

ИЗВЕСТИЯ

НИЖНЕВОЛЖСКОГО АГРОУНИВЕРСИТЕТСКОГО КОМПЛЕКСА:

НАУКА И ВЫСШЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

№ 2 (86), 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

№ 2 (86), 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-33**УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА
ФГБОУ ВО Волгоградский
государственный аграрный
университет**ISSN 2071-9485
DOI: 10.32786/2071-9485****№ 2 (86), 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-33**THE MAGAZINE FOUNDER
Volgograd State
Agrarian University**ISSN 2071-9485
DOI: 10.32786/2071-9485****№ 2 (86), 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**№ 2 (86), 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**№ 2 (86), 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 сельскохозяйственных наук, заместитель академика-секретаря 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, MBA 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, MBA 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

Koshchaev 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

Chamurliev 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Randelin D. A., Doctor of Biological Sciences, professor, 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

4.2.6. 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

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

THE MICROBIOLOGICAL ACTIVITY FEATURES OF THE SALINE SOILS IN THE WINTER
WHEAT CROPS IN THE SYSTEM OF THE FOREST RECLAMATION IMPACT

Belyakov A. M., Koshelev A. V., Nazarova M. V.

*Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: mn1967@list.ru

Received 24.02.2026

Submitted 26.03.2026

The research was carried out within the framework of the state task of research work of the FSC of Agroecology RAS 125021302094-5 "Formation and functioning of adaptive agroforestry reclamation complexes in the south of Russia under conditions of climate change using digital technologies".

Summary

The article presents the results of research on the effect of protective forest belts on the microbiological activity of light chestnut soils in winter wheat crops. A significant 2.1-fold increase in the biological activity of soils in arable and sub-arable horizons in the zone of reclamation influence of the forest strip in relation to the control and deposits, as well as minimal indicators of its biological toxicity, has been established.

Abstract

Introduction. The microbiological activity of the soil is an important component of soil ecology in maintaining a favorable plant nutrition regime, "soil health" and crop productivity. The zonal aspect and the reclamation effect of protective forest belts play an important role in studies of soil microbiological activity, which determines the relevance of this work. **Object.** Microbial community of light chestnut soils of winter wheat phytocenosis in agroforest landscape conditions. **Materials and methods.** The research was conducted in 2017-2024 in the farm Shtepo A. V., farm Oleinikova N. N., Kalachevsky district, LLC State Farm Karpovsky Gorodishchensky district of the Volgograd region in winter wheat crops under forest reclamation influence. The biological activity of the soil was determined by the application method according to the method of Mishustin E. N. and Petrova A. N. and was visually assessed by the degree of tissue decomposition in points using a photo electro-colorimeter. Soil toxicity was determined using phyto-tests according to the Krasilnikov N. A. method. There were 5 variants of the experiment: a forest strip, in the zone of its influence at a distance of 5, 15, 30 heights of the forest belt, and a deposit in the arable and sub-arable horizons. **Results and conclusions.** The best indicators of the biological activity of the soil in the arable and sub-arable horizons in the zone of forest reclamation influence were established – 5 points for the 5H variant, weak and very weak 2-3 points for the control (30H) and deposits. The minimum biological toxicity of the soil was 46 % in the under-arable soil horizon in the forest belt, 58 % in the under-arable horizon at the control, 64 % in the control and deposits in the arable horizon, which is consistent with the mass of spring durum wheat seed seedlings in these experimental variants. These studies can be used to implement the ideas of rational land use.

Keywords: soils biological activity, soil conditions for growing winter wheat, soil toxicity, forest reclamation.

Citation. Belyakov A. M., Koshelev A. V., Nazarova M. V. The microbiological activity features of the saline soils in the winter wheat crops in the system of the forest reclamation impact. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 16-21 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-01.

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 631.46:633.11"324":630*26

ОСОБЕННОСТИ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СВЕТЛО-КАШТАНОВОЙ
ПОЧВЫ В ПОСЕВАХ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В СИСТЕМЕ ЛЕСОМЕЛИОРАТИВНОГО
ВЛИЯНИЯ

Беляков А. М., главный научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Кошелев А. В., ведущий научный сотрудник, и.о. заведующего лабораторией,
кандидат сельскохозяйственных наук
Назарова М. В., младший научный сотрудник

ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук»
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках темы государственного задания научно-исследовательской работы ФНЦ агроэкологии РАН 125021302094-5 «Формирование и функционирование адаптивных агролесомелиоративных комплексов юга России в условиях климатических изменений с использованием цифровых технологий».

Актуальность. Микробиологическая деятельность почвы является важным компонентом почвенной экологии в поддержании благоприятного режима питания растений. «здоровья почвы» и продуктивности сельскохозяйственных культур. Большую роль в исследованиях микробиологической

активности почвы играет зональный аспект и мелиоративное влияние защитных лесных полос, что определяет актуальность данной работы. **Объект.** Микробное сообщество светло-каштановых почв фитocenоза озимой пшеницы в условиях агролесоландшафта. **Материалы и методы.** Исследования проводились в 2017-2024 годах в КФХ Штепо А. В., КФХ Олейникова Н. Н. Калачевского района. ООО «Совхоз «Карповский» Городищенского района Волгоградской области в посевах озимой пшеницы под лесомелиоративным влиянием. Биологическая активность почвы определялась аппликационным методом по методике Мишустина Е. Н. и Петровой А. Н. и оценивалась визуально по степени распада ткани в баллах с использованием фотоэлектроколориметра. Токсичность почвы определяли с применением фитотестов по методике Красильникова Н. А. Было заложено 5 вариантов опыта: лесная полоса, в зоне ее влияния на удалении 5, 15, 30 высот лесополосы и пашня вне посева в горизонтах 0,00-0,25 м и 0,25-0,50 м. **Результаты и выводы.** Установлен существенный в 2,1 раза рост биологической активности почв в пахотном и подпахотном горизонтах, а также минимальные показатели ее биологической токсичности в зоне мелиоративного влияния лесной полосы по отношению к контролю и залежи. Данные исследования могут быть использованы при реализации идей рационального землепользования.

Ключевые слова: биологическая активность почв, почвенные условия возделывания озимой пшеницы, токсичность почв, лесомелиорация.

Цитирование. Беляков А. М., Кошелев А. В., Назарова М. В. Особенности микробиологической деятельности светло-каштановой почвы в посевах озимой пшеницы в системе лесомелиоративного влияния. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 16-21. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-01.

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. Процессы, протекающие в почве, играют большую роль в формировании пищевого режима, обеспечении продуктивности культур и в сохранении экологического равновесия [1-3].

В почве, под воздействием бактерий, всегда протекают разные процессы минерализации органических продуктов, с одной стороны позитивные, которые определяют биологическую активность почвы и потенциал плодородия. С другой стороны процессы по наращиванию в почве микробов ингибиторов, которые вырабатывают токсины и негативно воздействуют на культурные посевы, снижают их продуктивность (Роде, 1984, Таргульян, 2005) [4].

Многочисленные исследования в области почвенной микробиологии (Дегтярева и др., 2010, Лицуков, 2013, Pershina and al., 2013, Теплова и Шилова, 2013) [5-11] и др. привели к углубленному пониманию процессов, происходящих в почве, и вывели значимость функционирования микробиологии почвы в сельском хозяйстве на новый уровень.

Однако еще мало изучена микробиологическая деятельности почв в зональном аспекте и с учетом лесомелиоративного влияния, что определяет актуальность данных исследований.

Материалы и методы. Исследования проводились в 2017-2024 годах на светло-каштановых почвах на территории землепользований КФХ Штепо А. В., КФХ Олейникова Н. Н. Калачевского района, ООО «Совхоза «Карповский» Городищенского района Волгоградской области.

Светло-каштановые почвы относятся к тяжелосуглинистым и по гранулометрическому составу неоднородны. Плотность твердой фазы почвы составляет 2,46-2,67 т/м³, а параметры общей скважности слоя почвы 0,0-0,3 м составляют 43,0-48,4 %. (Дегтярева и Жулидова, 1970) [12].

Почвы опытных участков пахотного слоя по содержанию гумуса характеризуются его низким содержанием в пределах 1,4-2,1 % и отличаются низкой структурностью верхнего 0,0-0,25 м и уплотненностью нижнего горизонтов почвы 0,25-0,50 м.

Биологическая активность светло-каштановой почвы изучалась аппликационным методом по методике Е. Н. Мишустина и А. Н. Петровой (Методы почвенной микробиологии, 1991).

Количественные и качественные показатели биологической активности почвы (БАП) по горизонтам определялась с помощью льняного полотна размером 10 x 50 см, закрепленного на каркасе из пластика, которое закладывалось на три недели вертикально в почву на 0,5 м.

По окончании срока экспозиции образцов льняного полотна на пластинах производилась их визуальная оценка степени разложения ткани в балльной системе, а также измерялась плотность спиртового экстракта полотна с применением фотоэлектроколориметра. Оценочная шкала включала следующие критерии: до 250 единиц – 1 балл и активность

сверх низкая, 251-280 – 2 балла и активность очень низкая, 281-300 – 3 балла и активность низкая, 301-340 – 4 балла и активность средняя, более 341 единицы – 5 баллов и активность высокая.

Токсичность почвы определяли по методике Красильникова Н. А. с применением фитотестов (Методы почвенной микробиологии, 1991). Использовалась реакция семян яровой твердой пшеницы при прорастании в чашках Петри на почвенном растворе, взятом с варианта опыта.

Исследования микробиологической активности и токсичности проводили в самой лесной полосе, в зоне ее влияния на удалении 5, 15, 30 высот лесополосы (Н) и на залежи. Вариант 30Н являлся контролем.

Результаты и обсуждение. Работы микробиологической науки последних лет свидетельствуют, что процессы, протекающие в почве очень сложны и многообразны, а взаимодействие всего спектра микрофлоры с высшими растениями очень существенно отражается на качестве и количестве производимой продукции (Е. Н. Мишустин, 1972, Н. А. Красильников, 1958).

Работами Е. Н. Мишустина, А. Н. Петровой (1966), Н. С. Веденяпиной, Г. А. Маминой (1978), А. Р. Шарифулина (1981) и др. доказано положительное воздействие суммарного критерия БАП, которое проявлялось в приросте продуктивности сельскохозяйственных культур, а также их негативная реакция на количество накопления в почве токсинов-ингибиторов, которые приводят к падению плодородия почвы, а, следовательно, и к снижению урожайности сельскохозяйственных культур.

Развитие различных типов организмов и их баланс во многом зависит от зональных почвенно-климатических условий, способов ведения земледелия и от всего агролесомелиоративного комплекса (Е. Н. Мишустин, 1972; А. Р. Шарифулин, 1981; Н. С. Веденяпина и др., 1986).

Наши многолетние наблюдения за микробной деятельностью почвы в зоне влияния лесной защитной полосы показали их существенные количественные различия по вариантам опыта.

Анализ степени деструкции льняного полотна показал значения в 5 и 4 балла для участков «лесополоса» и варианта 15Н соответственно. Минимальная микробная активность почвы была зафиксирована на контроле и участке залежи, получивших оценки 3 и 2 балла. Показатели по глубине влияния почвенных горизонтов на активность почвы практически не различались.

На варианте 5Н (пять высот от лесной полосы) получена лучшая активность почвы 344-382 ед. по плотности спиртовой вытяжки льняного полотна на приборе фотозлектроколориметр. На вариантах «залежь» и контроле получена самая низкая активность почвы 256-272 ед. и 271-290 ед. соответственно. На варианте 15Н и в самой лесополосе получены промежуточные значения 322-344 ед. и 301-328 ед., что свидетельствует о значениях ниже уровня участка 5Н, но превышающих результаты контроля. Анализ выявил повышенную активность микроорганизмов в подпахотном слое относительно пахотного слоя на величину порядка 17-38 единиц, что было отмечено на каждом из исследуемых опытных вариантов. Такая тенденция обусловлена лучшим обеспечением влагой нижнего горизонта почвы и находит подтверждение в наблюдениях на протяжении всего периода роста растений (рисунок 1).

