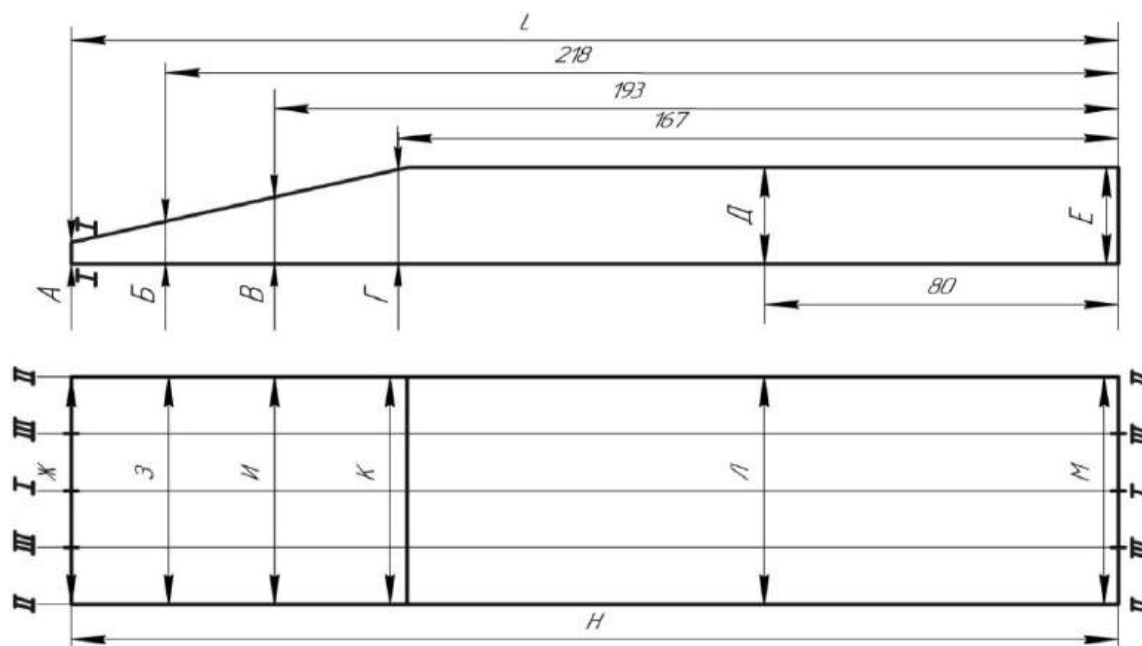


Рисунок 6 – Схема измерения линейных размеров серийных и экспериментальных долот

Figure 6 – Diagram of measuring linear dimensions of serial and experimental chisels

Линейные размеры контролируемых сечений измерялись с шагом наработки 4 га. Выбраковка образцов долот осуществляется по следующим показателям:

- неравномерность глубины обработки,
- выглубление чизельного плуга,
- механическое разрушение долота, вызванное наездом на каменистое препятствие,
- достижение предельного значения износа в контролируемых сечениях.

Определение теоретических законов распределения величины износа экспериментального чизельного долота.

Экспериментальные данные величин износа, полученные для носка экспериментальных долот, сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Сводные экспериментальные данные величины износа носка экспериментальных долот
Table 2 – Summary experimental data on the wear of the toe of experimental chisels

№	Линейный износ, мм / Linear wear, mm	№	Линейный износ, мм / Linear wear, mm	№	Линейный износ, мм / Linear wear, mm	№	Линейный износ, мм / Linear wear, mm
1	4,35	9	5,10	17	5,38	25	5,57
2	4,46	10	5,13	18	5,41	26	5,66
3	4,51	11	5,21	19	5,47	27	5,69
4	4,68	12	5,21	20	5,47	28	5,77
5	4,79	13	5,25	21	5,48	29	5,90
6	4,88	14	5,28	22	5,51	30	6,06
7	4,91	15	5,29	23	5,51	31	6,07
8	4,91	16	5,35	24	5,51	32	6,37

Результаты аппроксимации опытных данных теоретическими законами распределения представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты аппроксимации опытных данных теоретическими законами распределения
Table 3 – Results of approximation of experimental data by theoretical distribution laws

Граница интервала, мм / Interval boundary, mm			4,18	4,51	4,85	5,19	5,52	5,86	6,19
			...	...	...	...	...	...	...
Середина интервала, мм / The middle of the interval, mm			4,35	4,68	5,02	5,35	5,69	6,03	6,36
Дифференци- альный закон распределения / Differential distribution law	Опытная вероятность / Experimental probability		0,06	0,09	0,15	0,43	0,12	0,09	0,03
	Теоретическая вероятность / Theoretical probability	ЗНР	0,02	0,11	0,23	0,29	0,21	0,09	0,02
		ЗРВ	0,02	0,09	0,22	0,26	0,21	0,09	0,04
Интегральный закон распределения / The integral dis- tribution law	Накопленная вероятность / Accumulated probability		0,06	0,15	0,31	0,74	0,85	0,96	1
	Функция распределения / Distribution function	ЗНР	0,04	0,15	0,37	0,66	0,88	0,97	1
		ЗРВ	0,02	0,08	0,324	0,63	0,85	0,99	1
Теоретическая частота / Theoretical frequency	ЗНР		1	4	7	9	7	3	1
	ЗРВ		1	2	5	12	7	4	0

Гистограмма накопленных опытных вероятностей износа экспериментальных долот, полигон распределения износа экспериментальных долот и кривая накопленных опытных вероятностей износа экспериментальных долот представлены на рисунках 7, 8, 9.

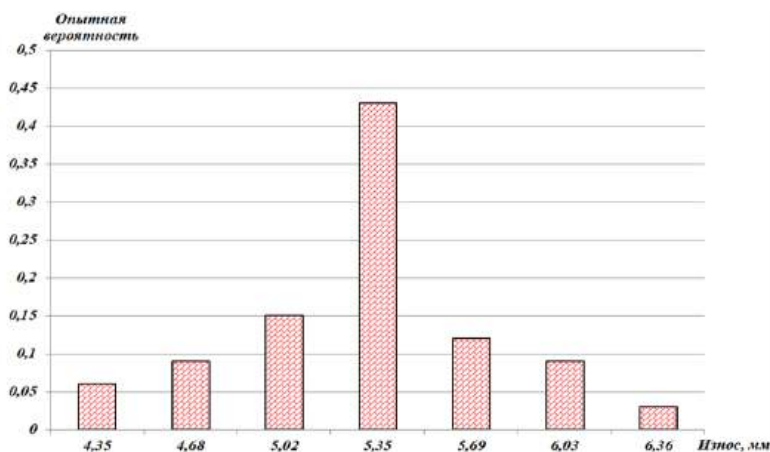


Рисунок 7 – Гистограмма накопленных опытных вероятностей износа экспериментальных долот
Figure 7 – Histogram of accumulated experimental wear probabilities of experimental chisels

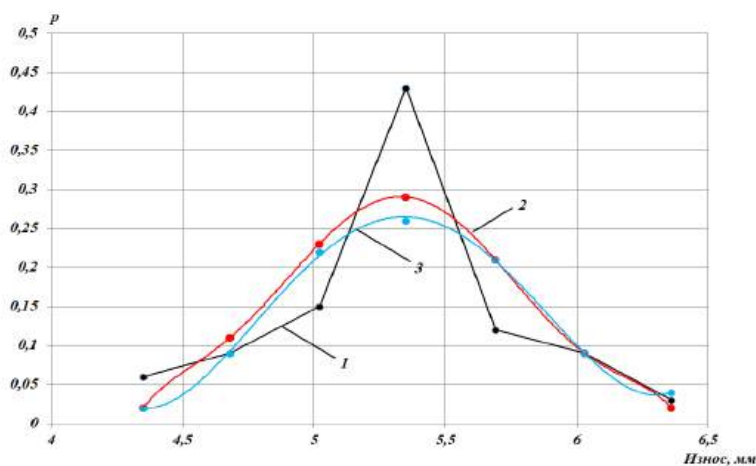


Рисунок 8 – Полигон распределения износа экспериментальных долот: 1 – кривая опытной вероятности; 2 – график ЗНР опытной вероятности; 3 – график ЗРВ опытной вероятности
Figure 8 – The polygon of the wear distribution of experimental chisels: 1 – the curve of experimental probability; 2 – the graph of the experimental probability; 3 – the graph of the experimental probability

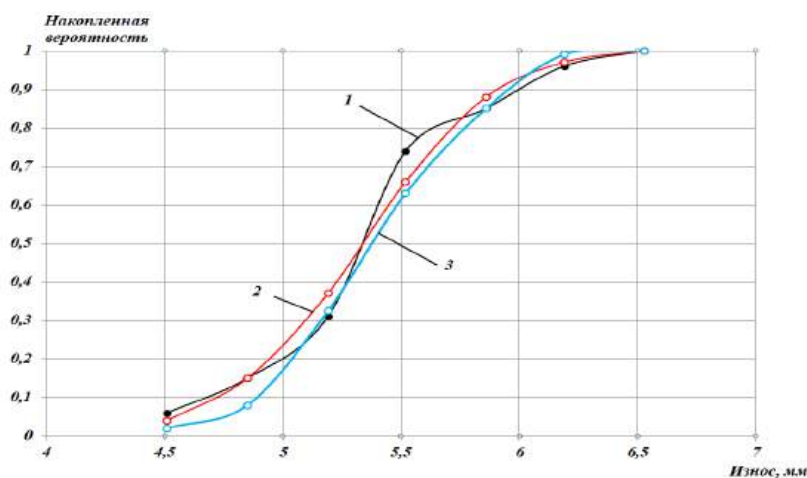


Рисунок 9 – Кривая накопленных опытных вероятностей износа экспериментальных долот:
1 – кривая накопленной опытной вероятности; 2 – интегральная функция ЗНР опытной вероятности;
3 – интегральная функция ЗРВ опытной вероятности
Figure 9 – Curve of accumulated experimental probabilities of experimental chisel wear:
1 – curve of accumulated experimental probability; 2 – integral function of experimental probability;
3 – integral function of experimental probability

Для выбора и определения точности теоретического закона распределения рассчитаем критерий согласия Пирсона:

$$\chi^2 = \sum_i^{n_y} \left[\frac{(m_{оп} - m_{т})^2}{m_{т}} \right]$$

Для закона нормального распределения критерий согласия Пирсона окажется равным

$$\chi^2 = \frac{(2-1)^2}{1} + \frac{(3-4)^2}{4} + \frac{(5-7)^2}{7} + \frac{(14-9)^2}{9} + \frac{(4-7)^2}{7} + \frac{(3-3)^2}{3} = 1,03$$

Для закона распределения Вейбулла критерий согласия Пирсона окажется равным

$$\chi^2 = \frac{(2-1)^2}{1} + \frac{(3-2)^2}{2} + \frac{(5-2)^2}{2} + \frac{(14-12)^2}{12} + \frac{(4-7)^2}{7} + \frac{(3-4)^2}{4} = 2,37$$

Вероятность совпадения теоретических законов распределения с экспериментальными данными составит: для ЗНР – 84,8 %; для ЗРВ – 50,2 %.

Таким образом, теоретический закон нормального распределения более точно аппроксимирует полученные экспериментальные данные износа экспериментальных долот.

Определение теоретических законов распределения величины износа серийных чизельных долот.

Таблица 4 – Сводные экспериментальные данные величины износа носка серийных долот
Table 4 – Summary experimental data on the wear value of the toe of serial chisels

№	Линейный износ, мм / Linear wear, mm	№	Линейный износ, мм / Linear wear, mm	№	Линейный износ, мм / Linear wear, mm	№	Линейный износ, мм / Linear wear, mm
1	5,28	9	6,15	17	6,55	25	6,80
2	5,59	10	6,16	18	6,56	26	6,82
3	5,66	11	6,16	19	6,57	27	7,06
4	5,75	12	6,22	20	6,62	28	7,08
5	5,88	13	6,23	21	6,72	29	7,09
6	5,99	14	6,34	22	6,75	30	7,31
7	6,06	15	6,48	23	6,76	31	7,45
8	6,13	16	6,51	24	6,78	32	8,09

Таблица 5 – Результаты аппроксимации опытных данных теоретическими законами распределения
Table 5 – Results of approximation of experimental data by theoretical distribution laws

Граница интервала, мм / Interval boundary, mm			5,04	5,51	5,98	6,45	6,92	7,39	7,86
Середина интервала, мм / The middle of the interval, mm			5,51	5,98	6,45	6,92	7,39	7,86	8,33
Опытная частота / Experimental frequency			1	4	5	12	4	1	1
Дифф. закон распределения / Differential distribution law	Опытная вероятность / Experimental probability		0,03	0,12	0,28	0,37	0,12	0,03	0,03
	Теоретическая вероятность / Theoretical probability	ЗНР	0,03	0,13	0,28	0,31	0,17	0,05	0,01
		ЗРВ	0,02	0,14	0,28	0,29	0,2	0,07	0,01
Интегр. закон распределения / The integral distribution law	Накопленная вероятность / Accumulated probability		0,03	0,15	0,43	0,8	0,92	0,95	1
	Функция распределения / Distribution function	ЗНР	0,04	0,18	0,46	0,77	0,94	0,99	1
		ЗРВ	0,01	0,07	0,35	0,76	0,97	1	1
Теоретическая частота / Theoretical frequency	ЗНР		1	4	9	10	5	2	0
	ЗРВ		0	2	9	13	7	1	0

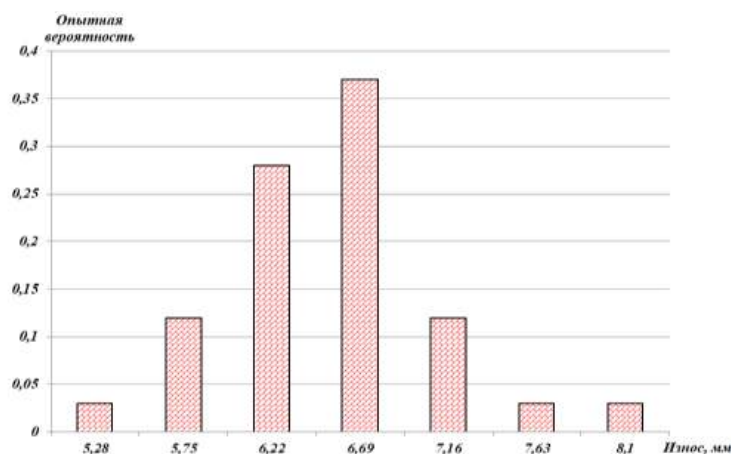


Рисунок 10 – Гистограмма накопленных опытных вероятностей износа экспериментальных долот
Figure 10 – Histogram of accumulated experimental wear probabilities of experimental chisels