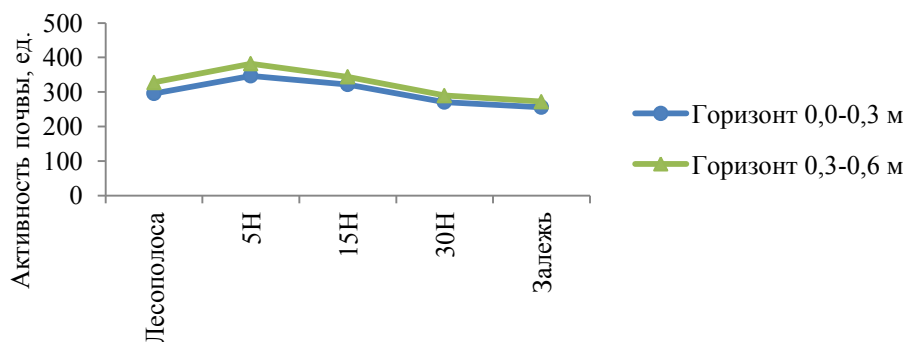


Рисунок 1 – Биологическая активность почвы в посевах озимой пшеницы в зависимости от расстояния от лесополосы (среднее за 2017-2024 гг.)

Figure 1 – Biological activity of soil in winter wheat crops depending on the distance from the forest belt (average for 2017-2024)

Таким образом, на основе микробиологических исследований (активность и токсичность почвы) в посевах озимой пшеницы в подзоне светло-каштановых почв установлено существенное влияние защитных лесных полос на почву и их мелиорирующая роль. Установлено значительное снижение микробиологической активности почвы по мере удаления от защитной лесополосы: наивысшие значения наблюдаются вблизи нее (вариант 5Н), умеренные фиксируются внутри лесополосы и на дистанции 15Н, тогда как на участках, расположенных на удалении 30Н и на залежных землях, отмечается низкая активность микрофлоры. Получены убедительные доказательства положительного влияния лесных защитных насаждений на состояние почвенных экосистем в условиях южного агропромышленного ландшафта, подтвержденные показателями токсикологического состояния почвенного покрова.

Исследование показало, что в варианте «лесополоса», число всходов яровой пшеницы составило 7 из 50 высеванных зерен в верхнем пахотном слое, а на участке на расстоянии 15Н оно равнялось 6, что соответствовало уровню токсичности почвы в диапазоне 86-88 %. Наибольшее количество ростков (18 штук) наблюдалось на залежном необработанном участке и контрольном варианте, где показатель токсичности составлял 64 %, снизившись на 17-24 % в нижних горизонтах почвы глубиной 0,3-0,6 метра. Уровень токсичности в данном нижнем слое составил 60 % и 52 % на участках 5Н и 15Н соответственно, против 46 % в зоне лесополосы и лишь 38 % на залежи (таблица 1).

Подпахотный горизонт имел меньшую токсичность на 24-46 % по отношению к пахотному и это является общей закономерностью.

Масса проростков, полученных в лесополосе 0,4 г и 1,2 г на контроле в пахотном горизонте и 1,6 г в подпахотном горизонте (таблица 1) свидетельствует о высокой токсичности почвы данных вариантов. Лучшие показатели по массе проростков получены с подпахотного горизонта – 10,4 г на контроле и 10,8 г на залежи, что подтверждает данные токсичности по показателю количества всходов.

Показатель токсичности почвы по высоте проростков дублирует описанные ранее показатели по количеству всходов и массе проростков (таблица 1).

Таблица 1 – Токсичность почвы в зависимости от мелиоративного влияния лесной полосы, среднее за 2017-2024 гг.

Table 1 – Soil toxicity depending on the reclamation impact of the forest belt, average for 2017-2024

Вариант опыта / An experiment option	Горизонт, м / Soil layer, m	Количество всходов, шт. / Number of seedlings, pcs.	Токсичность, % / Soil toxicity, %	Высота проростков, см / Height of seedlings, cm	Масса всходов, г / Mass of seedlings, g
Лесополоса / Forest belt	0,0-0,3	7	86	9,8	0,4
	0,3-0,6	27	46	7,9	1,6
5Н	0,0-0,3	9	82	9,6	0,7
	0,3-0,6	20	60	8,9	2,3
15Н	0,0-0,3	6	88	7,1	0,4
	0,3-0,6	24	52	10,4	1,4
30Н (контроль) / (control)	0,0-0,3	18	64	9,2	1,2
	0,3-0,6	21	58	8,0	10,4
Залежь / The deposit	0,0-0,3	18	64	9,2	0,7
	0,3-0,6	35	38	7,8	10,8

Закключение. На основе микробиологических исследований (активность и токсичность почвы) в посевах озимой пшеницы в подзоне светло-каштановых почв установлено существенное влияние защитных лесных полос на почву и их мелиорирующая роль.

Высокие показатели БАП в посевах озимой пшеницы формируются на расстоянии 5Н, с низкими и очень низкими на 30Н и залежи.

Степень разложения льняного полотна составила 5 и 4 балла на вариантах «лесополоса» и 15Н соответственно, и 3 и 2 балла наблюдалась на контроле и на залежи и практически не различалась по глубине пахотного и подпахотного горизонтов.

В ходе исследований в лесополосе наблюдали появление 7 ростков яровой твердой пшеницы из засеянных 50 семян в пахотном слое и 6 всходов на варианте обработки 15Н, что соответствует показателям токсикологического состояния почвы в пределах 86 и 88 %. Наибольшее количество проростков (18 единиц) зафиксировано на залежи и контроле, характеризуя степень токсичности ризосферы на уровне 64 %, сопровождающейся уменьшением показателя токсичности на глубине горизонта от 0,3 до 0,6 метра на величину порядка 17-24 %.

Таким образом, получены убедительные доказательства о мелиорирующем воздействии лесной полосы в агроландшафтах с дефицитным увлажнением.

Conclusions. Based on microbiological studies (soil activity and toxicity) in winter wheat crops in the area of light chestnut soils, a significant effect of protective forest strips on the soil and their reclamation role has been established.

High indicators of biological activity of the soil in winter wheat crops are formed at a distance of 5H, with low and very low deposits at 30H.

The degree of decomposition of linen was 5 and 4 points for the "forest belt" and 15H variants, respectively, and 3 and 2 points were observed for the control and for the deposits and practically did not differ in the depth of the arable and sub-arable horizons.

In the course of research in the forest belt, the appearance of 7 spring durum wheat sprouts from sown 50 seeds in the arable layer and 6 seedlings on the 15H treatment option was observed, which corresponds to the indicators of the toxicological state of the soil in the range of 86 and 88 %. The largest number of seedlings (18 units) was recorded in the deposit and control, characterizing the degree of toxicity of the rhizosphere at the level of 64 %, accompanied by a decrease in the toxicity index to the depth of the horizon from 0.3 to 0.6 meters by an amount of about 17-24 %.

Thus, convincing evidence has been obtained about the reclamation effect of the forest belt in agro-landscapes with insufficient moisture.

Библиографический список

1. Савич В. И., Мосина Л. В., Норовсурэн Ж., Сидоренко О. Д., Аникина Д. С. Микробиологическая активность почв как фактор почвообразования. Международный сельскохозяйственный журнал. 2019. № 1. С. 38-42.
2. Хазиев Ф. Х. Почва и экология. Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2017. № 24. С. 29-38.
3. Ларионов Ю. С., Ларионова О. А., Ярославцев Н. А. Экологическое значение биоземледелия и закона плодородия почв. Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. № 4 (2). С. 68-77.
4. Худяков О. И., Решоткин О. В. Почвообразование, элементарные почвообразовательные процессы, твердофазные продукты функционирования элементарных почвообразовательных процессов. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. № 19. С. 354-359.
5. Андронов Е. Е., Иванова Е. А., Першина Е. В., Орлова О. В., Круглов Ю. В., Белимов А. А., Тихонович И. А. Анализ показателей почвенного микробиома в процессах, связанных с почвообразованием, трансформацией органического вещества и тонкой регуляции вегетационных процессов. Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2015. № 80. С. 83-94.
6. Беляченко И. С. Микроорганизмы педосферы и особенности формирования почвенного покрова аграрных ландшафтов. Научный журнал КубГАУ. 2016. № 121. С. 1016-1036.
7. Осипов А. И. Биологический круговорот азота атмосферы. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2016. № 42. С. 97-103.
8. Савич В., Норовсурэн Ж., Никиточкин Д., Гукалов В. Агроэкологическая оценка почвообразовательных процессов. Международный сельскохозяйственный журнал. 2016. № 1. С. 25-28.
9. Чернов Т. И., Холодов В. А., Когут Б. М., Иванов А. Л. Методология микробиологических исследований почвы в рамках проекта "микробиом России". Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2017. № 87. С. 100-113.
10. Краснощёров А. Г., Буянкин Н. И., Чекстер Н. Ю. Влияние структуры дерново-подзолистой почвы на активизацию почвенно-биологических процессов в смешанных посевах. Достижения науки и техники АПК. 2018. № 32 (2). С. 48-51.
11. Проворов Н. А., Тихонович И. А. Сельскохозяйственная биология. 2022. № 57. С. 821-831.
12. Перекрестов Н. В. Почвенно-климатические агроландшафты Волгоградской области и пути повышения их плодородия. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 4. С. 26-30.

References

1. Savich V. I., Mosina L. V., Norovsuren J., Sidorenko O. D., Anikina, D. S. Microbiological activity of soil as a soil-forming factor. International agricultural journal. 2019. No 1. Pp. 38-42.
2. Khaziev F. Kh. Soil and ecology. Ecology without soil is soilless. Herald of the Academy of Sciences of Republic Bashkortostan. 2017. No 24. Pp. 29-38.
3. Larionov Yu. S., Larionova O. A., Yaroslavtsev N. A. Environmental importance of biodegradation and the law of fertility of soils. Interexpo GEO-Siberia. 2017. No 4 (2). Pp. 68-77.
4. Khudyakov O. I., Reshotkin O. V. Soil formation, elementary soil-forming processes, solid-phase products of the functioning the elementary soil-forming processes. Proceedings of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2017. No 19. Pp. 354-359.
5. Andronov E. E., Ivanova E. A., Pershina E. V., Orlova O. V., Kruglov Yu. V., Belimov A. A., Tikhonovich I. A. Analysis of soil microbiome indicators in processes of soil formation, organic matter transformation and processes involved with fine regulation of vegetative processes. Dokuchaev Soil Bulletin. 2015. No 80. Pp. 83-94.
6. Belyuchenko I. S. Microorganisms of pedosphere and peculiarities of the soil cover of agricultural landscapes. Scientific journal KubSAU. 2016. No 121. Pp. 1016-1036.
7. Osipov A. I. Biological cycle of atmospheric nitrogen. Proceedings SPbSAU. 2016. No 42. Pp. 97-103.
8. Savich V., Norovsuren, J., Nikitochkin D., Gukalov V. V. Agricultural and ecological assessment of soil-forming processes. International agricultural journal. No 1. Pp. 25-28.
9. Chernov T. I., Kholodov V. A., Kogut B. M., Ivanov A. L. The Method of Microbiological Soil Investigations within the Framework of the Project "Microbiome of Russia". Dokuchaev Soil Bulletin. 2017. No 87. Pp. 100-113.

10. Krasnoperov A. G., Buyankin N. I., Chekster N. Yu. Influence of the Structure of Sod-Podzol Soil on Activation of Soil and Biological Processes in Mixed Crops. Achievements of Science and Technology of AIC. 2018. No 2. Pp. 48-51.

11. Provorov N. A., Tihonovich I. A. Agricultural microbiology and symbiogenetics: synthesis of classical ideas and construction of highly productive agrarian cenoses (review). Agricultural biology. 2022. No 57. Pp. 821-831.

12. Perekrestov N. V. Soil-climatic agro-landscapes of Volgograd region and ways of increasing their fertility. Bulletin of the Belarussian state agricultural academy. 2014. No 4. Pp. 26-30.

Информация об авторах

Беляков Александр Михайлович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), ORCID: 0000-0002-9541-8383, e-mail: dokbam49@mail.ru

Кошелев Александр Валентинович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией агротехнологий и систем земледелия в агролесоландшафтах ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), ORCID: 0000-0003-4048-7549, e-mail: alexkosh@mail.ru

Назарова Марина Владимировна, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), ORCID: 0000-0002-7933-3152, e-mail: mn1967@list.ru

Authors' Information

Belyakov Aleksandr Mikhaylovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief research scientist, Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: 0000-0002-9541-8383, e-mail: dokbam49@mail.ru

Koshelev Aleksandr Valentinovich, Candidate of Agricultural 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 0000-0003-4048-7549, e-mail: alexkosh@mail.ru

Nazarova Marina Vladimirovna, 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: 0000-0002-7933-3152, e-mail: mn1967@list.ru

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

THE ANALYSIS OF THE INSECTICIDES USAGE EFFECTIVENESS TO CONTROL THE COLORADO BEETLE POPULATION WHEN CULTIVATING AUBERGINE

Bondarenko A. N., Chernik D. V.

*Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of Russian Academy of Sciences
Astrakhan region, Russian Federation*

Corresponding author: e-mail: bondarenko-a.n@mail.ru

Received 27.01.2026

Submitted 26.03.2026

«The research was conducted within the framework of the budget financing program for research and development in 2025-2029. (FNMW-2025-0007) "To develop new zonal technologies for cultivating crops using adapted highly productive varieties and hybrids that increase crop production, preserve and reproduce the fertility of light chestnut soils in the Northwestern Caspian region».

Summary

The results of eggplant cultivation on light chestnut soil using drip irrigation are presented. Promising options have been identified that contribute to the formation of high yields of the crop under study.

Abstract

Introduction. An urgent task in modern agriculture is to determine the most effective methods for controlling the Colorado potato beetle in eggplant crops. As part of a research project, a study was conducted to assess the effectiveness of insecticides in controlling the Colorado potato beetle (*Solanum melongena*) in eggplant cultivation in the Astrakhan region. To achieve this, a field experiment was conducted on eggplant using the split-plot method. **Object.** The experiments were conducted on eggplant varieties called Khalif and Samurai Sword, which were grown outdoors. **Materials and methods.** A study conducted in 2023-2025 focused on evaluating the biological effectiveness of the insecticides Tyra, EC, Borey Neo, EC, and Break, EC against the Colorado potato beetle. **Conclusions.** The results showed that the use of insecticides significantly reduces the number of Colorado potato beetles. The maximum biological effectiveness was observed after two applications of Break, EC at a rate of 100 g/ha, resulting in a reduction of the pest population by an average of 98.4 % within the first week after treatment. By day 14, the reduction in this treatment option exceeded the other options under study, reaching 93.6 %. A study of the economic efficiency of eggplant cultivation showed that the combination of $N_{180}P_{90}K_{50}$ fertilizers and the insecticide Break, EC on the Samurai Sword variety is the most profitable. This feeding scheme, combined with the insecticide Break, EC, resulted in a yield of 2,028.5 thousand rubles per hectare and a profitability of 475.6 %. The cost per ton of production was 4.3 thousand rubles, and the total cost per hectare was 426.5 thousand rubles.

Keywords: eggplant, aubergine, *Solanum melongena*, eggplant varieties, insecticides, Colorado potato beetle, biological effectiveness of insecticides.

Citation. Bondarenko A. N., Chernik D. V. The analysis of the insecticides usage effectiveness to control the Colorado beetle population when cultivating aberigine. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 21-29 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-02.

Authors' contributions. Each of the authors of the scientific study made a direct contribution to the planning and implementation of the field experiment, as well as to the subsequent analysis of the results.

Conflict of interest. The authors of this publication officially declare no conflict of interest associated with the presented study.

УДК 635.646:632.951

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНСЕКТИЦИДОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПОПУЛЯЦИИ КОЛОРАДСКОГО ЖУКА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ БАКЛАЖАНОВ

Бондаренко А. Н., доктор сельскохозяйственных наук

Черник Д. В., младший научный сотрудник

ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН»

с. Солёное Займище, Черныйский район, Астраханская область, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках тематики НИР 2025...2029 гг. (FNMW-2025-0007) «Разработать новые зональные технологии возделывания сельскохозяйственных культур с использованием адаптированных высокопродуктивных сортов и гибридов, обеспечивающие повышение объемов растениеводческой продукции, сохранение и воспроизводство плодородия светло-каштановых почв в зоне Северо-Западного Прикаспия».

Введение. Актуальной задачей в современном сельском хозяйстве является определение наиболее результативных методов в борьбе с колорадским жуком в посадках баклажанов. В рамках научно-исследовательской работы было проведено исследование для оценки эффективности инсектицидов в борьбе с колорадским жуком (*Leptinotarsa decemlineata*) при выращивании баклажанов (*Solanum melongena*) в условиях Астраханской области. Для этого был организован полевой эксперимент на баклажанах, основанный на методе расщепленных делянок. **Материалы и методы.** Исследование, проведенное в 2023-2025 гг., было посвящено оценке биологической эффективности инсектицидов Тайра, КЭ, Борей Нео, КЭ и Брейк, КЭ против колорадского жука. **Объект.** Эксперименты проводились на баклажанах сортов Халиф и Меч Самурая, культивируемых в открытом грунте. **Результаты** показали, что применение инсектицидов значительно снижает численность колорадского жука. Максимальная биологическая эффективность была зафиксирована после двукратной обработки препаратом Брейк, КЭ, при норме расхода 100 г/га, обеспечивая сокращение популяции вредителя в среднем на 98,4 % в течение первой недели после обработки. К 14 суткам снижение по данному варианту также превышало другие варианты находящиеся в изучении и составило 93,6 %. Исследование экономической эффективности выращивания баклажанов показало, что комбинация удобрений $N_{180}P_{90}K_{50}$ и инсектицида Брейк, КЭ на сорте Меч Самурая является самой выгодной. Данная схема питания в комплексе с инсектицидом Брейк, КЭ обеспечила доходность 2028,5 тыс. руб./га и рентабельность 475,6 %. Себестоимость тонны продукции составила 4,3 тыс. рублей, а общие затраты на гектар – 426,5 тыс. рублей.

Ключевые слова: баклажаны, *Solanum melongena*, сорта баклажанов, инсектициды, колорадский жук, *Leptinotarsa decemlineata*, биологическая эффективность инсектицидов.

Цитирование. Бондаренко А. Н., Черник Д. В. Анализ результативности использования инсектицидов для контроля популяции колорадского жука при выращивании баклажанов. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 21-29. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-02.

Авторский вклад. Каждый из авторов научного исследования внёс прямой вклад в планирование и реализацию полевого эксперимента, а также в последующий анализ полученных результатов.

Конфликт интересов. Авторы данной публикации официально декларируют отсутствие конфликта интересов, связанного с представленным исследованием.

Введение. Обеспечение высоких урожаев баклажанов хорошего качества – задача непростая, требующая комплексного подхода [1, 2, 5, 6, 10]. В условиях Нижневолжского региона с его засушливым летом и значительными перепадами температур необходимо использовать современные ресурсосберегающие системы полива, а также правильно подбирать удобрения с учётом почвенных характеристик [3, 7].

Несмотря на внедрение передовых агротехнологий, борьба с болезнями и вредителями остаётся ключевой задачей для обеспечения высокой урожайности баклажанов [4, 11, 15].

Убытки урожая могут достигать критических показателей в диапазоне 20-70 %, а в ряде случаев превышать эти значения. Столь существенный объем потерь обусловлен не единичной причиной, а совокупностью взаимосвязанных факторов [14, 16].

Среди фитофагов, представляющих наибольшую угрозу, выделяются насекомые-вредители, в частности хлопковая совка, колорадский жук, паутинные клещи и белокрылка. Каждый из этих организмов характеризуется специфическими закономерностями онтогенеза и избирательностью в отношении стадий развития растений, на которых происходит их питание [8, 17, 18]. Например, у колорадского жука несколько стадий развития – от яйца до имаго (взрослого насекомого). Наибольший ущерб наносят именно личинки.

Именно поэтому, чтобы добиться максимального эффекта в борьбе с этими вредителями, крайне важно не упустить момент: выявлять их и применять инсектициды, когда личинки еще совсем маленькие и легкодоступны на поверхности растений. Обработка в этот период не только гарантирует наилучший результат от препаратов, но и позволяет значительно сократить число повторных опрыскиваний [9, 12, 13].

Цель проведенных исследований была направлена на определение степени биологической эффективности инсектицидов в контроле популяции колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata*) на посадках баклажанов в специфических почвенно-климатических условиях Астраханской области.

В ходе исследований был заложен полевой опыт на баклажанах. Повторность опыта – трехкратная. Опыт по проведению защитных мероприятий в борьбе с колорадским жуком (*Leptinotarsa decemlineata*) предусматривал следующие варианты:

Вариант 1 – Контроль (обработка водой).

Вариант 2 – Борей Нео, КЭ – опрыскивание в период вегетации. Норма расхода препарата 100...200 мг/га. Расход рабочей жидкости 200...400 л/га.

Вариант 3 – Брейк, КЭ. Норма применения препарата 0,07...0,1 кг/га. Опрыскивание в период вегетации. Расход рабочей жидкости – 200...400 л/га.

Вариант 4 – Тайра, КЭ – опрыскивание в период вегетации. Норма применения препарата: 0,07...0,1 г/га. Расход рабочей жидкости – 200...400 л/га.

Объект исследований: сорта баклажанов:

Меч Самурая – сорт среднеранний. Плод булавовидный, средней длины и среднего диаметра, темно-фиолетовый, глянцево-блестящий. Шипы на чашечке отсутствуют или очень редкие. Мякоть беловатая, без горечи. Масса плода – 200 г. Регион допуска – Нижневолжский.

Халиф – сорт среднеспелый. Плод булавовидный, средней длины, диаметр маленький, темно-фиолетовый, глянцево-блестящий. Шипы на чашечке отсутствуют или очень редкие. Мякоть беловатая, без горечи. Масса плода – 230 г. Регион допуска – Нижневолжский.

Материалы исследований. Для выполнения поставленных задач проводились полевые учеты, наблюдения и измерения с использованием общепринятых методик.

Влияние исследуемых препаратов на рост и развитие растений оценивались по следующим параметрам: размер и масса плода, урожайность, товарность, %.

Учет урожайности проводился поделочно методом сплошной уборки на всех вариантах по мере технического созревания¹.

Стандартный урожай определялся согласно требованиям к свежим баклажанам (ГОСТ 31821 – 2022. Баклажаны свежие).

Учет колорадского жука на растениях баклажана проводился согласно Методическим указаниям по регистрационным испытаниям пестицидов в части биологической эффективности².

1. учет до опрыскивания;
2. учет на 3 сутки после обработки;
3. учет на 14 сутки после обработки.

Для расчета биологической эффективности использовалась формула Хендерсона-Тилтона (1955 г.):

$$БЭ = 100 \cdot (1 - Оп \cdot Кд / Од \cdot Кп)$$

где БЭ – эффективность, выраженная процентом снижения численности вредителя; Кд – число живых особей на контроле до обработки; Кп – число живых особей на контроле в данный срок учета; Од – число живых особей в опыте до обработки; Оп – число живых особей в опыте в данный срок учета.

¹ Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск четвертый картофель, овощные и бахчевые культуры. Волощенко В. С., Старцева В. И., Кравцова С.А., Роговского Ю. А., Камынина Т. Н., Тимофеева И. И., Ермакова Г. Д., Прошкина Н. А., Никифорова Н. И., Заблужая Е. А. – М.: «Министерство сельского хозяйства РФ». – 2015. – 61 с.

² Методические указания по регистрационным испытаниям пестицидов в части биологической эффективности. Общая часть. (под редакцией академика РАН В. И. Долженко, академика РАН В. Н. Ракитского). – М.: «Минсельхоз России». – 2018. – 56 с.