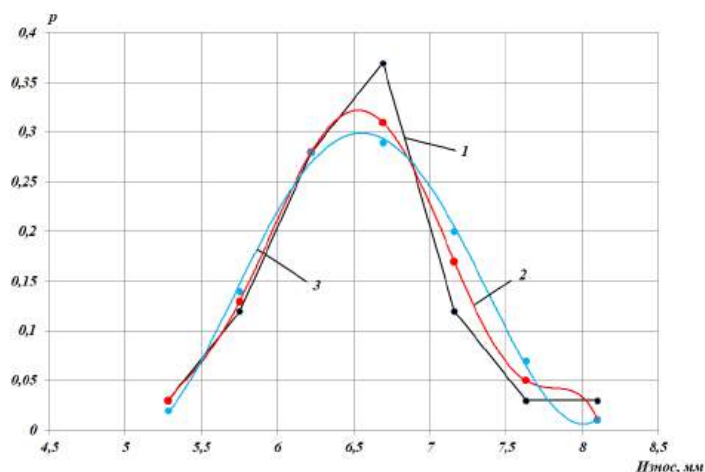


Рисунок 11 – Полигон распределения износа экспериментальных долот: 1 – кривая опытной вероятности; 2 – график ЗНР опытной вероятности; 3 – график ЗРВ опытной вероятности
Figure 11 – Experimental chisel wear distribution polygon: 1 – experimental probability curve; 2 – experimental probability ZN graph; 3 – experimental probability ZR graph

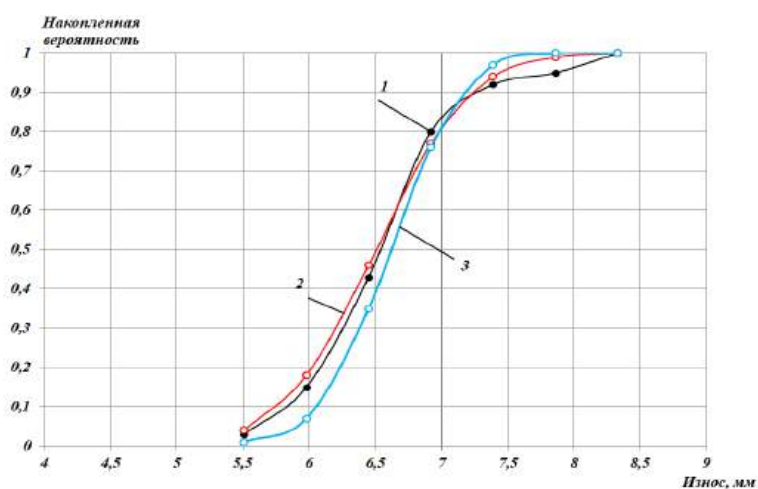


Рисунок 12 – Кривая накопленных опытных вероятностей износа экспериментальных долот:
1 – кривая накопленной опытной вероятности; 2 – интегральная функция ЗНР опытной вероятности;
3 – интегральная функция ЗРВ опытной вероятности
Figure 12 – Curve of accumulated experimental probabilities of wear of experimental chisels:
1 – curve of accumulated experimental probability; 2 – integral function of experimental probability;
3 – integral function of experimental probability

Для выбора и определения точности теоретического закона распределения рассчитаем критерий согласия Пирсона

$$\chi^2 = \sum_i^{n_y} \left[\frac{(m_{\text{оп}} - m_{\text{т}})^2}{m_{\text{т}}} \right]$$

Для закона нормального распределения критерий согласия Пирсона окажется равным

$$\chi^2 = \frac{(1-1)^2}{1} + \frac{(4-4)^2}{4} + \frac{(9-9)^2}{9} + \frac{(12-10)^2}{10} + \frac{(4-5)^2}{5} + \frac{(1-2)^2}{2} = 1,41$$

Для закона распределения Вейбулла критерий согласия Пирсона окажется равным

$$\chi^2 = \frac{(3-2)^2}{2} + \frac{(9-9)^2}{9} + \frac{(12-13)^2}{13} + \frac{(4-7)^2}{7} + \frac{(1-1)^2}{1} = 1.02$$

Вероятность совпадения теоретических законов распределения с экспериментальными данными составит: для ЗНР – 75 %; для ЗРВ – 86,2 %.

Таким образом, теоретический закон распределения Вейбулла более точно аппроксимирует полученные экспериментальные данные износа серийных долот.

Анализ износа серийных и экспериментальных долот «массовым» методом.

Характер протекания износа экспериментальных и серийных долот определялся процессом изменения их массы. На рисунке 13 представлены экспериментальные кривые, показывающие изменение массы образцов в зависимости от наработки. По оси ординат отложено отношение текущего значения массы образцов к значению массы образца до начала проведения эксперимента.

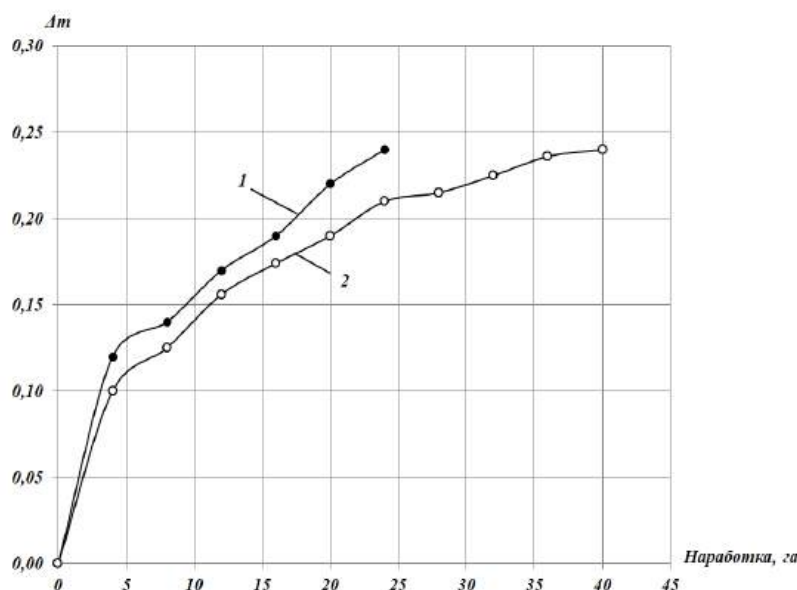


Рисунок 13 – Изменение массы экспериментальных и серийных рабочих органов, в долях процента, в зависимости от наработки. 1 – серийные рабочие органы; 2 – экспериментальные рабочие органы

Figure 13 – Change in the mass of experimental and serial working bodies, in fractions of a percent, depending on operating time. 1 – serial working bodies; 2 – experimental working bodies

Полученные экспериментальные данные показывают, что в целом характер протекания изменения массы образцов идентичен, на это указывает угол наклона кривой износа к оси абсцисс. Различие просматривается только в зоне приработки образцов, у экспериментальных образцов участок приработки более короткий.

Анализ износа серийных и экспериментальных долот методом контроля базовых сечений.

В качестве базовых сечений, линейный размер которых контролировался в процессе проведения экспериментов, были определены: сечение, проходящее через продольную ось долота в фронтальной плоскости (А-А); сечение, проходящее через поперечную ось долота в горизонтальной плоскости (В-В). Графические зависимости изменения размеров контролируе-

мых сечений в зависимости от наработки образцов, представлены на рисунке 14. По оси ординат отложено отношение текущего линейного размера сечения к значению линейного размера до начала проведения эксперимента. Эксперимент выполнялся до момента выбраковки образцов. Критерием выбраковки было принято значение изменения линейного размера контролируемого сечения А-А, равное $\Delta = 0,20 \dots 0,22$. При достижении данного значения износ долота начинал переходить на стойку секции, что является недопустимым.

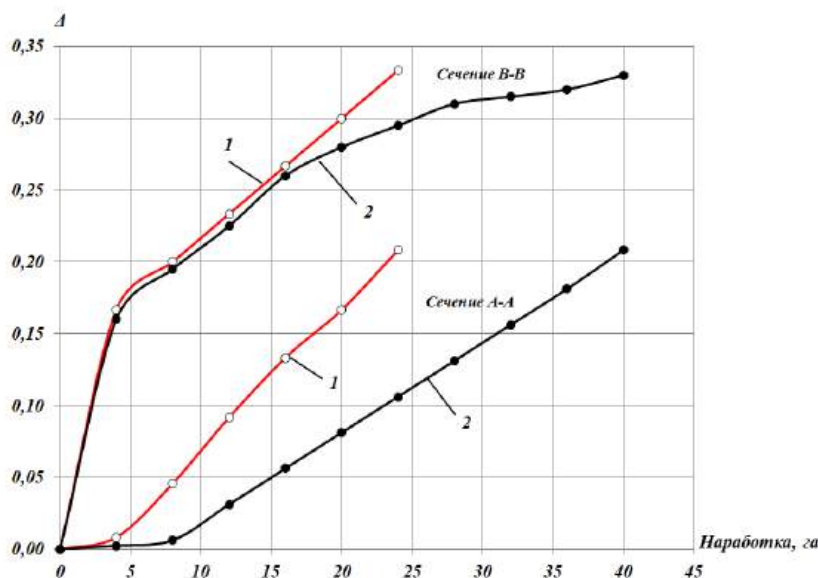


Рисунок 14 – Изменение линейных размеров базовых сечений образцов
1 – серийные рабочие органы; 2 – экспериментальные рабочие органы
Figure 14 – Changing the linear dimensions of the base sections of the samples
1 – serial working bodies; 2 – experimental working bodies

Полученные графические зависимости позволяют сделать следующие выводы:

- изменение линейных размеров контролируемого сечения А-А происходит менее интенсивно у экспериментальных рабочих органов;
- до наработки 20 га изменение линейного размера сечения В-В серийные и экспериментальные долота происходит практически одинаково;
- после наработки 20 га у экспериментального образца наблюдается снижение скорости изнашивания в горизонтальной плоскости, связано это с увеличением толщины носовой части, по мере износа боковых граней;
- ресурс экспериментальных долот до предельного состояния составляет 40 га, что в 1,6 раза выше значения ресурса серийных долот.

Заключение. 1. Установлено, что процесс изнашивания серийных долот подчиняется закону Вейбулла с параметрами распределения $a=16,1$; $b=2,8$ износ экспериментальных долот подчиняется нормальному закону распределения.

2. Характер протекания изменения массы образцов идентичен, на это указывает угол наклона кривой износа к оси абсцисс. Различие просматривается только в зоне приработки образцов, у экспериментальных образцов участок приработки более короткий. Можно предположить, что процесс износа носовой части серийных долот идет более интенсивно, чем у экспериментальных долот.

3. Анализ износа долот по базовым сечениям показал, что

- изменение линейных размеров контролируемого сечения А-А происходит менее интенсивно у экспериментальных рабочих органов;
- до наработки 20 га изменение линейного размера сечения В-В серийные и экспериментальные долота происходит практически одинаково;
- после наработки 20 га у экспериментального образца наблюдается снижение скорости изнашивания в горизонтальной плоскости, связано это с увеличением толщины носовой части, по мере износа боковых граней;
- ресурс экспериментальных долот до предельного состояния составляет 40 га, что в 1,6 раза выше значения ресурса серийных долот.

Conclusion. 1. It is established that the wear process of serial chisels obeys Weibull's law with distribution parameters, and the wear of experimental chisels obeys the normal distribution law.

2. The pattern of the change in the mass of the samples is identical, as indicated by the angle of inclination of the wear curve to the axis of the abscissa. The difference is visible only in the run-in area of the samples, while the experimental samples have a shorter run-in area. It can be assumed that the wear process of the nose of the serial chisels is more intense than that of the experimental chisels.

3. The analysis of the wear of the chisels on the base sections showed that

- the change in the linear dimensions of the controlled section A-A occurs less intensively in the experimental working organs;
- before the production of 20 hectares, the linear size of the cross-section In-In serial and experimental chisels occurs almost identically;
- after working out 20 hectares, the experimental sample has a decrease in the wear rate in the horizontal plane, due to an increase in the thickness of the nose as the side faces wear out.;
- the resource of experimental chisels up to the limit state is 40 hectares, which is 1.6 times higher than the resource value of serial chisels

Библиографический список

1. Ветохин В. И. О динамике формы поверхности рабочих органов почворыхлителей. Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2010. № 6. С. 30-35.
2. Лобачевский Я. П., Старовойтов С. И. Оптимальный профиль передней поверхности чизельного рабочего органа. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. № 2. С. 26-30.
3. Лобачевский Я. П., Старовойтов С. И. Теоретические и технологические аспекты работы рыхлительного рабочего органа. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. № 5. С. 17-23.
4. Борисенко И. Б., Доценко М. В. Технические и технологические особенности комбинированного рабочего органа. Нива Поволжья. 2015. № 3 (36). С. 89-96.
5. Борисенко И. Б., Соколова М. В. Технологическая схема рабочего органа для полосной глубокой обработки почвы. Нива Поволжья. 2014. № 3 (32). С. 44-48.
6. Izmailov A., Liskin I., Lobachevskii Ya., Sidorov S., Khoroshenkov V., Mironova A., Luzhnova E. Simulation of soil-cutting blade wear in an artificial abrasive environment based on the similarity theory. Russian Agricultural Sciences. 2017. V. 43. N 1. Pp. 71-74.
7. Лобачевский Я. П., Старовойтов С. И. Физические аспекты суглинистой почвы. Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2015. 92 с.
8. Лобачевский Я. П., Старовойтов С. И., Комогорцев В. Ф. Обоснование параметров почворежущих рабочих органов для условий эксплуатации на суглинистых почвах. Москва : Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 2018. 304 с.
9. Лискин И. В. и др. Результаты лабораторных исследований почворежущих рабочих органов. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. № 4. С. 41-47.
10. Лобачевский Я. П. и др. Научно-технические достижения агроинженерных научных организаций в условиях цифровой трансформации сельского хозяйства. Техника и оборудование для села. 2023. № 3 (309). С. 2-12.
11. Бабицкий Л. Ф., Соболевский И. В., Куклин В. А. Теоретические предпосылки к бионическому обоснованию параметров рабочих органов стернового культиватора. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. Т. 20. № 2. С. 183-191.
12. Доценко А. Е., Борисенко И. Б. Оптимизация конструктивных и технологических параметров отвально-чизельного рабочего органа. Знание. 2015. № 12-1. С. 82-88.
13. Борисенко И. Б. и др. Технологический процесс основной обработки как фактор ресурсосбережения при возделывании сельскохозяйственных культур. Оптимизация сельскохозяйственного землепользования и усиление экспортного потенциала АПК РФ на основе конвергентных технологий: материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград, 2020. С. 112-118.
14. Dzyuba O., Dzyuba A., Polyakov A., Volokh V., Antoshchenkov R., Mykhailov. A. Studying the influence of structural-mode parameters on energy efficiency of the plough PLN-3-35. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. No 3 (1-99). Pp. 55-65.
15. Бердышев В. Е., Цепляев А. Н., Шапоров М. Н., Харлашин А. В., Седов А. В., Цепляев В. А., Борисенко И. Б. Теория и расчет технологических параметров сельскохозяйственных машин. Волгоград, 2018.
16. Васьков А. А., Дорохов А. С., Романенко В. Н. Применение методов начертательной геометрии для графического построения развертывающихся рабочих поверхностей плугов. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина". 2012. № 1 (52). С. 42-44.
17. Васьков А. А., Дорохов А. С., Трушина Л. Н. Графическое построение рабочих поверхностей корпусов плугов. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина". 2012. № 2 (53). С. 51-53.
18. Борисенко И. Б. и др. Новые технологии обработки почвы. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2012. № 1 (25). С. 14-16.
19. Путрин А. С. и др. Основные характеристики движения почвенных частиц по криволинейной поверхности рабочего органа. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2008. № 1 (17). С. 93-98.
20. Бабицкий Л. Ф., Соболевский И. В., Куклин В. А. Обоснование оптимальных режимов работы культиваторных лап на виброударной подвеске. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. № 3 (58). С. 69-73.

21. Костылева Л. В., Гапич Д. С., Борисенко И. Б. Проблемные вопросы эксплуатации рабочих органов чизельных орудий и пути их решения. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2015. № 3 (39). С. 176-179.
22. Мазитов Н. К. и др. Российская технология обработки почвы и посева на основе собственных конкурентоспособных инновационных машин. Достижения науки и техники АПК. 2014. № 7. С. 68-70.
23. Мазитов Н. К. и др. Модернизированная технология и техника для обработки почвы и посева в экстремальных условиях. Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2014. № 6. С. 63-67.
24. Лобачевский Я. П. и др. Разработка и технология изготовления почвообрабатывающих рабочих органов. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. № 4. С. 3-8.
25. Измайлов А. Ю. и др. Новые материалы и технологии нанесения твердосплавных покрытий для деталей почвообрабатывающих машин. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2016. № 2. С. 66-69.
26. Лобачевский Я. П. и др. Анализ тягового сопротивления элементов цилиндрического плужного корпуса. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. № 2. С. 11-15.
27. Сидоров С. А. и др. Влияние геометрических и установочных параметров плужных рабочих органов на агротехнические и силовые характеристики. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14. № 2. С. 10-16.
28. Измайлов А. Ю. и др. Применение теории подобия для моделирования износа почворезущих лезвий в искусственной абразивной среде. Российская сельскохозяйственная наука. 2016. № 6. С. 48-51.

References

1. Vetokhin V. I. On the dynamics of the shape of the surface of the working organs of soil coolers. Tractors and agricultural machines. 2010. No. 6. Pp. 30-35.
2. Lobachevsky Ya. P., Starovoitov S. I. Optimal profile of the anterior surface of the chisel working organ. Agricultural machinery and technology. 2018. Vol. 12. No. 2. Pp. 26-30.
3. Lobachevsky Ya. P., Starovoitov S. I. Theoretical and technological aspects of the work of a loosening working organ. Agricultural machinery and technology. 2016. No. 5. Pp. 17-23.
4. Borisenko I. B., Dotsenko M. V. Technical and technological features of the combined working body. The field of the Volga region. 2015. No. 3 (36). Pp. 89-96.
5. Borisenko I. B., Sokolova M. V. Technological scheme of the working body for strip deep tillage. The field of the Volga region. 2014. No. 3 (32). Pp. 44-48.
6. Izmailov A., Liskin I., Lobachevskii Ya., Sidorov S., Khoroshenkov V., Mironova A., Luzhnova E. Simulation of soil-cutting blade wear in an artificial abrasive environment based on the similarity theory. Russian Agricultural Sciences. 2017. V. 43. N 1. Pp. 71-74.
7. Lobachevsky Ya. P., Starovoitov S. I. Physical aspects of loamy soil. Bryansk: Bryansk State Agrarian University, 2015. 92 p.
8. Lobachevsky Ya. P., Starovoitov S. I., Komogortsev V. F. Substantiation of parameters of soil-cutting working bodies for operating conditions on loamy soils. Moscow : Federal Scientific Agro-engineering Center VIM, 2018. 304 p.
9. Liskin I. V. et al. The results of laboratory studies of soil-cutting working organs. Agricultural machinery and technology. 2018. Vol. 12. No. 4. Pp. 41-47.
10. Lobachevsky Ya. P. et al. Scientific and technical achievements of agroengineering scientific organizations in the context of digital transformation of agriculture. Machinery and equipment for the village. 2023. No. 3 (309). Pp. 2-12.
11. Babitsky L. F., Sobolevsky I. V., Kuklin V. A. Theoretical prerequisites for bionic substantiation of parameters of working organs of a stubble cultivator. Agricultural science of the Euro-North-East. 2019. V. 20. No 2. Pp. 183-191.
12. Dotsenko A. E., Borisenko I. B. Optimization of the design and technological parameters of the chisel working body. Knowledge. 2015. No. 12-1. Pp. 82-88.
13. Borisenko I. B. et al. The technological process of basic processing as a resource-saving factor in the cultivation of agricultural crops. Optimization of agricultural land use and strengthening the export potential of the agro-industrial complex of the Russian Federation based on convergent technologies: proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Volgograd, 2020. Pp. 112-118.
14. Dzyuba O., Dzyuba A., Polyakov A., Volokh V., Antoshchenkov R., Mykhailov. A. Studying the influence of structural-mode parameters on energy efficiency of the plough PLN-3-35. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. No 3 (1-99). Pp. 55-65.
15. Berdyshev V. E., Tseplyaev A. N., Shaprov M. N., Kharlashin A.V., Sedov A.V., Tseplyaev V. A., Borisenko I. B. Theory and calculation of technological parameters of agricultural machinery. Volgograd, 2018.
16. Vaskov A. A., Dorokhov A. S., Romanenko V. N. Application of descriptive geometry methods for graphic construction of unfolding working surfaces of plows. Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Goryachkin Moscow State Agroengineering University". 2012. No. 1 (52). Pp. 42-44.
17. Vaskov A. A., Dorokhov A. S., Trushina L. N. Graphical construction of working surfaces of plough housings. Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Goryachkin Moscow State Agro-engineering University". 2012. No 2 (53). Pp. 51-53.
18. Borisenko I. B. et al. New technologies of tillage. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and higher professional education. 2012. No. 1 (25). Pp. 14-16.
19. Putrin A. S. et al. The main characteristics of the movement of soil particles along the curved surface of the working body. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2008. No. 1 (17). Pp. 93-98.
20. Babitsky L. F., Sobolevsky I. V., Kuklin V. A. Substantiation of optimal operating modes of cultivator paws on a vibration-shock suspension. Agricultural science of the Euro-North-East. 2017. No. 3 (58). Pp. 69-73.
21. Kostyleva L. V., Gapich D. S., Borisenko I. B. Problematic issues of the operation of chisel tools and ways to solve them. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2015. No 3 (39). Pp. 176-179.
22. Mazitov N. K. et al. The Russian technology of tillage and sowing based on its own competitive innovative machines. Achievements of science and technology of the Agro-industrial complex. 2014. No 7. Pp. 68-70.

23. Mazitov N. K. et al. Upgraded technology and machinery for tillage and sowing in extreme conditions. Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2014. No 6. Pp. 63-67.
24. Lobachevsky Ya. P. et al. Development and manufacturing technology of tillage working bodies. Agricultural machinery and technology. 2016. No 4. Pp. 3-8.
25. Izmailov A. Yu. et al. New materials and technologies for applying carbide coatings for tillage machine parts. Bulletin of the Russian Agricultural Science. 2016. No 2. Pp. 66-69.
26. Lobachevsky Ya. P. et al. Analysis of the traction resistance of the elements of the cylindrical plow body. Agricultural machinery and technology. 2016. No 2. Pp. 11-15.
27. Sidorov S. A. et al. The influence of geometric and installation parameters of plow working bodies on agro-technical and power characteristics. Agricultural machinery and technology. 2020. Vol. 14. No 2. Pp. 10-16.
28. Izmailov A. Yu. et al. The application of similarity theory to model the wear of ground-cutting blades in an artificial abrasive environment. Russian agricultural science. 2016. No. 6. Pp. 48-51.

Информация об авторах

Субботин Станислав Игоревич, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Гапич Дмитрий Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Фомин Сергей Денисович, доктор технических наук, профессор кафедры, заведующий Центром наукометрического анализа и международных систем индексирования, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

Галанский Константин Владимирович, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: k.galanskii@mail.ru

Authors' Information

Subbotin Stanislav Igorevich, Postgraduate Student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskii Ave., 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Gapich Dmitry Sergeevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskii Ave., 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Fomin Sergey Denisovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department, Head of the Center for Scientometric Analysis and International Indexing Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskii Ave., 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

Galansky Konstantin Vladimirovich, Postgraduate Student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskii Ave., 26), e-mail: k.galanskii@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-70

THE FENUGREEK SEEDS APPLICATION FOR THE FUNCTIONAL SOFT CHEESES PRODUCTION

^{1,2}Slozhenkina M. I., ^{1,2}Gorlov I. F., ¹Mosolova N. I., ¹Antipova T. A., ¹Kudryashova O. V.,
^{1,2}Mosolova E. A.

¹Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production

²Volgograd State Technical University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: niimmp@mail.ru

Received 11.12.2025

Submitted 22.01.2026

The work was carried out within the framework of the State Assignment of GNU NIIMMP 2025-2029.

Abstract

Introduction. The use of milk from various farm animal species is a promising area in food production. Goat's milk is a particularly promising option in this context. In recent years, cheeses made from goat's milk have become increasingly available in stores, including those with various additives that impart a unique taste and properties to the finished product. Fenugreek seeds hold promise in this area. **Materials and methods.** The subjects of the study were goat's milk and cheese samples produced from it. Milk from Saanen goats was used for production. Organoleptic and physicochemical methods according to GOST 32940-2014 were used in the milk analysis. Cheese quality tests were conducted according to GOST 32263-2013. Determination and enumeration of probiotic microorganisms were carried out in accordance with GOST 56139-2014 "Specialized and functional food products. Methods for determination and enumeration of microorganisms". **Results and discussion.** The study of the quality of goat's milk showed its compliance with the current standard in terms of organoleptic and physicochemical parameters. The milk had a clean taste and smell, was characterized by a uniform consistency and a light cream color. The values of the mass fraction of fat, protein, dry matter and dry non-fat milk residue in the studied raw materials exceeded those established in this standard by 1.1; 0.5; 1.1 and 0.4 %. When producing samples of soft cheese with fenugreek in the amount of 5 %, its influence on the formation of quality indicators of the test sample was established. The finished product acquired a pleasant nutty taste and had a superiority in the mass fraction of fat and protein by 0.4 and 0.28 %, as well as in the content of such amino acids as valine, leucine, isoleucine, arginine, glycine, glutamic and aspartic acids by 4.0; 6.6; 5.7; 8.7; 5.9; 6.7 % and 6.0 %, respectively.

respectively. The results of the studies suggest that using fenugreek seeds in soft cheese production improves the product's organoleptic properties, enhances its nutritional and biological value, and increases its functional properties.

Keywords: goat's milk, soft cheeses, fenugreek seeds, cheese quality indicators, soft cheese production.

Citation. Slozhenkina M. I., Gorlov I. F., Mosolova N. I., Antipova T. A., Kudryashova O. V., Mosolova E. A. The fenugreek seeds application for the functional soft cheeses production. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 1(85). 678-687 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-70.

Authors' contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, execution, and analysis of this study. All authors of this article have reviewed and approved the submitted version.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

УДК 637.3

ПРИМЕНЕНИЕ СЕМЯН ПАЖИТНИКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МЯГКИХ СЫРОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

^{1,2}Сложенкина М. И., доктор биологических наук, профессор, член-корр. РАН

^{1,2}Горлов И. Ф., академик РАН, профессор, доктор сельскохозяйственных наук

¹Мосолова Н. И., доктор биологических наук

¹Антипова Т. А., доктор биологических наук

¹Кудряшова О. В., кандидат биологических наук

^{1,2}Мосолова Е. А., лаборант-исследователь

¹Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции

²ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет

г. Волгоград, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках Государственного задания ГНУ НИИММП 2025-2029 гг.

Актуальность. Использование молока различных видов сельскохозяйственных животных – одно из перспективных направлений в производстве пищевой продукции. В данном контексте можно с уверенностью рассматривать козье молоко. В последние годы все чаще в торговой сети можно встретить сыры, производимые из козьего молока, в том числе с различными добавками, придающими готовому продукту оригинальные вкус и свойства. Перспективным в данном направлении являются семена пажитника. **Материалы и методы.** Объектами исследований являлись козье молоко и выработанные из него образцы сыра. Для выработки использовали молоко, полученное от коз зааненской породы. При проведении исследований молока применялись органолептические и физико-химические методы по ГОСТ 32940-2014. Исследования качественных показателей сыров проводили по ГОСТ 32263-2013. Определение и подсчет пробиотических микроорганизмов – в соответствии с ГОСТ 56139-2014 «Продукты пищевые специализированные и функциональные. Методы определения и подсчета микроорганизмов». **Результаты и обсуждение.** Изучение качества козьего молока показало его соответствие по органолептическим и физико-химическим показателям действующего стандарта. Молоко имело чистый вкус и запах, характеризовалось однородной консистенцией и светло-кремовым цветом. Значения массовой доли жира, белка, сухих веществ и сухого обезжиренного молочного остатка в исследуемом сырье превышали установленные в данном стандарте на 1,1; 0,5; 1,1 и 0,4 %. При выработке образцов мягкого сыра с пажитником в количестве 5 %, установлено его влияние на формирование качественных показателей опытного образца. Готовый продукт приобрел приятный ореховый вкус и имел превосходство по массовой доле жира и белка на 0,4 и 0,28 %, а также по содержанию таких аминокислот, как валин, лейцин, изолейцин, аргинин, глицин, глутаминовая и аспарагиновая кислоты на 4,0; 6,6; 5,7; 8,7; 5,9; 6,7 и 6,0 %, соответственно. Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод, что применение семян пажитника в производстве мягких сыров улучшает органолептические показатели продукта, повышает его пищевую и биологическую ценность и функциональную направленность.

Ключевые слова: козье молоко, мягкие сыры, семена пажитника, показатели качества сыра, производство мягких сыров.