Результаты исследований. Анализ пахотного слоя светло-каштановой солонцеватой почвы на опытном участке показал ряд ключевых агрохимических параметров, оказывающих значительное влияние на урожайность овощных культур. Отмечено низкое содержание гумуса (0,6 %) и нейтральный уровень pH (7,05). Хотя запасы подвижного фосфора (241,0 мг/кг) и калия (257,8 мг/кг) оцениваются как высокие, дефицит гумуса может ограничивать их доступность для растений и, как следствие, снижать эффективность питания. Рассадку баклажанов высаживали в первой декаде мая. Агротехника возделывания соответствовала общепринятым в регионе рекомендациям.

Биологическая эффективность инсектицидов при возделывании баклажанов. Обработка баклажанов против колорадского жука была осуществлена в первой декаде июля, в период активного цветения и формирования завязей. В это время популяция вредителя составляла от 4 до 6 личинок на одно растение, что достигало критического уровня.

Такое количество личинок могло нанести существенный вред посадкам, если бы не были своевременно применены меры защиты.

На протяжении трех лет исследований были протестированы различные инсектициды, которые продемонстрировали высокую биологическую эффективность в защите баклажанов от как взрослых особей (имаго), так и личинок колорадского жука.

В ходе научно-исследовательской работы было проведено тестирование ряда инсектицидов. Они показали значительную биологическую эффективность в защите посадок баклажанов от имаго и личиночной стадии колорадского жука. Действие данных средств защиты продолжалось в течение двух недель после применения, при этом эффективность варьировалась в пределах от 87,5 до 93,6 %.

Препарат Брейк, КЭ при норме расхода 100 г/га, выявился наиболее действенным, обеспечивая сокращение популяции вредителя в среднем на 98,4 % в течение первой недели после обработки. В течение двух недель после обработки исследованиями было установлено, что вариант с применением препарата Борей Нео, КЭ на 5,5 % уступал по эффективности выделившемуся варианту с использованием инсектицида Брейк, КЭ. Вариант с применением Тайра, КЭ уступал на 6,1 %.

По результатам исследований, он явился одним из предпочтительных вариантов для контроля численности колорадского жука, особенно в уязвимые фазы роста и развития культуры (таблица 1).

Элементы структуры урожая сортов баклажанов в зависимости от вариантов обработки. При анализе элементов структуры урожая сортов баклажанов, возделываемых при разных режимах минерального питания, а также применения различных инсектицидов, было установлено, что максимальное количество товарных плодов (17-18 шт./растение) было получено при использовании инсектицида Брейк, КЭ + N₁₈₀P₉₀K₅₀ как у сорта Халиф, так и у сорта Меч Самурая.

При этом их масса находилась в диапазоне 3913,4-4091,4 г, также и средняя масса плода была максимальной 230,2-227,3 г (таблица 2).

В ходе проводимых исследований было установлено, что высокий уровень как биологической урожайности 114,6 т/га, так и товарной урожайности 98,2 т/га был получен у баклажанов сорта Меч Самурая с повышенным режимом минерального питания N₁₈₀P₉₀K₅₀. При этом товарность находилась на уровне 85,7 %, прибавка к контролю была на уровне +74,5 т/га.

Экономическая эффективность возделывания баклажанов. Результаты экономической оценки возделывания баклажанов с использованием инсектицидов показали, что наибольшая величина чистого дохода была получена на варианте с применением инсектицида Брейк, КЭ и повышенном режиме минерального питания N₁₈₀P₉₀K₅₀, как на сорте Халиф, так и на сорте Меч Самурая.

При этом уровень рентабельности у сорта Халиф был на уровне 456,0 %, себестоимость 4,5 тыс. руб./т, при общих затратах на производство 422,2 тыс. руб./га.

У сорта Меч Самурая рентабельность была на 19,6 % выше, чем у сорта Халиф. Себестоимость составляла 4,3 тыс. руб./т, при общих затратах на производство 426,5 тыс. руб./га (таблица 3).

Таблица 1 – Биологическая эффективность инсектицидов в борьбе с колорадским жуком (*Leptinotarsa decemlineata*) в посадках баклажанов при режиме минерального питания $N_{180}P_{90}K_{50}$ (на примере сорта Меч самурая), среднее за 2023-2025 гг.
Table 1 – Biological efficacy of insecticides in controlling Colorado beetle (*Leptinotarsa decemlineata*) in eggplant plantings with mineral nutrition mode $N_{180}P_{90}K_{50}$ (using the Samurai Sword variety as an example), the average for 2023-2025

Вариант опыта / Test option	Повторность / Frequency	Среднее число вредителей на растении, шт. / Average number of pests per plant, pcs.		после обработки по суткам учётов / after processing by accounting days				Снижение численности относительно исходной с поправкой на контроль после обработки по суткам учётов, % / Decrease in the number from the initial one adjusted for control after processing by days of accounting, %			
		до обработки / before processing	3	7	14	3	7	14	3	7	14
Контроль / Control	1	6	9	13	21	-	-	-	-	-	-
	2	5	9	13	19	-	-	-	-	-	-
	3	6	8	14	23	-	-	-	-	-	-
	4	4	7	16	24	-	-	-	-	-	-
	ср. / average	5	8	14	22	-	-	-	-	-	-
Борей Нео, КЭ / Borey Neo, CE	1	6	2	1	2	77,8	92,3	90,5	77,8	92,3	90,5
	2	5	2	1	2	77,8	92,3	85,0	77,8	92,3	85,0
	3	6	1	0	3	87,5	100	87,0	87,5	100	87,0
	4	5	0	0	3	100	100	90,0	100	100	90,0
	ср. / average	6	1	0	3	85,8	96,2	88,1	85,8	96,2	88,1
Брейк, КЭ / Break, CE	1	5	1	0	0	86,7	100	94,3	86,7	100	94,3
	2	6	0	1	2	100	93,6	91,2	100	93,6	91,2
	3	6	0	0	1	100	100	95,7	100	100	95,7
	4	7	0	0	0	100	100	93,0	100	100	93,0
	ср. / average	6	0	0	1	96,7	98,4	93,6	96,7	98,4	93,6
Тайра, КЭ / Тура, CE	1	6	2	2	2	77,8	84,6	90,5	77,8	84,6	90,5
	2	4	2	1	4	72,2	90,4	73,7	72,2	90,4	73,7
	3	6	1	1	3	87,5	92,9	87,0	87,5	92,9	87,0
	4	6	0	2	2	100	91,7	94,4	100	91,7	94,4
	ср. / average	6	1	2	3	90,0	90,0	86,4	90,0	90,0	86,4

Таблица 2 – Элементы структуры урожая баклажанов в зависимости от режима минерального питания и вариантов обработки инсектицидами, среднее за 2023-2025 гг.

Table 2 – Eggplant Harvest Pattern Elements by Mineral Nutrition Regimen and Insecticide Treatment Options, Average 2023-2025

Сорт (фактор А) / Variety (factor A)	Режим минерального питания (фактор В) / Mineral feed mode (Factor B)	Инсектицид (фактор С) / Insecticide (Factor C)	на 1 растение / per one plant						Биологическая урожайность, т/га / Biological yield, t/ha	Товарная урожайность, т/га / Marketable yield, t/ha	Товарность, % / Marketability, %	Прибавка к контролю, т/га / Addition to control, t/ha
			Количество товарных плодов, шт. / Number of commercial fruits, pcs.	Масса товарных плодов, г. / Weight of commercial fruits, g	Количество нетоварных, шт. / Number of non-commercial, pcs.	Масса нетоварных, г. / Mass of non-commercial, g.	Средняя масса плода, г. / Average weight felus, g	Общая масса плодов, г / General fruit weight, g				
Халиф / Caliph	N ₁₃₀ P ₉₀ K ₅₀	Контроль / Control	7	686,0	5	490,0	98,0	1176,0	28,2	16,5	58,3	-
		Борей Нео, КЗ / Borey Neo, CE	9	1665,0	4	740,0	185,0	2405,0	57,7	40,0	69,2	29,5
		Брейк, КЗ / Break, CE	14	3080,0	4	880,0	220,0	3960,0	95,0	73,9	77,8	66,8
	N ₁₈₀ P ₉₀ K ₅₀	Тайра, КЗ / Тура, CE	11	1903,0	3	519,0	173,0	2422,0	58,1	45,7	78,6	30,0
		Контроль / Control	8	680,0	6	510,0	85,0	1190,0	28,6	16,3	57,1	-
Меч Самурая / Sword of the Samurai	N ₁₃₀ P ₉₀ K ₅₀	Борей Нео, КЗ / Borey Neo, CE	11	2178,0	5	990,0	198,0	3168,0	76,0	52,3	68,8	47,4
		Брейк, КЗ / Break, CE	17	3913,4	3	690,6	230,2	4604,0	110,5	93,9	85,0	81,9
		Тайра, КЗ / Тура, CE	13	2553,0	3	510,6	170,2	3063,6	73,5	61,3	81,3	44,9
		Контроль / control	10	970,0	3	291,0	97,0	1261,0	30,3	23,3	76,9	-
		Борей Нео, КЗ / Borey Neo, CE	16	2571,2	4	642,8	160,7	3214,0	77,1	61,7	80,0	46,8
	N ₁₈₀ P ₉₀ K ₅₀	Брейк, КЗ / Break, CE	16	3528,0	3	661,5	220,5	4189,5	100,5	84,7	84,2	70,2
		Тайра, КЗ / Тура, CE	11	2090,0	3	570,0	190,0	2660,0	63,8	50,2	78,6	33,5
		Контроль / Control	11	1225,4	4	445,6	111,4	1671,0	40,1	29,4	73,3	-
		Борей Нео, КЗ / Borey Neo, CE	16	3408,0	3	639,0	213,0	4047,0	97,1	81,8	84,2	57,0
		Брейк, КЗ / Break, CE	18	4091,4	3	681,9	227,3	4773,3	114,6	98,2	85,7	74,5
(Фактор А / Factor A) HCP ₀₅	(Фактор В / Factor B) HCP ₀₅	Тайра, КЗ / Тура, CE	13	2925,0	5	1125,0	225,0	4050,0	97,2	70,2	72,2	57,1
		(Фактор А / Factor A) HCP ₀₅							4,4			
		(Фактор В / Factor B) HCP ₀₅							5,3			
		(Фактор С / Factor C) HCP ₀₅							4,6			
		(Фактор АВ / Factor AB) HCP ₀₅							4,3			
(Фактор АС / Factor AC) HCP ₀₅	(Фактор ВС / Factor BC) HCP ₀₅	(Фактор АС / Factor AC) HCP ₀₅							7,2			
		(Фактор ВС / Factor BC) HCP ₀₅							6,1			

Таблица 3 – Экономическая эффективность возделывания сортов баклажанов с использованием инсектицидов, ФГБНУ «ПАФНЦ РАН»,
среднее за 2023-2025 гг.