Цитирование. Сложенкина М. И., Горлов И. Ф., Мосолова Н. И., Антипова Т. А., Кудряшова О. В., Мосолова Е. А. Применение семян пажитника для производства мягких сыров функциональной направленности. *Известия НВ АУК.* 2026. 1(85). 678-687. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-01-70.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и представленным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Одной из ключевых тенденций в развитии российского молочного рынка является разработка и внедрение инновационных технологий для производства продуктов функциональной направленности. Использование биологически активных веществ, макро- и микронутриентов, пищевых волокон для обогащения пищевой продукции позволяет не только улучшать ее качество, но и способствует расширению ассортимента в целом. Созданные таким образом продукты, сочетают в себе пользу молочного сырья и внесенных ингредиентов, приобретая новые ценные свойства и, по мнению диетологов, наиболее полно удовлетворяют потребности организма в основных питательных веществах [1, 2].

В качестве обогащающих компонентов производителями активно используется разнообразное растительное сырье, ароматические и вкусовые добавки, концентраты, отруби, изоляты, про- и пребиотики и др. Создавая новые вкусы продукта, повышается его пищевая и биологическая ценность, что в свою очередь положительно сказывается на рационе [3, 4, 5, 6].

В этом контексте наиболее перспективным компонентом является пажитник, семена которого в основном используют как специю. По мнению ряда авторов [7], это способствует нормализации жирового обмена, повышению иммунитета и выведению токсинов из организма. Обладая рядом преимуществ, таких как высокое содержание витаминов, незаменимых аминокислот, фитостеринов и флавоноидов, производители успешно включают его в рецептуры мясных и хлебобулочных продуктов, а также используют в производстве сыров [8].

Использование альтернативных видов молочного сырья – одно из прогрессивных направлений в производстве органической молочной продукции. Это наиболее актуально в связи с вступлением в силу закона об органической продукции (№ 280 ФЗ), устанавливающего требования к экологически чистой сельскохозяйственной продукции [9]. В этом направлении можно с уверенностью рассматривать козье молоко, которое представляет интерес для переработки в пищевые продукты как в частных и фермерских хозяйствах, так и для отраслевых предприятий. Многие производители заинтересованы в переработке козьего молока и получении продукции на его основе, что объясняется пропагандой здорового образа жизни и мотивацией населения к потреблению экологически чистой и безопасной продукции [10, 11]. В последние годы все чаще в торговой сети можно встретить сыры, производимые из козьего молока, в том числе с различными добавками, придающими готовому продукту оригинальные вкус и свойства [12, 13]. При этом в научной литературе отмечается, что наиболее рационально использовать сырье на производство мягких сыров, технология которых не требует созревания в отличие от твердых сортов [14]. Однако, за счет того, что козье молоко характеризуется пониженной ферментативной активностью, связанной с качественным составом белка, то при его переработке требуется увеличение нормы вносимой заквасочной культуры и хлористого кальция для получения требуемой консистенции готового продукта [15].

Отрасль современного сыроделия предоставляет потребителям широкий ассортимент разнообразных сыров для использования как самостоятельного продукта питания, или как ингредиента в кулинарии, а ее выход на мировой рынок обеспечивает наполненность ассортимента продукции, производимой с применением отечественных и зарубежных технологий [16].

Цель исследований: Оценка качества козьего молока, выработка из него мягкого сыра с растительным ингредиентом и комплексная оценка качества готового продукта.

Материалы и методы: Объектами исследований являлись козье молоко и выработанные из него образцы сыра. Для выработки использовали молоко, полученное от коз зааненской породы ЛПХ Сосовой Л. К. Волгоградской области. При проведении исследований молока применялись органолептические и физико-химические методы по ГОСТ 32940-2014. Исследования качественных показателей сыров проводили по ГОСТ 32263-2013. Определение и подсчет пробиотических микроорганизмов – в соответствии с ГОСТ 56139-2014 «Продукты пищевые специализированные и функциональные. Методы определения и подсчета микроорганизмов». Обработку данных, полученных в исследованиях, проводили с помощью программы Excel офисного пакета Microsoft Office (Microsoft, США).

Результаты и обсуждение. Изучение и оценка качественных показателей молока-сырья направлена на получение мягкого сыра, соответствующего требованиям действующего стандарта.

Показатели качества молока-сырья, установленные в ходе исследования, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Органолептические показатели молока
Table 1 – Organoleptic indicators of milk

Наименование показателя / Indicator name	Требования по ГОСТ / Requirements of state standards	Характеристика исследуемого сырья / Characteristics of test raw materials
Вкус и запах / Taste and smell	Чистый, без посторонних запахов и привкусов, не свойственных свежему козьему молоку. Допускается слабо выраженный кормовой привкус и запах, а также слабый специфический привкус козьего молока / Clean, without extraneous odors and smells that are not characteristic of fresh goat's milk. Slightly pronounced feed taste and smell are allowed, as well as a slight specific taste of goat's milk	Чистый, без посторонних привкусов и запахов / Clean, without extraneous tastes and smells
Консистенция / Consistence	Однородная жидкость без осадка и хлопьев белка / Homogeneous liquid without sediment and protein flakes	Однородная жидкость без осадка и хлопьев / Homogeneous liquid without sediment and flakes
Цвет / Color	От белого до светло-желтого / White to light yellow	Светло-желтый / Light yellow

По показателям органолептических свойств исследуемый образец молока полностью отвечает требованиям стандарта. Молоко имеет чистый вкус и запах, характеризуется однородной консистенцией и светло-желтым цветом.

Таблица 2 – Физико-химические показатели молока
Table 2 – Physical and chemical parameters of milk

Наименование показателя / Indicator name	Норма по ГОСТ / Norm of state standards	Норма для исследуемого показателя / Limit for test parameter
Массовая доля жира, % / Fat mass fraction, %	не менее 3,2 / not less 3,2	4,30±0,02
Массовая доля белка, % / Protein mass fraction, %	не менее 2,8 / not less 2,8	3,30±0,03
Массовая доля лактозы, % / Mass fraction of lactose, %	-	4,53±0,05
Массовая доля минеральных веществ, % / Mass fraction of mineral substances, %	-	0,82±0,01
Массовая доля сухих веществ, % / Mass fraction of dry substances, %	не менее 11,8 / not less 11,8	12,9±0,55
Массовая доля СОМО, % / Mass fraction of СОМО, %	не менее 8,2 / not less 8,2	8,60± 0,09
Титруемая кислотность, °Т / Titratable acidity, °Т	14-21	18,5±0,20
Плотность, кг/м ³ / Density, kg/m ³	1027,0-1030,0	1028,0±0,31

Результаты физико-химических показателей свидетельствуют об их соответствии требованиям ГОСТ 32940-2014 «Молоко козье сырое. Технические условия». При этом следует отметить, что значения массовой доли жира, белка, сухих веществ и СОМО в исследуемом сырье превышали установленные в данном стандарте на 1,1; 0,5; 1,1 и 0,4 %, соответственно. Показатели кислотности и плотности не превышали установленных в ГОСТе и имели значения 18,5°Т и 1028 кг/м³.

Органолептические и физико-химические параметры молочного сырья являются не только индикаторами его качества, но и существенными факторами, определяющими характеристики конечного продукта. Их контроль позволяет минимизировать риск развития нежелательных изменений в процессе технологической обработки продукта и его хранения. Это особенно важно для сквашенных продуктов и сыров, так как их производство влечет за собой существенные изменения всех составляющих.

Полученные данные свидетельствуют о высоком качестве молока. Оно обладает отличными вкусовыми характеристиками, соответствует требованиям стандартов и может быть использовано в производстве пищевых продуктов.

Для проведения дальнейших исследований был выбран мягкий сыр. С целью придания продукту функциональной направленности использовали обогащающий компонент – семена пажитника. Обладая рядом положительных эффектов, семена пажитника (в зави-

симости от региона произрастания) содержат от 20,0 до 30,0 % белка; 6,0-11,0 % жира; 31,0-36,0 % углеводов. Не исключение составляют пищевые волокна, так называемая «пажитниковая камедь», содержание которых находится в пределах 21,0-5,0 % [17, 18].

Пищевая и биологическая ценность готового продукта, определяемая совокупностью значений физико-химических показателей и эффективностью использования белка, может быть оптимизирована за счет применения обогащающих компонентов. В качестве заквасочной культуры выбран лиофилизированный бактериальный концентрат, включающий *Lactobacillus casei*, *Lactococcus lactis subs. cremoris*, *Lactococcus lactis subs. diacetylactis*, *Streptococcus thermophiles* и *Bifidobacterium bifidum*.

Для проведения исследований использованы семена пажитника, имеющего следующие показатели состава (таблица 3), согласно спецификации производителя.

Таблица 3 – Показатели семян пажитника
Table 3 – Fenugreek seeds parameters

Наименование показателя / Indicator name	Значение показателей из расчета на 100 г / Value of indicators per 100 g
Содержание белка, г / Protein content, g	23,8
Содержание жира, г / Fat content, g	7,11
Содержание углеводов, г / Carbohydrate content, g	35,25
Содержание пищевых волокон, г / Dietary fiber content, g	23,3
Витамины, мг: / Vitamins, mg	
B ₁	0,33
B ₂	0,40
B ₃	1,6
B ₆	0,60
C	3,0
PP	1,64
Минеральные вещества, мг / Mineral substances, mg	
Калий / Potassium	770,0
Фосфор / Phosphorus	296
Магний / Magnesium	191
Кальций / Calcium	176
Натрий / Sodium	67
Железо / Iron	33,53

Выработку образцов сыра проводили по традиционной технологии с элементами обогащения сырного зерна. Схема технологического процесса включала следующие операции: приемка, оценка качества и подготовка сырья; внесение заквасочной культуры, сычужного фермента и свертывание; обработка сгустка, формование и самопрессование; внесение семян пажитника, посолка и перемешивание сырной массы; созревание. При обогащении сыра семенами пажитника руководствовались показателями пищевой и биологической ценности, а также органолептическими характеристиками готового продукта.

Основные технологические операции и параметры, применяемые при выработке лабораторных образцов сыра, приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Основные технологические операции и параметры, применяемые при выработке лабораторных образцов сыра

Table 4 – Main technological operations and parameters used in the production of laboratory samples of cheese

Технологические операции / Production operations	Исследуемые показатели и параметры технологической операции / Process operation parameters and parameters under investigation
1	2
Приемка молока и оценка качества / Milk acceptance and quality assessment	органолептические, физико-химические показатели / organoleptic, physical and chemical parameters
Подготовка сырья: / Raw material preparation:	
- очистка и охлаждение молока / milk purification and cooling	механическая очистка, Т охл. 10°C / mechanical cleaning, T cool. 10°C
- пастеризация молока / pasteurization of milk	80°C; 5 сек
-охлаждение / cooling	36°C
Подготовка молока к свертыванию: / Preparation of milk for clotting:	кислотность молока (перед свертыванием) 19°Т / acidity of milk (before clotting) 19°Т

Окончание таблицы 4

1	2
- внесение бактериальной закваски / внесение бактериальной закваски	2 % от количества молока / 2 % of milk
- внесение сычужного фермента / rennet application	2 мерные ложки (рекомендации производителя) / 2 scoops (manufacturer's recommendations)
Свертывание молока и обработка полученного зерна: / Milk clotting and processing of the resulting grain:	Температура 36 °С длительность свертывания 25 мин / temperature 36 °C clotting time 25 min
-обработка сырного зерна / cheese grain treatment	30 мин / 30 min
Формование: Методом налива / Molding: Filling method	продолжительность 10 мин / duration 10 min
-внесение семян пажитника / fenugreek seeds application	5 %
Самопрессование: / Self-pressing:	Длительность 2,5 часа Температура 18°С / Duration 2.5 hours Temperature 18°С
Посолка: / Salting:	длительность 2 часа / Duration 2 hours
- приготовление раствора соли / preparation of salt solution	концентрация 15 % / concentration 15 %
Обсушка сыра: / Cheese drying:	температура воздуха 10°С продолжительность 30 мин / air temperature 10°С duration 30 min
Созревание: / Maturation:	Время 2 сут. температура 10°С / Time 2 days temperature 10°С
Получение готового продукта / Preparation of the finished product	органолептические и физико-химические показатели / organoleptic and physicochemical parameters

Учитывая показатели качества молока и состав семян пажитника, выработаны 2 образца мягкого сыра: I – контрольный образец без семян пажитника; II – опытный образец с семенами пажитника в количестве 5 %. Характеристика выработанных образцов приведена в таблицах 5 и 6.

Таблица 5 – Органолептические показатели исследуемых образцов

Table 5 – Organoleptic parameters of the test samples

Наименование показателя / Indicator name	Характеристика образцов / Characteristics of samples	
	I контрольный / control I	II опытный / experimental II
Вкус и запах / Taste and smell	Чистый кисломолочный, слегка солоноватый / Pure fermented milk, slightly brackish	Чистый кисломолочный с выраженным ореховым привкусом / Pure fermented milk with a pronounced nutty taste
Консистенция / Consistence	Однородная, пластичная / Homogeneous, plastic	В меру плотная, с включениями семян пажитника / Moderately dense, with fenugreek seed inclusions
Цвет / Color	Белый, однородный по всей массе / White, uniform throughout	От белого до кремового, коричневатый в месте контакта с семенами пажитника / White to cream, brownish at the point of contact with fenugreek seeds

Включение семян пажитника оказало влияние на формирование органолептических показателей опытного образца мягкого сыра. Готовый продукт приобрел ореховый привкус, обусловленный наполнителем. Незначительное уплотнение консистенции и изменение цвета в опытном образце обусловлено присутствием наполнителя.

Таблица 6 – Физико-химические показатели исследуемых образцов сыра

Table 6 – Physicochemical parameters of the test samples of cheese

Наименование показателя / Indicator name	Характеристика образцов / Characteristics of samples	
	Контрольный / Control	Опытный / Experimental
Массовая доля жира, % / Fat mass fraction, %	30,71±0,31	31,11±0,28
Массовая доля белка, % / Protein mass fraction, %	16,51±0,13	16,79±0,11
Массовая доля хлористого натрия, % / Mass fraction of sodium chloride, %	1,3±0,01	1,1±0,02
Энергетическая ценность, ккал / Energy value, kcal	342	349

Анализ полученных результатов, представленных в таблице, свидетельствует о соответствии показателей требованиям стандарта. Оценка пищевой ценности готового продукта показала, что включение семян пажитника в рецептуру сыра повлияло на качество готового продукта. По показателям массовой доли жира и белка опытный образец превосходил контрольный на 0,40 и 0,28 %, что объясняется наличием жира и белка в добавленном компоненте и меньшей их потерей с сывороткой за счет образования более плотной консистенции. Согласно ГОСТ 55577-2013 «Продукты пищевые специализированные и функциональные. Информация об отличительных признаках и эффективности», полученные образцы можно отнести к продуктам, обладающим функциональными свойствами, так как количество пробиотических микроорганизмов в них составляет более 10^6 КОЕ/г. Наличие пищевых волокон, флавоноидов, витаминов, минеральных веществ в семенах пажитника и интенсификация микробиологических процессов при хранении готового продукта, способствовали более активному развитию полезной микрофлоры в опытном образце сыра и достижению более высоких показателей (10^7 КОЕ/г).