Table 3 – Economic efficiency of cultivating eggplant varieties using insecticides, Federal State Budgetary Scientific Institution "PAFNC RAS," average for 2023-2025

Сорт (фактор А) / Variety (factor A)	Режим минерального питания (фактор В) / Mineral feed mode (Factor B)	Инсектицид (Фактор С) / Insecticide (Factor C)	Товарная урожайность, т/га / Commodity yield, t/ha	Общие затраты, тыс. руб./га / Total costs, thousand rubles/ha	Себестоимость, тыс. руб./т / Cost, thousand rubles/ton	Стоимость реализованной продукции, тыс. р./т / Cost of goods sold, thousand rubles/ton	Чистый доход, тыс. руб./га / Net income, thousand rubles/ha	Рентабельность, % / Profitability, %
Халиф / Caliph	N ₁₃₀ P ₉₀ K ₅₀	Контроль / Control	16,5	343,7	20,8	412,5	68,8	20,0
		Борей Нео, КЗ / Borey Neo, CE	40,0	366,4	9,2	1000,0	633,6	172,9
		Брейк, КЗ / Break, CE	73,9	401,3	5,4	1847,5	1446,2	360,4
		Тайра, КЗ / Tyra, CE	45,7	372,8	8,2	1142,5	769,7	206,5
	N ₁₈₀ P ₉₀ K ₅₀	Контроль / Control	16,3	344,6	21,1	407,5	62,9	18,3
		Борей Нео, КЗ / Borey Neo, CE	52,3	380,6	7,3	1307,5	926,9	243,5
Меч Самурая / Sword of the Samurai	N ₁₃₀ P ₉₀ K ₅₀	Брейк, КЗ / Break, CE	93,9	422,2	4,5	2347,5	1925,3	456,0
		Тайра, КЗ / Tyra, CE	61,3	389,6	6,4	1532,5	1142,9	293,4
		Контроль / Control	23,3	348,4	15,0	582,5	234,1	67,2
		Борей Нео, КЗ / Borey Neo, CE	61,7	385,8	6,3	1542,5	1156,7	299,8
	N ₁₈₀ P ₉₀ K ₅₀	Брейк, КЗ / Break, CE	84,7	409,8	4,8	2117,5	1707,7	416,7
		Тайра, КЗ / Tyra, CE	50,2	375,3	7,5	1255,0	879,7	234,4
	N ₁₈₀ P ₉₀ K ₅₀	Контроль / Control	29,4	356,6	12,1	735,0	378,4	106,1
		Борей Нео, КЗ / Borey Neo, CE	81,8	407,8	5,0	2045,0	1637,2	401,5
		Брейк, КЗ / Break, CE	98,2	426,5	4,3	2455,0	2028,5	475,6
		Тайра, КЗ / Tyra, CE	70,2	397,5	5,7	1755,0	1357,5	341,5

Цена реализации 25 руб./кг
Selling price: 25 rubles per kg

Заключение. 1. В ходе научно-исследовательской работы было проведено тестирование ряда инсектицидов, в результате которого было доказано, что вариант с применением инсектицида Брейк, КЭ показал значительную биологическую эффективность в защите посадок баклажанов от имаго и личиночной стадии колорадского жука.

2. Было установлено, что высокий уровень как биологической урожайности 114,6 т/га, так и товарной урожайности 98,2 т/га был получен у баклажана сорта Меч Самурая с повышенным режимом минерального питания $N_{180}P_{90}K_{50}$. При этом товарность находилась на уровне 85,7 %, прибавка к контролю была на уровне + 74,5 т/га.

3. Экономический анализ выращивания баклажанов с применением инсектицидов выявил, что вариант $N_{180}P_{90}K_{50}$ в сочетании с инсектицидом Брейк, КЭ на сорте Меч Самурая оказался наиболее прибыльным. Он обеспечил чистый доход в размере 2 028,5 тыс. рублей на гектар и рентабельность 475,6 %. Себестоимость продукции составила 4,3 тыс. рублей за тонну, при общих производственных затратах 426,5 тыс. рублей на гектар.

Conclusion. 1. During the research work, a number of insecticides were tested, as a result of which it was proved that the option with the use of the insecticide Break, KE showed a significant biological efficiency in the protection of eggplant plantations from the imago and larval stage of the Colorado potato beetle.

2. It was found that a high level of both biological yield of 114.6 t/ha and commercial yield of 98.2 t/ha was obtained from the eggplant of the Samurai Sword variety with an increased mineral nutrition regime of $N_{180}P_{90}K_{50}$. At the same time, the marketability was at the level of 85.7 %, the increase in the control was at the level of +74.5 t/ha.

3. The economic analysis of eggplant cultivation using insecticides revealed that the $N_{180}P_{90}K_{50}$ option in combination with the insecticide Break, EC on the Samurai Sword variety was the most profitable. It provided a net income of 2028.5 thousand rubles per hectare and a profitability of 475.6 %. The cost of production was 4.3 thousand rubles per ton, with a total production cost of 426.5 thousand rubles per hectare.

Библиографический список

1. Гарьянова Е. Д., Соколов А. С., Гуляева Г. В., Полякова Е. В. Выращивание безрассадного баклажана в Нижнем Поволжье. Вестник КрасГАУ. 2020. № 10. С. 13-20.
2. Гашкова И. В., Соловьева А. Е., Курина А. Б. Сравнительная характеристика биохимического состава образцов баклажана коллекции ВИР в защищенном грунте. Овощи России. 2021. № 1 (57). С. 87-95.
3. Гулин А. В., Кигашпаева О. П., Мачулкина В. А. Биоэнергетическая оценка производства семян баклажан. Аграрный вестник Урала. 2023. № 04 (233). С. 70-78.
4. Долженко В. И., Сухорученко Г. И., Буркова Л. А. Совершенствование ассортимента средств борьбы с вредителями растений в XXI веке. Агрохимия. 2021. № 1. С. 31-40.
5. Долженко В. И., Лаптев А. Б. Современный ассортимент средств защиты растений: биологическая эффективность и безопасность. Плодородие. 2021. № 3 (120). С. 71-75.
6. Морозова В. С. Сохраняемость плодов баклажана, выращенного при разных уровнях минерального питания. Картофель и овощи. 2023. № 3. С. 13-16.
7. Москвичев А. Ю., Корженко И. А., Королев Д. Л. Особенности выращивания баклажана на овощных плантациях волгоградской области. Известия нижевожского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 1 (57). С. 81-88.
8. Свиловская Н. Н., Кашнова Е. В. Перспективные сорта пасленовых культур для Западной Сибири. International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2021. Т. 8-1 (59). С. 88-91.
9. Сухорученко Г. И., Буркова Л. А., Иванова Г. П. Формирование ассортимента химических средств защиты растений от вредителей в XX веке. Вестник защиты растений. 2020. № 1 (103). С. 5-24.
10. Терехова В. И., Кириченко Д. В., Земяхин М. С. Элементы технологии возделывания баклажана в защищенном грунте. Картофель и овощи. 2021. № 12. С. 23-25.
11. Alkhatib Rami et al. Photosynthetic and Ultrastructural Properties of Eggplant (*Solanum melongena*) Under Salinity Stress. Horticulturae. 2021. V. 7. Pp. 1-12.
12. Aumentado H. D., Balendres M. A. Diseases of Eggplant (*Solanum melongena* L.) and Their Management in Asia. Plant Pathology & Quarantine. 2024. V. 14. Pp. 97-117.
13. Hidayat Ramdan et al. Composition of Growing Media and Concentration of Foliar Fertilizer Affected Yield and Quality of Purple Eggplant (*Solanum melongena* L.). Journal Ilmu Pertanian Indonesia. 2024. V. 30. Pp. 48-54.
14. Ramadan A. Arafa et al. Identification of Promising Eggplant Genotypes for Root-knot Nematode (*Meloidogyne incognita*) Resistance. Hortscience. 2025. V. 60. I. 1. Pp. 35-41.
15. Rufa'i S., Shaffa H., Bello Tasiu et al. Response of African Eggplant (*Solanum aethiopicum* L.) Varieties to Compost Tea in Sudan Savanna Agro-ecological Zone of Nigeria. Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research. 2024. V. 11. Pp. 14-26.
16. Siam M. A. Habib et al. Biology and Management of Eggplant (*Solanum melongena* L.) Shoot and Fruit Borer: Review. 2024. V. 22. Pp. 267-276.
17. Tsafack Hermine et al. Effect of Nutrients and Phytochemical Compounds of *Solanum melongena* (Eggplants) on Cognitive Protection in Rats. Journal of Diseases and Medicinal Plants. 2024. V. 10. Pp. 17-28.
18. Wang Hong et al. Comparative Transcriptome Analysis of Eggplant (*Solanum melongena* L.) Peels with Different Glossiness. Agronomy. 2024. V. 14. Pp. 2-12.

References

1. Garyanova E. D., Sokolov A. S., Gulyaeva G. V., Polyakova E. V. Growing Seedless Eggplant in the Lower Volga Region. *Vestnik KrasGAU*. 2020. No. 10. Pp. 13-20.
2. Gashkova I. V., Solovyova A. E., Kurina A. B. Comparative Analysis of the Biochemical Composition of Eggplant Samples from the VIR Collection in Protected Ground. *Vegetables of Russia*. 2021. No. 1 (57). Pp. 87-95.
3. Gulin A. V., Kigashpaeva O. P., Machulkin V. A. Bioenergetic assessment of eggplant seed production. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023. No. 04 (233). Pp. 70-78.
4. Dolzhenko V. I., Sukhoruchenko G. I., Burkova L. A. Improvement of the Range of Means of Plant Pest Control in the 21st Century. *Agricultural Chemistry*. 2021. No. 1. Pp. 31-40.
5. Dolzhenko V. I., Laptev A. B. Modern assortment of plant protection products: biological efficiency and safety. *Fertility*. 2021. No. 3 (120). Pp. 71-75.
6. Morozova V. S. Preservation of eggplant fruits grown at different levels of mineral nutrition. *Potatoes and Vegetables*. 2023. No. 3. Pp. 13-16.
7. Moskvichev A. Yu., Korzhenko I. A., Korolev D. L. Features of growing eggplant on vegetable plantations in the Volgograd region. *Izvestiya of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2020. No. 1 (57). Pp. 81-88.
8. Svidovskaya N. N., Kashnova E. V. Promising Varieties of Solanaceous Crops for Western Siberia. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2021. V. 8-1 (59). Pp. 88-91.
9. Sukhoruchenko G. I., Burkova L. A., Ivanova G. P. Formation of the Range of Chemical Plant Protection Products from Pests in the 20th Century. *Bulletin of Plant Protection*. 2020. No. 1 (103). Pp. 5-24.
10. Terekhova V. I., Kirichenko D. V., Zemyakhin M. S. Elements of Eggplant Cultivation Technology in Protected Ground. *Potatoes and Vegetables*. 2021. No. 12. Pp. 23-25.
11. Alkhatib Rami et al. Photosynthetic and Ultrastructural Properties of Eggplant (*Solanum melongena*) Under Salinity Stress. *Horticulturae*. 2021. V. 7. Pp. 1-12.
12. Aumentado H. D., Balendres M. A. Diseases of Eggplant (*Solanum melongena* L.) and Their Management in Asia. *Plant Pathology & Quarantine*. 2024. V. 14. Pp. 97-117.
13. Hidayat Ramdan et al. Composition of Growing Media and Concentration of Foliar Fertilizer Affected Yield and Quality of Purple Eggplant (*Solanum melongena* L.). *Journal Ilmu Pertanian Indonesia*. 2024. V. 30. Pp. 48-54.
14. Ramadan A. Arafa et al. Identification of Promising Eggplant Genotypes for Root-knot Nematode (*Meloidogyne incognita*) Resistance. *Hortscience*. 2025. V. 60. I. 1. Pp. 35-41.
15. Rufa'i S., Shaffa H., Bello Tasiu et al. Response of African Eggplant (*Solanum aethiopicum* L.) Varieties to Compost Tea in Sudan Savanna Agro-ecological Zone of Nigeria. *Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research*. 2024. V. 11. Pp. 14-26.
16. Siam M. A. Habib et al. Biology and Management of Eggplant (*Solanum melongena* L.) Shoot and Fruit Borer: Review. 2024. V. 22. Pp. 267-276.
17. Tsafack Hermine et al. Effect of Nutrients and Phytochemical Compounds of *Solanum melongena* (Eggplants) on Cognitive Protection in Rats. *Journal of Diseases and Medicinal Plants*. 2024. V. 10. Pp. 17-28.
18. Wang Hong et al. Comparative Transcriptome Analysis of Eggplant (*Solanum melongena* L.) Peels with Different Glossiness. *Agronomy*. 2024. V. 14. Pp. 2-12.