Биохимические процессы, происходящие в процессе производства мягкого сыра, способствуют накоплению заменимых и незаменимых аминокислот [19]. Учитывая, что в состав белкового компонента опытного образца мягкого сыра входит молочный и растительный белок, целесообразным представлялось проведение исследования аминокислотного состава выработанных образцов мягкого сыра. Результаты исследований представлены на рисунках 1 и 2.

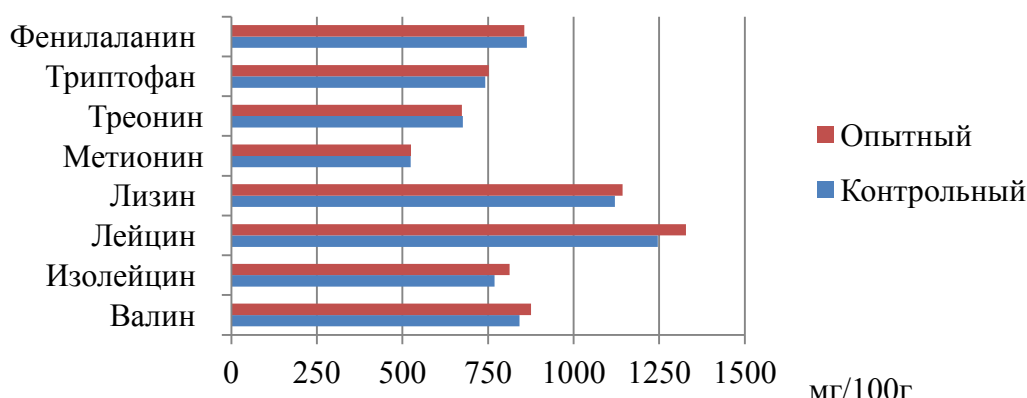


Рисунок 1 – Содержание незаменимых аминокислот в образцах мягких сыров, мг/100 г
Figure 1 – Content of essential amino acids in soft cheese samples, mg/100 g

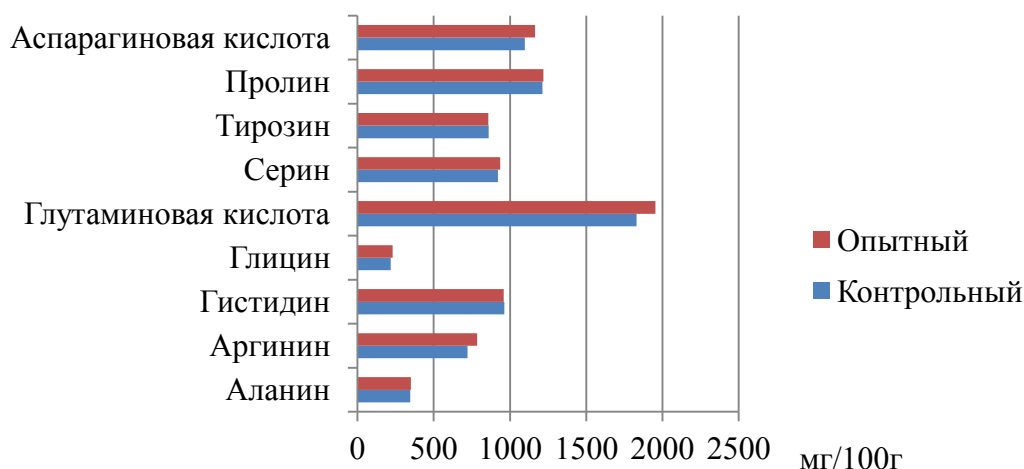


Рисунок 2 – Содержание заменимых аминокислот в образцах мягких сыров, мг/100 г
Figure 2 – Content of replaceable amino acids in soft cheese samples, mg/100 g

Анализ полученных данных свидетельствует об активизации биохимических процессов в опытном образце сыра, в котором общее количество заменимых и незаменимых аминокислот выше, чем в контрольном на 3,1 %. Наиболее высокая разница в показателях опытного и контрольного образцов получена по таким аминокислотам, как валин на 4,0 %; лейцин – 6,6 %; изолейцин – 5,7 %; аргинин – 8,7 %; глицин – 5,9 %; глутаминовая кислота – 6,7 %; аспарагиновая кислота – 6,0 %. Значения отдельных аминокислот, таких как метионин, треонин, тирозин остались практически на одном уровне. Количество тирозина, гистидина и фенилаланина в опытном образце сыра незначительно снизилось. Изменение содержания аминокислот в продукте объясняется наличием отдельных аминокислот в обогащающей добавке, а также их продуцированием микроорганизмами заквасочной культуры. Лимитирующие аминокислоты отсутствуют, что свидетельствует о высокой биологической ценности обоих образцов сыра. При этом аминокислотный скор опытного образца сыра на 2,9 % выше показателя контрольного.

Заключение. Проведенные исследования по оценке качества козьего молока и возможности производства образцов мягких сыров с семенами пажитника позволили оценить влияние обогащающего ингредиента на показатели готового продукта.

При изучении качества молока-сырья установлено его соответствие органолептическим и физико-химическим показателям действующего стандарта. Молоко имело чистый вкус и запах, характеризовалось однородной консистенцией и светло-кремовым цветом. Значения массовой доли жира, белка, сухих веществ и сухого обезжиренного молочного остатка в исследуемом сырье превышали установленные в данном стандарте на 1,1; 0,5; 1,1 и 0,4 %, соответственно. Проведены выработки образцов мягкого сыра с пажитником, добавление которого в количестве 5 %, оказало влияние на формирование органолептических и физико-химических показателей опытного образца. Готовый продукт приобрел приятный ореховый вкус, обусловленный наполнителем. По показателям массовой доли жира и белка опытный образец отличался более высокими значениями. Содержание жира и белка превышало на 0,4 и 0,28 % контрольный образец. При исследовании аминокислотного состава наиболее высокие показатели получены по таким аминокислотам, как валин на 4,0 %; лейцин – 6,6 %; изолейцин – 5,7 %; аргинин – 8,7 %; глицин – 5,9 %; глутаминовая кислота – 6,7 %; аспарагиновая кислота – 6,0 %, превышающие показатели контрольного образца. Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод, что применение семян пажитника в производстве мягких сыров улучшает органолептические показатели продукта, повышает пищевую и биологическую ценность и его функциональную направленность.

Conclusion. Studies conducted to evaluate the quality of goat's milk and the possibility of producing samples of soft cheeses with fenugreek seeds made it possible to assess the effect of the enriching ingredient on the indicators of the finished product. When studying the quality of raw milk, its compliance with the organoleptic and physical and chemical parameters of the current standard was established. The milk had a clean taste and smell, was characterized by a uniform consistency and a light cream color. The values of the mass fraction of fat, protein, solids and skimmed milk residue in the studied raw materials exceeded those established in this standard by 1.1, 0.5, 1.1 and 0.4 %, respectively. Samples of soft cheese with fenugreek were produced, the addition of which in an amount of 5 % had an effect on the formation of organoleptic and physical and chemical parameters of the prototype. The finished product has acquired a pleasant nutty taste due to the filler. In terms of the mass fraction of fat and protein, the prototype had higher values. The fat and protein content exceeded the control sample by 0.4 and 0.28 %. In the study of amino acid composition, the highest values were obtained for amino acids such as valine by 4.0 %; leucine – 6.6 %; isoleucine – 5.7 %; arginine – 8.7 %; glycine – 5.9 %; glutamic acid – 6.7 %; aspartic acid – 6.0 %, exceeding the values of the control sample. The results of the conducted research allow us to conclude that the use of fenugreek seeds in the production of soft cheeses improves the organoleptic characteristics of the product, increases the nutritional and biological value and its functional orientation.

Библиографический список

1. Мусина О. Н., Сурай Н. М. Современные тенденции на российском рынке сыров. Сыроделие и маслоделие. 2021. № 2. С. 16-18.
2. Лесовская М. И. Антиоксидантная активность цианогенного растительного сырья. Thescientificheritage. 2020. № 5. С. 37-41
3. Остроухова И. Л., Мордвинова В. А., Остроухов Д. В. Преимущества технологий сыров термокислотного свертывания. Сыроделие и маслоделие. 2023. № 3. С. 35-37.
4. Зомитева Г. М. и др. Оценка конкурентного потенциала мягкого сыра с добавлением ферментированных солодовых ростков ячменя. Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2019. № 1 (54). С. 106-110.
5. Щетинина Е. М., Гаврилова Н. Б., Чернопольская Н. Л., Щетинин М. П. Мягкий сыр на основе козьего молока для специализированного питания. Хранение и переработка сельхозсырья. 2022. № 3. С. 134-146.

6. Стурова Ю. Г., Гришкова А. В., Коньшин В. В. Влияние пробиотических культур и липолитических ферментов на свойства молочного продукта в разрабатываемой биотехнологии сыра. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2021. Т. 11. N 2. С. 290-298.
7. Wani S. A., Kumar P. Fenugreek: A review on its nutraceutical properties and utilization in various food products. Journal of Saudi Society of Agricultural Sciences. 2018. V. 17. № 2. Pp. 97-106.
8. Бакуменко О. Е. и др. Исследование влияния порошка из семян пажитника на показатели качества ржано-пшеничного хлеба. Пищевая промышленность. 2022. № 2. С. 12-15.
9. Семин А. Н. и др. Развитие молочного козоводства – перспективное направление агробизнеса. Экономика сельского хозяйства России. 2022. № 6. С. 81-84.
10. Суфьянова Л. М., Кабанова Т. В., Короткова А. И. Экспертиза мягких сыров, выработанных из козьего и коровьего молока. Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2024. Т. 10. № 3. С. 256-263.
11. Сергеев И. С., Миринянина А. П., Гненная К. Ю. Молочное животноводство. Рентабельность козьего молока относительно коровьего. Инновации. Наука. Образование. 2021. № 43. С. 355-359.
12. Щетинина Е. М. и др. Мягкий сыр на основе козьего молока для специализированного питания. Хранение и переработка сельхозсырья. 2022. № 3. С. 134-146.
13. Горлов И. Ф. и др. Изготовление мягкого сыра на основе козьего молока с новым видом белкового концентрата. Известия НВ АУК. 2023. № 3 (71). С. 242-250.
14. Горлов И. Ф. Биологическая ценность основных пищевых продуктов животного и растительного происхождения. Волгоград: Перемена. 2016. 264 с.
15. Гаврилова Н. Б., Чернопольская Н. Л. Технология мягкого сыра с использованием козьего молока и функциональных ингредиентов. Переработка молока. 2023. № 5 (283). С. 16-18.
16. Храмова В. Н. и др. Совершенствование технологии производства сыра из козьего молока с использованием растительных ингредиентов. Аграрно-пищевые инновации. 2019. № 4 (8). С. 65-73.
17. Гарькина П. К., Селиванов Е. С. Использование пажитника в качестве источника функциональных пищевых ингредиентов. Инновационная техника и технология. 2023. Т. 10. № 1. С. 19-23.
18. Матюшина А. В., Тошев А. Д. Общая характеристика семян пажитника и его полезные свойства в качестве функциональной добавки в продуктах питания. Вестник науки и образования. 2023. № 1-1 (132). С. 22-26.
19. Донскова Л. А., Лейберова Н. В., Лукиных М. И. Характеристика аминокислотного профиля мягких сыров и оценка биологической ценности. Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2023. Т. 11. № 4. С. 55-64.

References

1. Musina O. N., Surai N. M. Modern trends in the Russian cheese market. Cheese and butter making. 2021. No 2. Pp.16-18.
2. Lesovskaya M. I. Antioxidant activity of cyanogenic plant raw materials. Thescientificheritage. 2020. No 5. Pp. 37-41.
3. Ostroukhova I. L., Mordvinova V. A., Ostroukhov D. V. Advantages of thermoacid coagulation cheese technologies. Cheese and butter making. 2023. No 3. Pp. 35-37.
4. Zomiteva G. M. et al. Evaluation of the competitive potential of soft cheese with the addition of fermented malted barley sprouts. Technology and commodity science of innovative food products. 2019. No 1 (54). Pp. 106-110.
5. Shchetinina E. M., Gavrilova N. B., Chernopolskaya N. L., Shchetinin M. P. Soft cheese based on goat's milk for specialized nutrition. Storage and processing of agricultural raw materials. 2022. No 3. Pp.134-146.
6. Sturova Yu. G., Grishkova A.V., Konshin V. V. The effect of probiotic cultures and lipolytic enzymes on the properties of a dairy product in the cheese biotechnology being developed. Proceedings of HE. Applied chemistry and biotechnology. 2021. V. 11. N 2. Pp. 290-298.
7. Wani S. A., Kumar P. Fenugreek: A review on its nutraceutical properties and utilization in various food products. Journal of Saudi Society of Agricultural Sciences. 2018. V. 17. No 2. Pp. 97-106.
8. Bakumenko O. E. et al. Investigation of the effect of fenugreek seed powder on the quality of rye-wheat bread. Food industry. 2022. No 2. Pp. 12-15.
9. Semin A. N. et al. The development of dairy goat breeding is a promising area of agribusiness. The economics of agriculture in Russia. 2022. No 6. Pp. 81-84.
10. Sufyanova L. M., Kabanova T. V., Korotkova A. I. Examination of soft cheeses made from goat and cow's milk. Bulletin of the Mari State University. The series "Agricultural sciences. Economic Sciences". 2024. V. 10. No 3. Pp. 256-263.
11. Sergeev I. S., Mirinyanina A. P., Gnennaya K. Y. Dairy farming. Profitability of goat's milk relative to cow's milk. Innovation. Science. Education. 2021. No 43. Pp. 355-359.
12. Shchetinina E. M. et al. Soft cheese based on goat's milk for specialized nutrition. Storage and processing of agricultural raw materials. 2022. No 3. Pp. 134-146.
13. Gorlov I. F. et al. Production of soft cheese based on goat's milk with a new type of protein concentrate. Proceedings of the LV AUK. 2023. № 3 (71). Pp. 242-250.
14. Gorlov I. F. Biological value of basic food products of animal and plant origin. Volgograd: Change. 2016. 264 p.
15. Gavrilova N. B., Chernopolskaya N. L. Technology of soft cheese using goat's milk and functional ingredients. Milk processing. 2023. No 5 (283). Pp. 16-18.
16. Khramova V. N. et al. Improving the technology of cheese production from goat's milk using vegetable ingredients. Agricultural and food innovations. 2019. No 4 (8). Pp. 65-73.
17. Garkina P. K., Selivanov E. S. The use of fenugreek as a source of functional food ingredients. Innovative machinery and technology. 2023. V. 10. No 1. Pp. 19-23.
18. Matyushina A.V., Toshev A.D. General characteristics of fenugreek seeds and its beneficial properties as a functional additive in food. Bulletin of Science and Education. 2023. No 1-1 (132). Pp. 22-26.
19. Donskova L. A., Leiberova N. V., Lukinykh M. I. Characteristics of the amino acid profile of soft cheeses and assessment of biological value. Bulletin of SUSU. The series "Food and biotechnology". 2023. V. 11. No 4. Pp. 55-64.

Информация об авторах

Сложенкина Марина Ивановна, доктор биологических наук, профессор, член корреспондент РАН, директор, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, Россия, г. Волгоград, ул. им. Рокоссовского, 6); профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9542-5893>, e-mail: niimmp@mail.ru

Горлов Иван Федорович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, научный руководитель, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, Россия, г. Волгоград, ул. им. Рокоссовского, 6); заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8683-8159>, e-mail: niimmp@mail.ru

Мосолова Наталья Ивановна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, Россия, г. Волгоград, ул. им. Рокоссовского, 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6559-6595>, e-mail: niimmp@mail.ru

Антипова Татьяна Алексеевна, доктор биологических наук, старший научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, Россия, г. Волгоград, ул. им. Рокоссовского, 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0365-4806>, e-mail: niimmp@mail.ru

Кудряшова Ольга Владимировна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, Россия, г. Волгоград, ул. им. Рокоссовского, 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6634-3685>, e-mail: kudryashova-niimmp@mail.ru

Мосолова Елизавета Александровна, ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), лаборант-исследователь, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, Россия, г. Волгоград, ул. им. Рокоссовского, 6), ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3898-4439>, e-mail: elizavetamosolova37@gmail.com

Authors' Information

Slozenkina Marina Ivanovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director, Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky str., 6); Professor, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9542-5893>, e-mail: niimmp@mail.ru

Gorlov Ivan Fedorovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director, Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky str., 6); Head of the Department, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8683-8159>, e-mail: niimmp@mail.ru

Mosolova Natalya Ivanovna, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky str., 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6559-6595>, e-mail: niimmp@mail.ru

Antipova Tatyana Alekseevna, Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher, Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky str., 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0365-4806>, e-mail: niimmp@mail.ru

Kudryashova Olga Vladimirovna, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky str., 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6634-3685>, e-mail: kudryashova-niimmp@mail.ru

Mosolova Elizaveta Aleksandrovna, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), Laboratory research assistant, Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky str., 6), ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3898-4439>, e-mail: elizavetamosolova37@gmail.com

СОДЕРЖАНИЕ / ABSTRACTS

АГРОНОМИЯ, ЛЕСНОЕ И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО /
AGRONOMY, FORESTRY AND WATER MANAGEMENT**Кулик К. Н., Танюкевич В. В.**

Пирогенное районирование агролесоландшафтов Ростовской области

Kulik K. N., Tanyukevich V. V.

The pyrogenic zoning of the agroforestry landscapes in the Rostov region..... 16

Новиков А. Е., Богомолова Н. В., Збукарев Р. В.

Актуальная оценка увлажненности земель Волгоградского пригородного сельскохозяйственного района

Novikov A. E., Bogomolova N. V., Zbukarev R. V.

The up-to-date lands moisture content assessment of the Volgograd suburban agricultural district..... 25

Беляев А. И., Петров Н. Ю., Петров Ю. Н., Беляев И. В., Щепотько Н. А.

Основы получения высоких урожаев озимой пшеницы на юге России

Belyaev A. I., Petrov N. Yu., Petrov Yu. N., Belyaev I. V., Shchepotko N. A.

The basics of winter wheat high yields obtaining in the south of Russia..... 35

Воронина В. П., Киселева А. В.Анализ роста живого листа *Tilia platyphyllos* неинвазивным методом в ранневесенний период**Voronina V. P., Kiseleva A. V.**The analysis of the live leaf growth of the *Tilia platyphyllos* by the non-invasive method in the early spring period..... 41**Лаптина Ю. А., Гиченкова О. Г., Савинова К. А., Вольпе А. А.**Оценка адаптивного потенциала сортов гороха посевного (*Pisum sativum* L.) по параметрам стабильности и пластичности**Laptina Yu. A., Gichenkova O. G., Savinova K. A., Volpe A. A.**The adaptive potential assessment of the pea varieties (*Pisum sativum* L.) by stability and plasticity parameters..... 52**Петров Н. Ю., Ефремова Е. Н., Гаушкин Д. В., Чекрыгина Т. А., Салаев Б. К.**

Влияние агротехнических приемов на формирование урожайности вишни на юге России

Petrov N. Yu., Efremova E. N., Gaushkin D. V., Chekrygina T. A., Salaev B. K.

The influence of agricultural techniques on the cherry yield formation in the south of Russia..... 63

Ткаченко О. Б., Тазина С. В., Демчук Н. Н., Демидова А. П., Буроличев И. В., Куратова И. О.
Применение отечественного биоагента *Macrotyphula phacorrhiza* против основных возбудителей снежной плесени**Tkachenko O. B., Tazina S. V., Demchuk N. N., Demidova A. P., Burolichev I. V., Kuratova B. O.**The application of the domestic bioagent *Macrotyphula phacorrhiza* against the main pathogens of the snow mold..... 67**Хамитов Р. С., Хамитова С. М., Пузанков А. А.**Сравнительный анализ хода роста робинии лжеакация (*Robinia pseudoacacia*) в лесных полосах Доно-Донецкого лесомелиоративного района Ростовской области**Khamitov R. S., Khamitova S. M., Puzankov A. A.**The comparative analysis of the growth of *Robinia pseudoacacia* (*Robinia pseudoacacia*) in the forest belts of the Don-Donetsk forest reclamation district of the Rostov region..... 75**Ходяков Е. А., Чамурлиев О. Г., Милованов С. Г., Бондаренко К. В.**

Режим орошения сои при разных способах полива в почвенно-климатических условиях Волгоградской области

Khodyakov E. A., Chamurliiev O. G., Milovanov S. G., Bondarenko K. V.

The soybean irrigation regime with the different irrigation methods in the soil and climatic conditions of the Volgograd region..... 85

Власов В. Г. Формирование урожайности голозерного овса Азиль в зависимости от удобрения и нормы высева Vlasov V. G. The formation of the bare-grain Azil oats yield depending on the fertilizer and seeding rate.....	94
Глазунова И. В., Яшин В. М. Анализ современных образовательных технологий, направленных на борьбу с загрязнением водных ресурсов, и обзор рынка спроса с применением экспертных оценок и глубинного интервью Glazunova I. V., Yashin V. M. The analysis of the modern educational technologies aimed at the combating water pollution and market overview of demand using expert assessments and in-depth interviews.....	103
Дубровский М. Л., Папихин Р. В., Кружков А. В., Чурикова Н. Л. Хозяйственно-биологическая оценка подвойных форм яблони селекции Мичуринского государственного аграрного университета в маточнике в условиях Тамбовской области Dubrovsky M. L., Papikhin R. V., Kruzhkov A. V., Churikova N. L. The economic and biological assessment of the apple trees rootstock forms bred in the nursery by Michurinsk state agrarian university in the conditions of the Tambov region.....	113
Емельяненко А. А., Басько Ю. В. Гидробиологическое исследование обрастания гидротехнических сооружений Волго-Донского судоходного канала Emelyanenko A. A., Basko Yu. V. The hydrobiological study of the hydraulic structures fouling of the Volga-Don shipping channel...	125
Ефремова Е. Н., Петров Н. Ю., Гаушкин Д. В., Щепотко Н. А., Чекрыгина Т. А. Продукционный процесс в посадках вишни в Волгоградской области Efremova E. N., Petrov N. Yu., Gaushkin D. V., Shchepotko N. A., Chekrygina T. A. The production process in the cherry planting in the Volgograd region.....	140
Королёв К. П., Матвиенко Е. В. Характеристика генотипов льна-долгунца (<i>Linum usitatissimum</i> L.) по ответным реакциям на действие септориоза в условиях Тюменской области Korolev K. P., Matvienko E. V. The flax (<i>Linum usitatissimum</i> L.) genotypes characteristics by their responses to the action of septoriososis in the conditions of the Tyumen region.....	145
Кулик А. К., Свинцов И. П., Власенко М. В., Балкушкин Р. Н. Водный режим и формирование грунтовых вод песчаных массивов юго-востока европейской территории России Kulik A. K., Svintsov I. P., Vlasenko M. V., Balkushkin R. N. The water regime and the formation of groundwater in the sand massifs of the south-east of the European territory of Russia.....	155
Лихолетов Е. А., Бочарников В. С., Бочарникова О. В., Репенко Т. В. Продуктивность озимой пшеницы в зависимости от доз внесения удобрений и стимуляторов роста Likholetov E. A., Bocharnikov V. S., Bocharnikova O. V., Repenko T. V. The winter wheat productivity depending on the fertilizers and growth stimulants application doses.....	167
Лущенко Г. В., Гасиев В. И. Оценка интенсивности использования разных видов клевера Lushchenko G. V., Gasiev V. I. The assessment of the intensity of using the different types of clover.....	174
Мамбетназаров А. Б., Мамбетназаров А. Б., Айбергенов Б. А., Кууанышбаева Ш. Д., Мамбетназаров Б. Б., Шамсиев А. С., Бекбанов Б. А. К изучению почвозащитной ресурсосберегающей технологии для посевов кунжута в северных районах Республики Каракалпакстан Mambetnazarov A. B., Mambetnazarov A. B., Aybergenov B. A., Quwanishbaeva Sh. D., Mambetnazarov B. B., Shamsiyev A. S., Bekbanov B. A. To the study the soil protection resource-saving technology for sesame crops in the northern regions of the Republic of Karakalpakstan	180

- Папихин Р. В., Дубровский М. Л., Муратова С. А., Кружков А. В., Чурикова Н. Л.**
Особенности роста микрорастений ежевики на этапе адаптации при светодиодном досвечивании
Papikhin R. V., Dubrovsky M. L., Muratova S. A., Kruzhkov A. V., Churikova N. L.
The features of the blackberry micro plants growth at the adaptation stage under led supplementary lighting..... 187
- Старикова Т. С., Белая М. М.**
Исследование взаимодействия *Serratia ficaria* TP3 с растениями (фитотоксичность, фитостимуляция, колонизирующая способность) и фитопатогенными организмами
Starikova T. S., Belaya M. M.
The study of the interaction of *Serratia ficaria* TP3 with plants (phytotoxicity, phytostimulation and colonizing ability) and phytopathogenic organisms..... 197
- Хамитова С. М., Хамитов Р. С., Федченко Е. И.**
Концепция создания экологического сада на территории усадьбы для сохранения биоразнообразия и устойчивости экосистемы
Khamitova S. M., Khamitov R. S., Fedchenko E. I.
The ecological garden creating concept on the estate territory to preserve biodiversity and ecosystem sustainability..... 203
- Третьякова А. В., Зыбинская П. А., Крылов П. А.**
Динамика спектральных вегетационных индексов *Robinia pseudoacacia* L. на разных фенологических фазах в засушливых условиях
Tretyakova A. V., Zybinskaya P. A., Krylov P. A.
The dynamics of the spectral vegetation indices of *Robinia pseudoacacia* L. at the different phenological stages under the arid conditions..... 225
- Тютин А. В., Ивченко О. А., Козаченко М. А., Панкин К. Е.**
Анализ причин пожаров в лесах Саратовской области
Tyutin A. V., Ivchenko O. A., Kozachenko M. A., Pankin K. E.
The analysis of the forests fires causes in the Saratov region..... 233
- Устинова В. В.**
Темрюкская оросительная система: оценка эколого-мелиоративного состояния и пути его оптимизации
Ustinova V. V.
The Temryuk irrigation system: the assessment of the ecological and reclamation status and ways of its optimization..... 247
- Шаламов Д. И., Джанчаров Т. М., Лагутина Н. В., Евграфов А. В., Кутенкова М. В.**
Агроэкологическая оценка эффективности производства яровой пшеницы на переувлажненных территориях
Shalamov D. I., Dzhancharov T. M., Lagutina N. V., Evgrafov A. V., Kutenkova M. V.
The influence of the tillage methods, water and food regimes on the coefficient of water consumption of white cabbage in the Lower Volga region..... 257
- Щепотько Н. А., Бочарникова О. В., Овчинников А. С.**
Влияние способов обработки почвы, водного и пищевого режимов на коэффициент водопотребления белокочанной капусты в Нижнем Поволжье
Shchepotko N. A., Bocharnikova O. V., Ovchinnikov A. S.
The influence of the tillage methods, water and food regimes on the coefficient of water consumption of white cabbage in the Lower Volga region..... 269

ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ / ANIMAL SCIENCE AND VETERINARY MEDICINE

- Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Антипова Т. А., Мосолов А. А., Кудряшова О. В., Воронцова Е. С., Мосолова Е. А.**
Продуктивность и качество молока коров разных пород в условиях Южного Федерального округа
Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Antipova T. A., Mosolov A. A., Kudryashova O. V., Vorontsova E. S., Mosolova E. A.
The productivity and milk quality of cows of different breeds in the conditions of the Southern Federal district..... 280