Информация об авторах

Бондаренко Анастасия Николаевна, доктор сельскохозяйственных наук, зав. лабораторией, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН» (Российская Федерация, Астраханская область, Черноярский район, с. Солёное Займище), <https://orcid.org/0000-0003-4816-5667>, e-mail: bondarenko-a.n@mail.ru

Черник Дмитрий Владимирович, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН» (Российская Федерация, Астраханская область, Черноярский район, с. Солёное Займище), <https://orcid.org/0000-0002-0709-1844>, e-mail: dmitrii-chnik@mail.ru

Authors' Information

Bondarenko Anastasia Nikolaevna, Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory, Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of Russian Academy of Sciences (Russian Federation, Astrakhan Region, Chernoyarsky District, Solenoye Zaimishche Village), <https://orcid.org/0000-0003-4816-5667>, e-mail: bondarenko-a.n@mail.ru

Chernik Dmitry Vladimirovich, Junior Research Assistant, Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of Russian Academy of Sciences (Russian Federation, Astrakhan Region, Chernoyarsky District, Solenoye Zaimishche Village), <https://orcid.org/0000-0002-0709-1844>, e-mail: dmitrii-chnik@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-03

THE SAVANNA FOREST PLANTATIONS ON THE KALMYKIA REPUBLIC SALINE PASTURES**Voronina V. P., Vdovenko A. V., Kladiev A. K.**

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

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

Received 11.01.2026

Submitted 23.02.2026

Summary

The creation of savanna-type forest pastures on brown saline lands in the Republic of Kalmykia using artificial catchments makes it possible to form long-lasting stands of squat elm, which, combined with additional moisture, help reduce toxic salts in the root layer and create better conditions for natural phytocenoses and grazed animals.

Abstract

Introduction. One of the promising areas of transformation of degraded pastures is the formation of multi-tiered forest pasture ecosystems that optimize the use of natural resource potential. Saline lands are extremely complex forest reclamation facilities that require original and unconventional technologies that involve minimally invasive intervention and the use of salt-resistant tree species to increase the bioecological capacity of the territory. **Objects.** Savanna forest pastures with *Ulmus pumila* L. forest crops on brown saline soils of the Republic of Kalmykia, grown in artificial micro-catchments. **Materials and methods.** The technology of growing forest plantations on unsuitable soils was developed (a.c. 1572440) and introduced in 1988. The analysis of soil conditions was assessed by the composition of toxic salts and the density of soil horizons when drilling wells up to 2.5 m. The taxational features of the aboveground part of the trees were studied according to generally accepted forestry methods. The study of root systems was carried out using the trench-skeletal method. **Results and conclusion.** Creation of savanna-type forest pastures from *Ulmus pumila* L. on saline soils, it is possible in artificial catchments with an area of 40-60 m². A micro-collection is being prepared with a recess in the central part, deep loosening is carried out to destroy the compacted horizon located at a depth of 0.6-0.8 m, providing additional moisture. A pit digger prepares 3-4 seats for 2-3 summer seedlings. By the age of 20, the root systems reach the sandy layer at a depth of 2.5 m and form a multi-tiered structure. An active migration of toxic salts from the soil surface to deeper layers has been recorded, which is caused by additional precipitation and exposure to well-developed root systems. The applied technology makes it possible to grow elm trees at a concentration of chlorine ions (0.029-0.366 %) exceeding the toxicity threshold. At the experimental site of the agricultural complex of the Kharakhusovsky agricultural complex in the Yashkulsky district, the elm reaches 5.5-6.0 m by the age of 38-40 and retains good vitality. The ecological and reclamation state of the savanna forest pasture is characterized by stability, has a richer vegetation composition (40 species from 17 families), increased productivity, exceeding natural pastures by 1.2-1.5 times, and contributes to the formation of ecological niches for birds and animals. The positive experience of agroforestry of saline pasture lands should be used more widely in arid regions.

Keywords: savanna plantations (rare tree plantations), rare tree plantations, arid pastures, saline brown soils, *Ulmus pumila* L., desertification of arid territories, pastures vegetation cover degradation.

Citation. Voronina V. P., Vdovenko A. V., Kladiev A. K. The savanna forest plantations on the Kalmykia Republic saline pastures. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 29-41 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-03.

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*268(470.47)

**САВАННЫЕ ЛЕСНЫЕ НАСАЖДЕНИЯ НА ЗАСОЛЕННЫХ ПАСТБИЩАХ
РЕСПУБЛИКИ КАЛМЫКИЯ**

Воронина В. П., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Вдовенко А. В., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Кладиев А. К., старший научный сотрудник

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Одним из перспективных направлений трансформации деградированных пастбищ является формирование многоярусных лесопастбищных экосистем, позволяющих оптимизировать использование природно-ресурсного потенциала. Засоленные земли относятся к чрезвычайно сложным объектам лесомелиорации, требующим оригинальных и нетрадиционных технологий, которые предусматривают малоинвазивное вмешательство и использование солеустойчивых древесных пород, чтобы увеличить биоэкологическую емкость территории. **Объекты.** Саванные лесопастбища с лесными культурами *Ulmus pumila* L. на бурых засоленных почвах Республики Калмыкия, выращенные на искусственных микроводосборах. **Материалы и методы.** Технология выращивания лесных насаждений на нелесопригодных почвах была разработана (a.c. 1572440) и внедрена в 1988 г. Анализ состояния почвенных условий оценивался по составу токсичных солей и плотности почвенных горизонтов при бурении скважин до 2,5 м. Таксационные особенности надземной части деревьев изучались по общепринятым лесоводственным методикам. Изучение корневых систем осуществлялось траншейно-скелетным методом. **Результаты и выводы.** Создание лесопастбищ саванного типа из *Ulmus pumila* L. на засоленных почвах возможно на искусственных водосборах площадью 40-60 м². Готовится микроводосбор с углублением в центральной части, проводится глубокое рыхление чтобы разрушить уплотненный горизонт, находящийся на глубине 0,6-0,8 м, обеспечивая дополнительное увлажнение. Ямокопателем готовятся 3-4 посадочных места под 2-3-летние саженцы. К 20 годам корневые системы достигают песчаного слоя на глубине 2,5 м и образуют многоярусную структуру. Зафиксирована актив-

ная миграция токсичных солей с поверхности почвы в более глубокие слои, что вызвано дополнительными атмосферными осадками и воздействием хорошо развитых корневых систем. Применяемая технология позволяет выращивать вязовые насаждения при концентрации ионов хлора (0,029-0,366 %), превышающих порог токсичности. На опытном полигоне агрокомплекса СПК «Харахусовский» Яшкульского района вяз к 38-40 годам достигает 5,5-6,0 м, сохраняет хорошую жизненность. Эколого-мелиоративное состояние саванного лесопастбища характеризуется стабильностью, имеет более богатый растительный состав (40 видов из 17 семейств), повышенную продуктивность, превышающую в 1,2-1,5 раза естественные пастбища, способствует формированию экологических ниш для птиц и животных. Позитивный опыт агролесомелиорации засоленных пастбищных земель следует шире использовать в аридных регионах.

Ключевые слова: саванные насаждения (редкие древесные насаждения), редкие древесные насаждения, аридные пастбища, засоленные бурые почвы, *Ulmus pumila* L., опустынивание аридных территорий, деградация растительного покрова пастбищ.

Цитирование. Воронина В. П., Вдовенко А. В., Кладиев А. К. Саванные лесные насаждения на засоленных пастбищах Республики Калмыкия. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 29-41. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-03.

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. Глобальная трансформация климатической системы напрямую влияет на интенсификацию процессов опустынивания, особенно в районах, где природно-ресурсный потенциал территории уже неоднократно переживал региональное опустынивание. Примером неконтролируемого опустынивания в конце прошлого века стали территории Черных земель в Республике Калмыкия. От различных форм опустынивания наиболее сильно пострадали пастбищные экосистемы, так как на большей части пастбищ был полностью уничтожен травянисто-кустарниковый покров, а зональные почвы легкого механического состава утратили поверхностные слои из-за неоднократного перемещения почвогрунта. Продолжающаяся деградация пастбищных экосистем затрагивает фундаментальные вопросы, связанные с сохранением биоразнообразия аридных районов, включая флористические и фаунистические комплексы, а также разведение домашних жвачных животных, приспособленных к содержанию на пастбищах и скудной кормовой базе.

В условиях, когда пастбищное животноводство в республике является одной из ключевых позиций стабильности агропромышленного сектора, приоритетом становятся увеличение производительности земель для кормовых культур и оптимизация условий содержания скота на пастбищах. По мнению Петрова В. И. и Ворониной В. П., одним из главных направлений развития АПК является создание высокопродуктивных и устойчивых пастбищных лесопастбищных систем [1], а также применение малоинвазивных (щадящих) технологий, основанных на трансформации деградированных пастбищ в многоярусные лесопастбищные экосистемы, что позволяет не только оптимизировать состав флоры и фауны, но и повысить урожайность и продуктивное долголетие выпасаемых угодий. В настоящее время существуют единичные примеры удачных решений по лесопастбищному обустройству пастбищ на засоленных землях, поскольку необходимо правильно сочетать биоэкологический потенциал древесных пород, применяемые технологии выращивания лесных культур и лимитирующие абиотические факторы: высокий уровень засоления почвы, неблагоприятный гидротермический режим, которые иногда становятся непреодолимым препятствием произрастания древесных пород. В Каракалпакии даже при сильном засолении (содержание ионов хлора 0,24-0,37 %) можно выращивать на орошении лесные культуры вяза приземистого, тополя белого, ясеня зеленого, лоха узколистного, которые сохраняют жизненность до 30-40 лет [2]. На высохшем дне Аральского моря для рекультивации автоморфных солончаков целесообразно применять саксаул черный, черкез Рихтера, терескен серый (ограниченно), посадки которых требуют применения полива в первые 1-2 года [4]. В лесостепном районе Зауралья на солончаках с содержанием ионов хлора 0,02-0,03 % могут расти сосновые насаждения [5].

Самыми проблемными для лесомелиоративных мероприятий являются бурые засоленные почвы, широко распространенные на пастбищных угодьях Калмыкии. Причиной тому служит неравномерное расположение солевых прослоек в почвенном профиле и их различный солевой состав. Растительный покров пастбищ, также отличается высокой степенью мозаичности. Фитоценотические различия проявляются на уровне микрофитоценозов, поэтому видо-

вой состав растительных сообществ является индикатором засоленности почвы и, соответственно, может служить хорошим подспорьем прогноза успешности приживаемости и роста лесных культур. Установлено, что на бурых засоленных почвах чаще всего произрастают чернополюнные и белополюнные фитоценозы с участием эфемеров и эфемероидов, в состав которых входят виды способные выдерживать высокие уровни содержания токсичных солей.

Целью наших исследований являлся биоэкологический анализ состояния лесонасаждений на бурых засоленных почвах и их влияние на расселение почвы в подкроновом пространстве, фитоценотический состав травянисто-кустарникового покрова на саванном лесопастбище.

Материалы и методы. Особенностью изучаемого района является высокий естественный уровень засоления почвы, который сформировался на бурых полупустынных почвах при малом количестве атмосферных осадков и избыточных термических ресурсах. Такие почвы считаются непригодными для выращивания лесных насаждений. Однако, несмотря на высокий уровень засоления, территория Республики Калмыкия отличается наличием микропонижений и макроповышений, что дает возможность подойти творчески и подобрать небольшие по площади участки, где выращивание редкостойных насаждений становится возможным. Объектом исследований являлись редкостойные насаждения саванного типа (редины) на площади около 50 га из *Ulmus pumila* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Gleditsia triacanthos* L. созданные по искусственным водосборам в 1988 году на пастбищных землях (рисунок 1) агрокомплекса СПК «Харахусовский» Яшкульского района около п. Утта, а также естественные пастбищные экосистемы, подвергшиеся различной степени деградации и опустынивания.



Рисунок 1 – Пастбищные угодья агрокомплекса «Харахусовский» Яшкульского района, в нижней части космоснимка тестовый полигон с лесными культурами *Ulmus pumila* L.
Figure 1 – Pasture lands of the Kharakhusovsky agricultural complex in the Yashkulsky district, in the lower part of the satellite image there is a test site with *Ulmus pumila* L. forest crops.

На тестовом полигоне «Харахусовский» для определения солевого состава почвы проводилось бурение скважины до глубины 150-250 см. Анализ водорастворимых солей определяли в агрохимлаборатории г. Элисты по стандартным методикам. Анализ степени засоления почвы и её пригодность для лесонасаждений проводилась согласно Абдуллаеву И. А. [2], слабая степень – количество ионов хлора в метровом слое почвы 0,01-0,03 %, средняя – 0,05-0,08, сильная – 0,24-0,37 %. Геоботаническое обследование растительного покрова выполнялось весной и осенью, выделялись доминирующие и другие виды, определялась их хозяйственно-экологическая значимость. Таксационные показатели деревьев и учет их состояния проводились сплошным учетом по стандартным лесоводственным методикам. Для изучения особенностей развития корневых систем применялся траншейный метод с зарисовкой и измерением скелетных корней [3].

Закладка опытных насаждений проводилась по искусственным водосборам, образующим покатое понижение площадью 20-60 м². Водосборы готовились за год до посадки саженцев, чтобы обеспечить дополнительное накопление влаги и добиться перемещения солей в более нижние горизонты почвы.

Результаты и обсуждение. Многолетний опыт показывает, что на засоленных почвах Северо-Западного Прикаспия успешное создание лесных насаждений возможно лишь при использовании разреженных посадок засухо- и солеустойчивых древесных пород. Как отмечают В. И. Петров и В. П. Воронина [1], эффективность создания устойчивых древесно-кустарниковых насаждений саванного типа на бурых почвах напрямую зависит от концентрации и типа солей, а также от глубины залегания наиболее засоленных слоев почвы, доступных для корневой системы. Лесные культуры, созданные традиционными методами, начинают изреживаться уже к 8-10 годам и сохраняются в удовлетворительном состоянии только отдельные группы растений, произрастающие в лучших лесорастительных условиях. В Республике Калмыкия в лесопастбищных ландшафтах лесоводы предпочитают использовать местные популяции древесных и кустарниковых пород, которые одновременно сочетают высокую солеустойчивость и засухоустойчивость. По данным исследований [1] лесомелиорируемая территория может условно считаться лесопригодной, если наиболее токсичные соли располагаются локально или сосредоточены ниже корнеобитаемого слоя. На бурых почвах, имеющих хлоридно-сульфатное засоление с поверхности целесообразнее создавать разреженные насаждения, около 300-500 шт./га. Принимая во внимание лимитирующее воздействие солей и высокую мозаичность почвенно-растительного покрова, целесообразно прибегнуть к конструкции древесно-кустарникового яруса в виде насаждений саванного типа, где группы посадок отстоят друг от друга на расстоянии не менее 150-200 м. Такое расположение лесных культур позволяет снизить напряжение тяжелых условий водоснабжения, проявляющееся как «физиологическая сухость» почвы и приводящее к обезвоживанию растительных тканей.

На тестовом полигоне «Харахусовский» преобладают бурые засоленные почвы (пустынно-степные, солончаковатые, легкосуглинистые). На глубине 2-2,5 метра они содержат песчаные прослойки толщиной 30-40 см. Особенностью этих бурых почв является плотный, очень сухой и твердый карбонатный горизонт на глубине 0,5-1,2 метра. Этот горизонт препятствует проникновению влаги в нижние слои почвы и ограничивает рост корневой системы [3]. Для успешного выращивания лесных культур необходимо разрушить этот карбонатный слой, чтобы атмосферная влага могла достигать более глубоких горизонтов. Среднегодовое количество осадков в районе (по данным метеостанции Утта) составляет 200-250 мм, иногда редкие и более обильные осадки (1-2 раза в 10 лет) могут проникать на глубину до 2,5 метров, достигая песчаных слоев и создавая запас влаги на длительный период времени.

Почвенное обследование опытного полигона «Харахусовский», приуроченного к Прикаспийской низменности, показало визуально тестируемые микропонижения рельефа на общем фоне выровненной поверхности. Здесь преобладают бурые полупустынные почвы, которые имеют как хлоридное, так и сульфатно-хлоридное засоление. Бурение почвы проводилось по микропонижениям, где были обнаружены погребенные прослойки (около 0,3-0,5 м) песчаного механического состава залегающие на корнедоступной глубине – 200-250 см от поверхности. Также в большинстве скважин был выявлен карбонатный горизонт, расположенный на глубине 40-120 см. Он диагностируется наличием повышенной плотности и вкраплением белесых фракций карбонатов. Обычно присутствие в почвенном профиле более плотных слоев приводит к ухудшению лесорастительных условий, так как атмосферная влага блокируется в верхних горизонтах почвы, а корни растений затрачивают чрезвычайно много энергии, чтобы освоить уплотненный горизонт [3].

Для посадки деревьев и кустарников были выбраны участки пастбищ с естественными углублениями рельефа, напоминающими неглубокие блюдца. В этих местах растительность более густая, что указывает на их потенциальную пригодность для лесомелиорации. Перспективными в данном направлении оказались бурые пустынно-степные суглинистые почвы с уплотненными слоями и глубоким залеганием грунтовых вод (20-25 м). Исследования [6, 7] на бурых почвах Сарпинской низменности показали, что в западинах диаметром 10-15 м и глубиной более 9 см ежегодно может накапливаться до 50 л/м² атмосферной влаги. Эта влага способствует опреснению нижних слоев почвы, что благоприятно для роста древесных насаждений.

Исследование солей в почве на тестовом участке (рисунок 2) выявило хлоридно-сульфатное засоление, начинающееся с поверхности. По всему профилю почвы присутствует хлоридное засоление, достигающее пика на глубине 40-60 см. Особо сильное засоление, с концентрацией хлорид-ионов до 0,366 %, наблюдается на глубине 60-80 см. Предполагается, что при обильных осадках соли вымываются с поверхности и накапливаются в плотных нижних, плохо увлажненных слоях, недоступных для корней. Это делает галофитные растения наиболее подходящими для фитомелиорации. Кроме того, в образцах с глубины 40-60 см обнаружены токсичные карбонат-ионы (CO_3^{2-}), которые, несмотря на низкую концентрацию, усугубляют негативное воздействие хлоридов на рост деревьев.

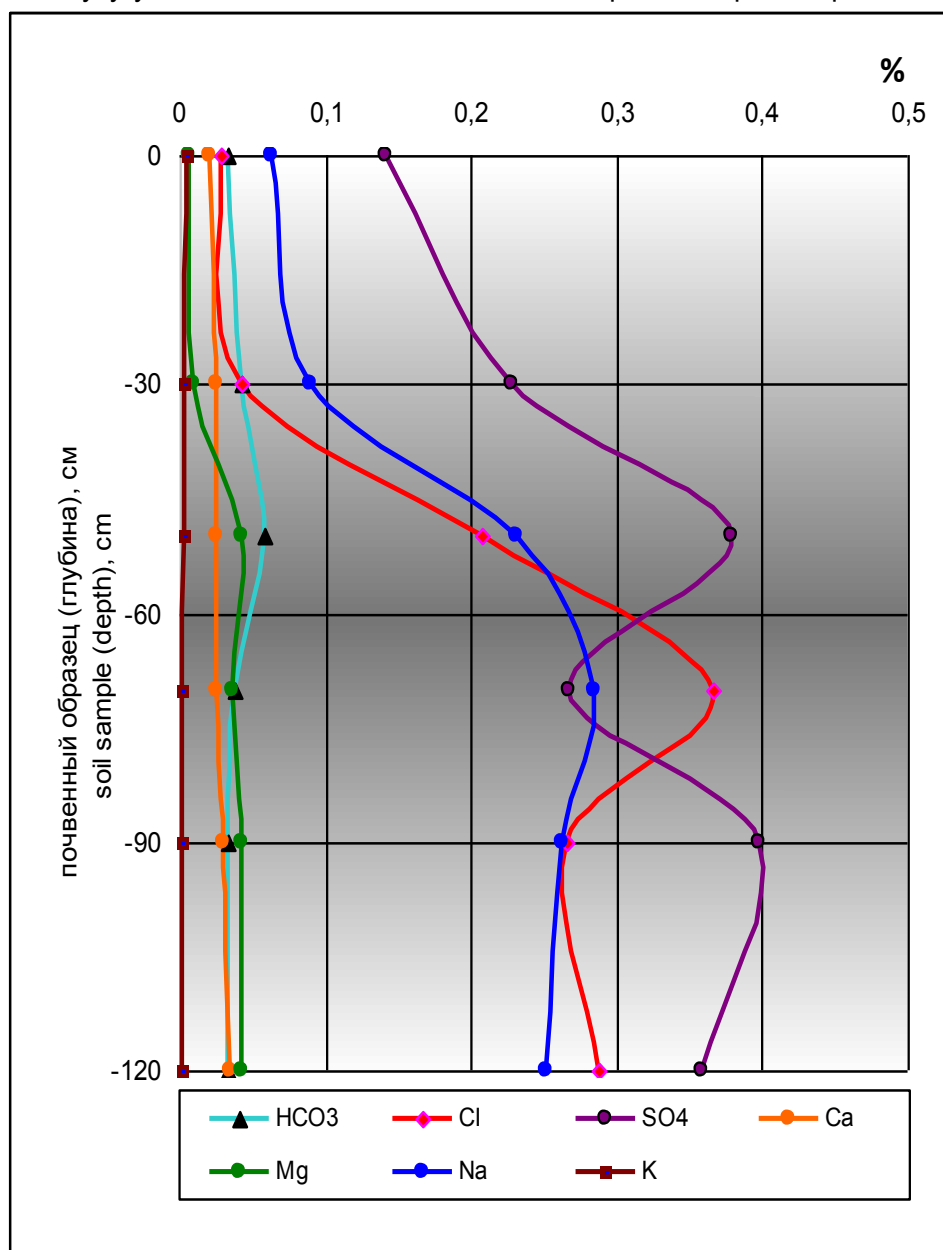


Рисунок 2 – Профиль солевого состава почвы на саванном лесопастбище, тестовый полигон «Харахусовский», %

Figure 2 – Profile of the salt composition of the soil in the savanna forest pasture, Kharakhusovsky test range, %

Согласно многочисленным научным данным, хлориды, в частности хлорид натрия (NaCl), являются основным фактором, сдерживающим развитие древесно-кустарниковой растительности. Превышение концентрации хлоридов в почве свыше 0,02 % негативно

сказывается даже на видах, обладающих повышенной солеустойчивостью [3]. На территории опытного полигона зафиксировано повсеместное хлоридное засоление по всему почвенному профилю, причем его уровень (0,037-0,04 %) значительно превышает допустимые токсичные значения для большинства растений, поэтому следует отбирать виды и популяции чрезвычайно солеустойчивые. Гидрокарбонаты (HCO_3^{2-}) очень токсичные, их порог токсичности для солеустойчивых пород составляет 0,005 %, однако на тестовом полигоне «Харахусовский» их содержание, составляющее менее 0,003 %, что позволяет выращивать древесные культуры. По суммарным результатам водной вытяжки почвенный профиль можно отнести к хлоридно-сульфатному типу засоления.

Хорошим примером естественных лесопастбищ с участием одиночных или мелкогрупповых куртин, состоящих из вяза приземистого, лоха узколистного, тамарикса ветвистого являются территории с высокой микрорельефной неоднородностью, где в микропонижениях, имеющих дополнительное увлажнение произрастают древесные породы (рисунок 3).