Кощаев А. Г., Козубов А. С., Уманский М. И. Оценка синергетического эффекта компонентов синбиотической добавки для молоди осетровых рыб Koshchaev A. G., Kozubov A. S., Umansky M. I. The evaluation of the synergistic effect of synbiotic supplement components for the juvenile sturgeon fish.....	287
Сложенкина М. И., Горлов И. Ф., Хорошевская Л. В., Мосолова Н. И., Сова И. А., Шмалюк А. П. Эффективность использования новой кормовой добавки в свиноводстве Slozhenkina M. I., Gorlov I. F., Khoroshevskaya L. V., Mosolova N. I., Sova I. A., Shmalyuk A. P. The effectiveness of using a new feed additive in the pig farming.....	294
Колосов Ю. А., Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Абонеев В. В., Куликова А. Я., Кудинов А. А. Трансформация российского овцеводства: на примере Ростовской области Kolosov Yu. A., Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Aboneev V. V., Kulikova A. Ya., Kudinov A. A. The transformation of the Russian sheep breeding: on the example of the Rostov region.....	301
Николаев Д. В., Горлов И. Ф., Мерзлякова А. В., Сложенкина М. И. Рост и развитие баранчиков в зависимости от происхождения Nikolaev D. V., Gorlov I. F., Merzlyakova A. V., Slozhenkina M. I. The growth and the development of the young rams depending on their origin.....	309
Харламов А. В., Панин В. А. Сезонные изменения показателей морфологического состава крови коз разной продуктивности Kharlamov A. V., Panin V. A. The seasonal changes in the morphological composition of the goat blood of different productivity.....	316
Агапова В. Н., Ранделин Д. А., Агапов С. Ю., Воронцова Е. С. Оценка влияния микробного белка на переваримость питательных веществ и микрофлору кишечника тилапии Agapova V. N., Randelin D. A., Agapov S. Yu., Vorontsova E. S. The assessment of the microbial protein effect on the nutrients digestibility and the tilapia intestinal microflora.....	329
Агапова В. Н., Ранделин Д. А., Агапов С. Ю., Воронцова Е. С. Оценка влияния микробного белка на переваримость питательных веществ и микрофлору кишечника тилапии Agapova V. N., Randelin D. A., Agapov S. Yu., Vorontsova E. S. The assessment of the microbial protein effect on the nutrients digestibility and the tilapia intestinal microflora.....	329
Жандалгарова А. Д., Сергеева Ю. В., Грозеску Ю. Н., Грозеску Л. Ю. Эффективность применения сорбированного пробиотического препарата при выращивании гибридных форм осетровых рыб Zhandalgarova A. D., Sergeeva Yu. V., Grozesku Yu. N., Grozesku L. Yu. The effectiveness of the sorbed probiotic preparation in the cultivation of the sturgeon fish hybrid forms.....	337
Костенко С. В., Кощаев А. Г. Интеграция поросят-сосунов из многоплодных гнезд без их расформирования как фактор повышения продуктивности молодняка свиней Kostenko S. V., Koshchaev A. G. The integration of the suckling piglets from the multiple nests without their disbandment as a factor of the young pig's productivity increasing.....	344
Липова Е. А., Николаев С. И., Рябова М. А., Брюхно О. Ю., Агапов С. Ю., Агапова В. Н., Воронцова Е. С., Водяникова В. В. Результаты применения белковой добавки совместно с минеральным комплексом в кормлении цыплят-бройлеров Lipova E. A., Nikolaev S. I., Ryabova M. A., Brykhno O. Yu., Agapov S. Yu., Agapova V. N., Vorontsova E. S., Vodyannikova V. V. The results of the protein additive and the mineral complex mixed application in the broiler chickens feeding.....	351

Сермягин А. А., Контэ А. Ф., Недашковский И. С., Боголюбова Н. В. Лактационные и сезонные изменения гематологических показателей коров Sermyagin A. A., Conte A. F., Nedashkovsky I. S., Bogolyubova N. V. The lactational and seasonal changes in the cows' hematological parameters.....	359
Убушиева А. В., Чимидова Н. В., Убушиева В. С., Дорджиев Д. А. Генетическое разнообразие и структура популяций овец разных генотипов на основе микросателлитных локусов Ubushieva A. V., Chimidova N. V., Ubushieva V. S., Dordzhiev D. A. The genetic diversity and the structure of the sheep different genotypes populations based on microsatellite loci.....	374
Фирсов Г. М., Будтуев О. В., Ряднов А. А., Ряднова Т. А., Будтуева О. Д. Метод комплексной терапии инфекционного метрита у коров Firsov G. M., Budtuev O. V., Ryadnov A. A., Ryadnova T. A., Budtueva O. D. The cows' infectious metritis complex therapy method.....	385
Чимидова Н. В., Убушиева А. В., Хахлинов А. И., Убушиева В. С. Оценка генетического потенциала бычков калмыцкой породы разных породных линий Chimidova N. V., Ubushieva A. V., Khakhlinov A. I., Ubushieva V. S. The assessment of the Kalmyk bull calves genetic potential with different breed lines.....	392
Квашнина М. А., Мерзлякова А. В., Пономарев В. В., Горлов И. Ф. Оценка состояния племенных ресурсов волгоградской и эдильбаевской пород овец на территории Южного федерального округа Kvashnina M. A., Merzlyakova A. V., Ponomarev V. V., Gorlov I. F. The assessment of the Volgogradskaya and Edilbaevskaya sheep breeds breeding resources state on the Southern Federal district territory.....	401
Горбачева Ю. А., Кузьминова Е. В., Копылов Д. В. Эффективность применения препарата «Оксипротект» в схеме суперовуляции у коров-доноров Gorbacheva Y. A., Kuzminova E. V., Kopylov D. V. The effectiveness of the "Oxyprotect" drug in the superovulation scheme of donor cows.....	411
Варакин Н. А., Злепкин В. А., Степурина М. А., Ряднов А. А., Варакин А. Т., Саломатин В. В., Воронцова Е. С. Использование рапсового жмыха и бишофита при выращивании ремонтных тёлочек Varakin N. A., Zlepkin V. A., Stepurina M. A., Ryadnov A. A., Varakin A. T., Salomatin V. V., Vorontsova E. S. The use of rapeseed cake and bischofite in the heifers cultivation.....	418
Кочарян А. К., Шевцова А. И., Кочарян В. Д., Баканова К. А. Оценка влияния температурных колебаний на фертильность и воспроизводство лактирующих коров Kocharyan A. K., Shevtsova A. I., Kocharyan V. D., Bakanova K. A. The assessment of the effect of temperature fluctuations on the lactating cows' fertility and reproduction.....	428
Тлеуленов Ж. М. Оценка экономической эффективности выращивания племенных бычков казахской белоголовой породы различных генетических групп Tleulenov Zh. M. The economic efficiency assessment of breeding the Kazakhskaya white-headed bulls of the different genetic groups.....	435
АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ / AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES	
Дорохов А. С., Сибирев А. В., Мосяков М. А. Разработка цифровой системы автоматизированного движения роботизированного комплекса машин для закладки на хранение картофеля и овощных культур Dorokhov A. S., Sibiroyv A. V., Mosyakov M. A. The development of the digital automated motion system for the robotic complex of machines for storing potatoes and vegetable crops.....	441

- Васильев С. А., Тарасов В. С., Максимов Е. А., Алексеев В. В., Филиппов В. П., Павлов В. В.**
Анализ конструктивной устойчивости агровольтаической системы в условиях промышленного хмелеводства
Vasiliev S. A., Tarasov V. S., Maksimov E. A., Alekseev V. V., Filippov V. P., Pavlov V. V.
The analysis of the agro-voltaic system structural stability in the conditions of the industrial hop growing..... 449
- Гапич Д. С., Борисенко И. Б., Галанский К. В., Субботин С. И., Бышов Д. Н.**
Тяговые полевые испытания чизельного рабочего органа со стандартными долотами и долотами с боковым сегментированием
Gapich D. S., Borisenko I. B., Galansky K. V., Subbotin S. I., Byshov D. N.
The traction field tests of the working body with standard chisels and chisels with lateral segmentation..... 457
- Гриценко А. В., Лукин А. А., Бурцев А. Ю., Фомин С. Д., Патов А. Г.**
Эксплуатационный контроль наработки на отказ турбокомпрессоров К 27-145 двигателей автомобилей КамАЗ, модернизированных автономной системой смазки Gritsenko A. V.,
Lukin A. A., Burtsev A. Yu., Fomin S. D., Patov A. G.
The operational monitoring of the failure time of K 27-145 turbochargers engines of the KAMAZ vehicles upgraded with an autonomous lubrication system..... 471
- Лебедь Н. И., Цепляев В. А., Цепляев А. Н., Фомин С. Д., Мулинцев А. И.**
Исследование процесса комбинированного резания клубнеплодов картофеля
Lebed N. I., Tseplyaev V. A., Tseplyaev A. N., Fomin S. D., Mulintsev A. I.
The study of the potato tubers combined cutting process..... 484
- Лимаренко Н. В., Давыдова С. А., Алмазов И. В.**
Анализ использования грузоподъемности транспортных средств на перевозке рулонов сена
Limarenko N. V., Davydova S. A., Almazov I. V.
The analysis of the vehicles load capacity using on hauling hay rolls..... 495
- Мещеряков М. П., Фомин С. Д., Мещерякова Е. Г., Досова А. Г.**
Экспериментальное обоснование применения комплексного мелиоранта в технологиях замкнутого производственного цикла при восстановлении и орошении земель
Mescheryakov M. P., Fomin S. D., Mescheryakova E. G., Dosova A. G.
The experimental substantiation of the complex meliorant using in the closed-loop production cycle technologies for the land restoration and irrigation..... 503
- Оконов М. М., Плескачев Ю. Н., Эвиев В. А., Джабборов Н. И., Курепина Н. Л., Фомин С. Д.**
Оценка влияния способов обработки почвы на урожайность подсолнечника на южно-черноземных почвах западной зоны Республики Калмыкия
Okonov M. M., Pleskachev Yu. N., Eviev V. A., Dzhabborov N. I., Kurepina N. L., Fomin S. D.
The assessment of the tillage methods impact on the sunflower yields in the southern chernozem soils of the western zone of the Kalmykia Republic..... 513
- Ряднов А. И., Федоров А. В., Бышов Д. Н.**
Оценка расхода топлива тракторными транспортными агрегатами на перевозке рулонов сена
Ryadnov A. I., Fedorov A. V. Byshov D. N.
The estimation of fuel consumption by the tractor transport units hauling the rolls of hay..... 523
- Фадеев И. В., Успенский И. А., Фомин С. Д., Юхин И. А., Бышов Д. Н., Егоров В. П., Казарин А. С., Петров С. Р.**
Повышение коррозионной стойкости сельскохозяйственной техники
Fadeev I. V., Uspensky I. A., Fomin S. D., Yukhin I. A., Byshov D. N., Egorov V. P., Kazarin A. S., Petrov S. R.
The improving of the agricultural machinery corrosion resistance..... 532
- Хецуриани Е. Д., Бекбергенова С. З., Хохрин М. С., Хецуриани Т. Е.**
Разработка и исследование технологии и технических средств водоподготовки для рыборазведения и капельного полива в условиях дефицита водных ресурсов юга России
Khetsuriani E. D., Bekbergenova S. Z., Khohrin M. S., Khetsuriani T. E.
The development and research of the water treatment technology and technical means for fish farming and drip irrigation in conditions of the water resources shortage in the south of Russia.... 540

Юдаев И. В., Даус Ю. В., Арылов Ю. Н., Фомин С. Д., Болаев Б. К., Курепина Н. Л., Оконов М. М., Бышов Д. Н. Предпосевная подготовка семян – обработка в магнитном поле Yudaev I. V., Daus Yu. V., Arylov Yu. N., Fomin S. D., Bolaev B. K., Kurepina N. L., Okonov M. M., Byshov D. N. The pre-sowing seed preparation – the magnetic field treatment.....	549
Аникин Н. В., Успенский И. А., Юхин И. А., Белю Л. П., Бышов Д. Н., Лимаренко Н. В. Транспортировка и показатели повреждений сельскохозяйственных грузов Anikin N. V., Uspensky I. A., Yukhin I. A., Belyu L. P., Byshov D. N., Limarenko N. V. The transportation and the damage indicators of the agricultural goods.....	566
Барабанов В. В., Соловьев А. В., Геращенко А. А. Создание российского привода барабанных дождевальных машин путем реинжиниринга Barabanov V. V., Soloviev A. V., Gerashchenko A. A. The creation of the Russian drive for the hose-reel irrigation machines through the reengineering.....	581
Бугаев А. В., Дидманидзе О. Н., Абдулмажидов Х. А., Парлюк Е. П., Бышов Д. Н. Разработка конструкции культиватора и анализ его напряженного состояния в системе Inventor Pro Bugaev A. V., Didmanidze O. N., Abdulmajidov H. A., Parlyuk E. P., Byshov D. N. The cultivator design development and its stress state analysis in the Inventor Pro system.....	588
Букреев А. В., Соловьев Р. Ю., Соловьев Р. Р., Даненков И. Д. Разработка адаптивных режимов работы последовательного гибридного трактора с мотор-колесами Bukreev A. V., Solovyov R. Yu., Solovyov R. R., Danenkov I. D. The development of the adaptive operating modes for the sequential hybrid tractor with the motor-wheels.....	596
Горяев В. М., Эвиев В. А., Лебедев А. Т., Маштыков С. С., Бадрудинова А. Н., Фомин С. Д. Гибридный подход к оценке устойчивости агроэкосистем к засухам с применением рекуррентных моделей глубокого обучения к временным рядам Sentinel-2 Goryaev V. M., Eviev V. A., Lebedev A. T., Mashtykov S. S., Badrudinova A. N., Fomin S. D. The hybrid approach to assessing the resilience of agricultural ecosystems to droughts by applying recurrent deep learning models to Sentinel-2 time series.....	606
Карташов А. А., Успенский И. А., Юхин И. А., Бышов Д. Н., Аникин Н. В., Астахов П. А. Анализ факторов влияния на расход запасных частей Kartashov A. A., Uspensky I. A., Yukhin I. A., Byshov D. N., Anikin N. V., Astakhov P. A. The analysis of the factors influencing the spare parts consumption.....	618
Кириллов С. В., Виноградов А. В. Способы обеспечения надежности электроснабжения сельских потребителей от электрических сетей железных дорог Kirillov S. V., Vinogradov A. V. The ways to ensure the electricity supply reliability to the rural consumers from the electric railway networks.....	625
Мартынов И. С., Шапоров М. Н., Бородин В. И., Тронеv С. В. Оптимизация параметров полольной лапы пропашного культиватора Martynov I. S., Shaprov M. N., Borodin V. I. Tronev S. V. The optimization of the weeding shaft parameters of the row crow cultivator.....	636
Мильченкова Д. В., Дрововозова Т. И. Исследования фитотоксического эффекта грунтов, содержащих донные отложения из коллектора рисовой оросительной системы Milchenkova D. V., Drovovozova T. I. The phytotoxic effect studies of the soils containing bottom sediments from the rice irrigation system collector.....	645
Русанов А. С., Овчинников А. С. Исследование эффективности ультрамембран в процессе обратного осмоса при очистке воды пищевых производств Rusanov A. S., Ovchinnikov A. S. The investigation of the ultra-membranes' effectiveness in the reverse osmosis process of the food production water purification.....	659

Субботин С. И., Гапич Д. С., Фомин С. Д., Галанский К. В. Повышение долговечности рабочих органов чизельных орудий за счет упрочнения продольными армировочными валиками долота Subbotin S. I., Gapich D. S., Fomin S. D., Galansky K. V. Increasing the durability of the working bodies of chisel tools by strengthening the chisel with longitudinal reinforcement rollers.....	665
Сложенкина М. И., Горлов И. Ф., Мосолова Н. И., Антипова Т. А., Кудряшова О.В., Мосолова Е. А. Применение семян пажитника для производства мягких сыров функциональной направленности Slozhenkina M. I., Gorlov I. F., Mosolova N. I., Antipova T. A., Kudryashova O. V., Mosolova E. A. The fenugreek seeds application for the functional soft cheeses production.....	678
СОДЕРЖАНИЕ / ABSTRACTS.....	689

ПРАВИЛА НАПРАВЛЕНИЯ, РЕЦЕНЗИРОВАНИЯ И ОПУБЛИКОВАНИЯ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ 2026

Редакция журнала в своей деятельности руководствуется принципами научности, объективности и беспристрастности

1. Содержание статьи должно соответствовать специальностям:
 - 4.1.1 Общее земледелие и растениеводство.
 - 4.1.2 Селекция, семеноводство биотехнология растений.
 - 4.1.3 Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений.
 - 4.1.4 Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры.
 - 4.1.5 Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика.
 - 4.1.6 Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация.
 - 4.2.1 Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология.
 - 4.2.2 Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность.
 - 4.2.3 Инфекционные болезни и иммунология животных.
 - 4.2.4 Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства.
 - 4.2.5 Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных.
 - 4.2.6 Рыбное хозяйство, аквакультура и промышленное рыболовство.
 - 4.3.1 Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.
 - 4.3.2 Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса.
 - 4.3.3 Пищевые системы.
2. Технический анализ рукописи осуществляется ответственным секретарем журнала, согласно требованиям для авторов, в трехдневный срок после представления рукописи в электронной форме (izvestiya-volgau@mail.ru) и передается на проверку отсутствия неправомерных и некорректных заимствований, определения объема оригинальности авторского текста в Центр наукометрического анализа международных систем индексирования (НАМСИ).
3. Проверка цитирований и ссылок на использованные источники, определение степени заимствования, обусловленного целями цитирования, объема **оригинальности** авторского текста осуществляется в трехдневный срок **по всем коллекциям** в системе Antiplagiat.ru. Допустимый объем цитирований (корректного правомерного заимствования) – не более 30 % от общего объема статьи (неправомерные заимствования не допускаются!) в соответствии с COPE.
4. Передача на рецензирование осуществляется зам. главного редактора после технического анализа и проверки оригинальности авторского текста, в течение трех дней. Издание осуществляет рецензирование всех поступающих в редакцию материалов, соответствующих ее тематике, с целью их экспертной оценки. Рецензирование статьи производится **независимыми экспертами** журнала (не менее 2) в течение не более 30 дней с момента получения рукописи. Все рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов и имеют в течение последних 3 лет публикации по тематике рецензируемой статьи. Рецензии хранятся в издательстве и в редакции издания в течение 5 лет. При наличии существенных замечаний рукопись возвращается авторам с письменным перечислением замечаний, требующих устранения. В журнале используется двустороннее слепое рецензирование (double-blind reviewing): рецензент и автор не знают имён друг друга.
5. Повторное рецензирование осуществляется после представления варианта статьи, с устраненными замечаниями, в течение не более 30 дней. При трехкратном повторном возврате рукописи с замечаниями рецензента вопрос о ее принятии или отклонении решается на заседании редакционной коллегии.
6. Решение о публикации принимается в соответствии с Уставом редакции главным редактором на основе научных рецензий и мнения членов редколлегии. При принятии решения о публикации главный редактор руководствуется достоверностью представления данных и научной значимостью рассматриваемой работы.

7. В случае принятия решения о публикации в течение трех дней рукопись статьи передается в РИО и НТБ для корректуры и редактирования материала статьи, в том числе англоязычной части.

8. Рецензии предоставляются авторам рукописей и по запросам экспертных советов в ВАК. В случае отказа в публикации статьи редакция направляет автору мотивированный отказ. Рукописи возврату не подлежат.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Оформление статьи должно соответствовать Межгосударственным и национальным стандартам Российской Федерации по издательскому делу.

Статья представляется в редакцию в электронной версии (в формате Word Windows), Статья должна иметь УДК (можно определить на сайте <http://teacode.com/online/udc/>). Количество авторов – не более четырех.

Статья набирается в текстовом процессоре Microsoft Word со следующими установками: поля страницы сверху, снизу – 2,4 см; слева, справа – 2,8 см. Стилль обычный. Шрифт – Arial, размер шрифта 10,5. Межстрочный интервал для текста – одинарный, для таблиц – одинарный, режим выравнивания – по ширине, расстановка переносов – автоматическая. Абзацный отступ должен быть одинаковым по тексту – 1,27 см.

Рисунки, схемы, фотографии представляются в формате PDF, JPEG, TIFF с разрешением не ниже 300 dpi (сканировать таблицы, схемы, рисунки не допускается). Все рисунки должны быть четкими, надписи хорошо видны.

В статье помещаются: УДК, название статьи, инициалы и фамилия автора (авторов), ученая степень, звание автора (ов), аннотация, ключевые слова. Образец форматирования – на сайте журнала.

В статье следует четко выделять следующие составные части: **1 Введение (Introduction), 2 Материалы и методы (Materials and methods), 3 Результаты (Results), 4 Обсуждение (Discussion), 5 Заключение (Conclusions), 6 Библиографический список (References).**

Особое внимание следует уделить *полноте пристатейного библиографического списка* (не менее **12-15** источников, в том числе отражающих зарубежные исследования). При этом необходимо избегать **недобросовестного цитирования** (необоснованного «накручивания» цитат, а также самоцитирования), **некорректного цитирования** (неоправданного содержанием цитируемых статей). *Цитирование должно быть максимальным, но обоснованным. Недостаточное или избыточное цитирование снижает рейтинг журнала.*

В конце работы ставятся дата и подпись автора (авторов), приводятся сведения об авторе (авторах): место работы, факультет, кафедра, (отдел, научное подразделение), ученое звание, ORCID, контактный телефоны, почтовый и электронный адрес.

Авторы должны раскрывать в своей рукописи любой финансовый или какой-либо другой существенный конфликт интересов, который мог бы быть истолкованным как влияющий на результаты оценки их рукописи. Все источники финансовой поддержки должны быть раскрыты.

Рекомендуемый объем статьи: **основной текст** (без названия, авторов, аннотации, ключевых слов и библиографического списка) – от **15 тыс.** знаков с пробелами (от 2000 слов), полный текст – от 30 тыс. знаков с пробелами (от 4000 слов) (**10-12** стр.).

ОФОРМЛЕНИЕ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ССЫЛОК

Библиографические ссылки на список литературы должны быть оформлены с указанием в строке текста в квадратных скобках цифрового порядкового номера. В случае ссылки на точную цитату – необходимо дополнительно указать через запятую номера соответствующих страниц, например, [7, с. 36].

Список литературы нумеруется в порядке упоминания в тексте, он должен быть оформлен в соответствии с рекомендованным АНРИ (Ассоциацией научных редакторов и издателей) международным стандартом Vancouver Style (образец – на сайте).

**RULES OF DIRECTION, REVIEW AND PUBLICATION
OF SCIENTIFIC ARTICLES 2026**

1. The content of the article should correspond to the specialties:
 - 4.1.1 General agriculture and crop production
 - 4.1.2 Breeding, seed production, plant biotechnology
 - 4.1.3 Agrochemistry, agro-soil science, plant protection and quarantine
 - 4.1.4 Horticulture, vegetable growing, viticulture and medicinal crops
 - 4.1.5 Land reclamation, water management and agrophysics
 - 4.1.6 Forestry, forestry, forest crops, agroforestry, landscaping, forest ecology and taxation
 - 4.2.1 Animal pathology, morphology, physiology, pharmacology and toxicology
 - 4.2.2 Sanitation, hygiene, ecology, veterinary and sanitary expertise and biosafety
 - 4.2.3 Infectious diseases and animal immunology
 - 4.2.4 Private animal husbandry, feeding, technologies of feed preparation and production of livestock products
 - 4.2.5 Breeding, breeding, genetics and biotechnology of animals
 - 4.2.6 Fisheries, aquaculture and industrial fisheries
 - 4.3.1 Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex
 - 4.3.2 Electrical technologies, electrical equipment and power supply of agro-industrial complex
 - 4.3.3 Food systems
2. Technical analysis of the manuscript is carried out by the executive secretary of the journal, according to the requirements for the authors, within three days after the submission of the manuscript in electronic form (izvestiya-volgau@mail.ru) and is sent for verification of the absence of illegal borrowing, to determine the originality of the author's text to the Center for Scientometric Analysis International Indexing Systems (NAMS) (izvestplag@mail.ru).
3. Checking links to sources used, determining the degree of borrowing, the volume of originality of the author's text is carried out within three days for all collections in the Antiplagiat.ru system. The permissible volume of citations (correct legitimate borrowing) is no more than 30 % of the total volume of the article (illegal borrowing is not allowed!) In accordance with COPE.
4. Submission for review is carried out by the deputy after three days of technical analysis and verification of the originality of the author's text. The publication reviews all incoming materials that correspond to its subject with the purpose of their expert evaluation. Reviewing the article is carried out by independent experts of the journal (at least 2) within no more than 30 days from the date of receipt of the manuscript. All reviewers are recognized experts on the subject of peer-reviewed materials and have published over the past 3 years on the subject of a peer-reviewed article. Reviews are kept in the publishing house and in the editorial office of the publication for 5 years. If there are significant comments, the manuscript is returned to the authors with a written list of comments requiring elimination. The journal uses double-blind reviewing: the reviewer and the author do not know each other's names.
5. Repeated reviewing is carried out after the submission of a variant of the article, with the comments removed, for no more than 30 days. If the manuscript is returned three times with the comments of the reviewer, the question of its acceptance or rejection is decided at a meeting of the editorial board.
6. The decision to publish is made in accordance with the Editorial Charter by the editor-in-chief on the basis of scientific reviews and opinions of members of the editorial board. When deciding on publication, the editor-in-chief is guided by the reliability of the data presentation and the scientific significance of the work under consideration.
7. If a decision is made on publication within three days, the manuscript of the article is sent to RIO and NTB for proofreading and editing of the article's material, including the English-language part.
8. Reviews are provided to the authors of manuscripts and at the request of expert advice at the Higher Attestation Commission. In the event of a refusal to publish an article, the editorial office sends a motivated refusal to the author. Manuscripts are non-refundable.

ARTICLE REQUIREMENTS

The paper should comply with the Interstate and National Publishing Standards of the Russian Federation.

The article is submitted to the publishing and publishing center in printed form (on A4 sheets) in 2 copies with an electronic version attached (in Word Windows format) that completely matches the paper version. The article should have UDC (can be determined on the website <http://teacode.com/online/udc/>). The number of authors is not more than four.

The article is typed in a Microsoft Word word processor with the following settings: page margins above, below – 2.4 cm; left, right – 2.8 cm. The style is normal. Font – Arial, font size 10,5. Line spacing for text – single, for tables – single, alignment mode – width, hyphenation – automatic. The indent should be the same in the text – 1.27 cm.

Drawings, diagrams, photographs are presented in PDF, JPEG, TIFF format with a resolution of at least 300 dpi (scanning tables, diagrams, drawings is not allowed).

The article contains UDC, title of the article, initials and surname of the author (s), academic degree, and title of the author (s), abstract, keywords.

The following components should be clearly distinguished in the article: 1. Introduction, 2. Materials and methods, 3. Results, 4. Discussion, 5. Conclusions, 6. References.

Particular attention should be paid to the completeness of the bibliographic list (at least 12-15 sources, including those reflecting foreign studies). At the same time, it is necessary to avoid unscrupulous quoting (unreasonable "winding up" of quotes, as well as self-quoting), incorrect quoting (unjustified by the content of cited articles).

Quoting should be maximum, but reasonable. Inadequate or excessive citation reduces the rating of the journal.

At the end of the work, the date and signature of the author (s) are put; information about the author (s) is given: place of work, faculty, department, (department, scientific unit), academic rank, ORCID, contact numbers, postal and electronic address.

Authors should disclose in their manuscript any financial or any other significant conflict of interest that could be construed as affecting the results of the evaluation of their manuscript. All sources of financial support should be disclosed.

Recommended length of the article: the main text (without title, authors, annotation, keywords and bibliographic list) – from 15 thousand characters with spaces (from 2000 words), the full text – from 30 thousand characters with spaces (from 4000 words) (10-12 pages).

REGISTRATION OF BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

Bibliographical references to the list of references must be formatted with the digital serial number indicated in the line of text in square brackets. In the case of a reference to an exact quote, you must additionally indicate the numbers of the corresponding pages, separated by commas, for example [7, p. 36].

The list of references is numbered in the order of mention in the text; it must be formatted in accordance with the international standard Vancouver Style recommended by ANRI.

Известия
Нижеволжского агроуниверситетского комплекса:
наука и высшее профессиональное образование № 1 (85), 2026

Ответственный редактор – *Д. А. Шишлянникова*
Технический редактор – *Т. А. Ситникова*
Компьютерная верстка – *Е. С. Дергачева*
Перевод – *Н. В. Тураева*

Реестровая запись: серия ПИ № ФС77-80865 выдано 23.04.2021
Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций
Издается с 1997 г. Выходит 6 раз в год.

Подписной индекс ПП573
Адрес издателя и редакции: 400002, Волгоград, Университетский пр-т, 26.
Электронная почта izvestiya-volgau@mail.ru
Дата выхода 27.02.2026.
Тираж 1000 (первый завод 100). Заказ 22.
Отпечатано в Издательско-полиграфическом комплексе Волгоградского ГАУ «Нива»
400002, Волгоград, Университетский пр-т, 26.

Цена свободная

* * *

Proceedings
of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex:
Science and higher vocational education № 1 (85), 2026

Executive editor – *D. A. Shishlyannikova*
Technical editor – *T. A. Sitnikova*
Desktop publishing – *E. S. Dergacheva*
Translation – *N. V. Turaeva*

Registry entry: PI series no. FS77-80865 issued on 23.04.2021
Federal Service for Supervision of Communications,
Information technology and mass communications
Published since 1997. Published 6 times a year.

Subscription Index ПП573
Address of publisher and editorial staff: 400002, Volgograd, University Avenue, 26
E-mail: izvestiya-volgau@mail.ru
Release Date 27.02.2026.
Edition 1000 (first factory 100). Order 22.
Printed at the Publishing and Printing Complex of the Volgograd State Agrarian University «Niva»
400002, Volgograd, University Avenue, 26.

Free price