Рисунок 3 – Прототип саванных лесопастбищ в Республике Калмыкия

Figure 3 – Prototype of savanna forest pastures in the Republic of Kalmykia

<https://anodkatod.ru/stepniye/pastbisha/>

Разработка инновационной технологии, имитирующей структуру саванн для создания разреженных лесных насаждений, началась в 1990-х годах (Способ подготовки почвы под посадку лесных и плодовых культур / В. И. Петров, А. С. Манаенков, А. К. Кладиев; а.с. 1572440 СССР. // Открытия. Изобретения, 1990. № 23). Этот подход, направленный на улучшение роста древесных культур на нелесопригодных почвах, был успешно апробирован в Республике Калмыкия. Ключевым элементом малоинвазивной технологии является создание искусственных водосборных систем, призванных аккумулировать влагу и приблизить условия к естественным микрозападинам. Водосборные бассейны, имеющие форму воронки площадью 20-60 м² и уклон 3-8°, достигали глубины 30-40 см. Механизированная подготовка почвы включала удаление верхнего слоя с растительностью, его рыхление и последующее бурение 3-4 посадочных мест глубиной 80 см (КПЯ-100). Эти места предназначались для крупномерных саженцев вяза приземистого (*Ulmus pumila* L.), робинии псевдоакации (*Robinia pseudoacacia* L.) и гледичии трехколючковой (*Gleditsia triacanthos* L.). При посадке каждому саженцу обеспечивался полив в объеме 300 л и устанавливалось ограждение для защиты от животных.

Полевые наблюдения за ростом и развитием высаженных древесных пород показали, что только вяз приземистый успешно приживается и развивается на искусственных водосборах (рисунки 4, 5). Робиния псевдоакация и гледичия трехколючковая погибли в первые годы из-за низкой солеустойчивости.



Рисунок 4 – Саванное лесопастбище (*Ulmus pumila* L.) на бурых почвах, фото Ворониной В. П.
Figure 4 – Savanna forest pasture (*Ulmus pumila* L.) on brown soils, photo by Voronina V. P.

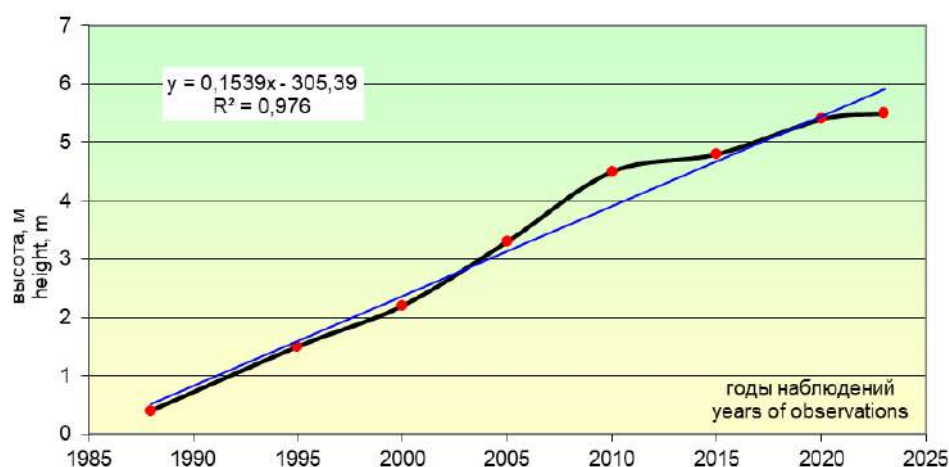


Рисунок 5 – Динамика роста вяза приземистого (*Ulmus pumila* L.) на искусственных водосборах
Figure 5 – Growth dynamics of the squat elm (*Ulmus pumila* L.) in artificial catchments

Динамика роста вяза приземистого (рисунок 5) показала стабильность в течение всего 37-40 летнего периода. На территории искусственного микроводосбора в среднем сохранилось по 3 особи. Анализ показал, что в период с 1988-2020 гг. была выявлена линейная зависимость ежегодного прироста побегов, описываемая уравнением $y = 0,1539x - 305,39$ (коэффициент детерминации $R^2 = 0,976$), что показывает успешность адаптации к лимитирующим факторам среды. Затем фиксируется период отсутствия существенного прироста побегов в высоту, так как наступила фаза «плато», приблизительно с 2022 года. Однако признаков усыхания ассимилирующих органов у древостоя, достигшего 37-38-летнего возраста не было выявлено, поэтому прогнозируемая долговечность может определяться в пределах около 45-55 лет.

Многие авторы отмечают невысокую долговечность лесных насаждений по сравнению с благоприятными гидротермическими и почвенными условиями, в том числе на бурых почвах [8], объясняя сохранившиеся насаждения вяза приземистого в возрасте 57-64 года лучшими условиями произрастания в естественных микропонижениях.

Анализ солевых профилей на искусственных водосборах выявил синергетический эффект древесных насаждений и атмосферных осадков в процессе рассоления почвы. Этот эффект проявлялся наиболее ярко в годы с достаточным количеством осадков. На участке площадью 20 м² соли мигрировали на глубину 100-160 см, а на участке 60 м² – на 160-240 см. Для сравнения, на контрольном участке высокотоксичные соли оставались в верхних слоях почвы на глубине 60-120 см.

Наиболее значительные изменения в распределении солей по профилю происходили на ранних стадиях развития насаждений, в период, когда потребность растений во влаге была невелика, а избыточные осадки способствовали глубокому проникновению солей. К 20 годам средняя высота вяза приземистого составляла примерно 4,5-5,0 м, диаметр кроны – 3,5-4,5 м, а диаметр ствола на высоте 1,3 м – 19,7 см.

Анализ влияния вяза приземистого на трансформацию почвенного горизонта в микроводосборе может считаться полноценным при детальном изучении корневых систем. Особенности формирования корневой системы вяза приземистого в новых лесорастительных условиях (на искусственных водосборах) в саванновых насаждениях изучались сотрудниками Калмыцкого филиала ВНИАЛМИ (Калмыцкая НИАГЛОС – филиал ФНЦ агроэкологии РАН) [3], когда вязовые насаждения достигли двадцатилетнего возраста.

В процессе исследования корневой системы вяза приземистого были отмечены различия в ее структуре и внешнем виде в зависимости от возраста и функции корней. Старые, опорные корни (скелетные) имели темно-коричневую окраску и шероховатую поверхность. Более молодые, проводящие корни, отвечающие за транспорт воды и питательных веществ, отличались красновато-коричневым цветом и легкой шероховатостью. Мелкие, всасывающие корни были бурыми и гладкими.

При повреждении корней во время раскопок или при их разрезе наблюдалось выделение клеточного сока. Корни быстро становились влажными, что указывало на высокое внутрикорневое давление. Это давление играет ключевую роль в активном поглощении влаги из почвы и ее последующей транспортировке в надземную часть растения.

Анализ корневой системы вяза приземистого в зоне искусственного водосбора показал формирование мощной и разветвленной структуры, охватывающей всю площадь водосбора. Основная масса корней концентрировалась в месте посадки, занимая диаметр около 120 см и достигая глубины 60 см. У корневой шейки располагались 3-4 хорошо развитых скелетных корня диаметром 6-7,5 см, которые обеспечивали растению устойчивость и позволяли осваивать значительный объем почвы. От этих главных корней отходили более тонкие боковые корни диаметром до 2 см. Они активно ветвились в верхнем 20-сантиметровом слое почвы по всей площади водосбора и простирались от ствола на расстояние до 2,5 метров. Согласно исследованиям Кладиева А. К., Радочинской Л. П. [3], характерной особенностью корневой системы вяза приземистого на участках с искусственными водосборами является наличие уходящих вертикально вниз от основных скелетных корней дополнительных, имеющих диаметр 2,5-4,8 см. Эти корни достигают глубины 2,0-2,5 метра, доходя до песчаного горизонта. В этом песчаном слое корни располагаются горизонтально, практически под прямым углом. Это позволяет предположить, что в песчаной прослойке формируются хорошо развитые сети мелких всасывающих корней, которые активно поглощают влагу, перераспределенную в слоях почвы.

Таким образом, в условиях искусственного водосбора на бурых пустынно-степных суглинистых почвах, корневая система вяза приземистого развивается преимущественно в тех участках и слоях почвы, где в течение сезона накапливается дополнительная влага. Эта влага затем максимально эффективно используется растением в период вегетации. Наибольшая концентрация влаги и, соответственно, основная масса как крупных скелетных, так и мелких мочковатых корней, сосредотачивается в месте посадки [3].

Аналогичный позитивный эффект опреснения почвенных горизонтов под влиянием 30-50 летних агролесомелиоративных насаждений отмечается Сиземской М. Л. и др. [9] в глинистой полупустыне Джаныбекского научного стационара, которая выявила снижение содержания солей на 25-50 % в двухметровом слое и почти полное отсутствие засоления хлоридами, натрием в метровом слое почвы. А Панкова Е. И. и др. [10] отмечают миграцию легкорастворимых солей в нижележащие горизонты в лесомелиорированных межполосных пространствах, которые рассоляются благодаря равномерному распределению снежного покрова. Изменение солевого состава почвы выявлено в Терско-Кумском междуречье под влиянием поликомпонентных агроценозов из солеустойчивых полукустарников, где происходит существенное уменьшение водорастворимых солей хлора на 0,02-0,06 % [11].

Таблица 1 – Видовое и семейственное биоразнообразие саванного лесопастбища
Table 1 – Species and family biodiversity of savanna forest pasture

№ п/п	Семейство / Family	Название вида / Type name	Максимальное количество / The maximum number	
			шт. things	%
1	Астровые / <i>Asteraceae</i>	Бодяг полевой / <i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop., Василек раскидистый / <i>Centaurea diffusa</i> Lam., Полынь белая (П. Лерха) / <i>Artemisia lerchiana</i> Web., Полынь однопестичная / <i>Artemisia santonica</i> L., Полынь таврическая / <i>Artemisia tau- rica</i> Willd., Ромашник тысячелистниковый (пире- трум) / <i>Pyrethrum millefoliatum</i> (L.) Willd., Татар- ник колючий / <i>Onopordum acanthium</i> L., Тысяче- листник обыкновенный / <i>Achillea millefolium</i> L., Цмин песчаный / <i>Helichrysum arenarium</i> L..	9(7)*	22,5
2	Вьюнковые / <i>Convolvulaceae</i>	Вьюнок полевой / <i>Convolvulus arvensis</i> L.	1(1)	2,5
3	Гвоздичные / <i>Caryophyllaceae</i>	Гвоздика полевая / <i>Dianthus campestris</i> M.Bieb., Смолевка широколистная / <i>Silene latifolia</i> Poir	2(1)	5,0
4	Гречишные / <i>Polygonaceae</i>	Горец птичий / <i>Polygonum aviculare</i> L.	1(1)	2,5
5	Губоцветные / <i>Lamiaceae</i>	Зопник колючий (<i>Phlomis pungens</i> Willd.)	1(1)	2,5
6	Злаковые (мятликовые) / <i>Poaceae</i>	Житняк гребенчатый / <i>Agropyron cristatum</i> L., Житняк сибирский / <i>Agropyron sibiricum</i> L., Ковыль волосатик (тырса) / <i>Stipa capillata</i> L., Ковыль Лессинга / <i>Stipa lessingiana</i> Trin, Костер кровельный / <i>Bromus tectorum</i> L., Костер ржаной / <i>Bromus secalinus</i> L., Мятлик луковичный / <i>Poa bulbosa</i> L., Мятлик однолетний / <i>Poa annua</i> L., Овсяница валисская (типчак) / <i>Festuca valesiaca</i> Gaud, Овсяница овечья / <i>Festuca ovina</i> L., Пырей средний / <i>Elytrigia intermedia</i> Host	11(7)	27,5
7	Ильмовые / <i>Ulmaceae</i>	Вяз приземистый / <i>Ulmus pumila</i> L.	1(1)	2,5
8	Капустные / <i>Brassicaceae</i>	Катран татарский / <i>Crambe tataria</i> Sebeok.	1(1)	2,5
9	Кермековые	Кермек Гмелина / <i>Limonium gmelinii</i> Willd.	1(1)	2,5
10	Лютиковые / <i>Ranunculaceae</i>	Лютик полевой / <i>Ranunculus arvensis</i> L.	1(0)	2,5
11	Мальвовые / <i>Malvaceae</i>	Просвирник маленький / <i>Malva pusilla</i> Smith.	1(1)	2,5
12	Маревые / <i>Chenopodiaceae</i>	Анабазис безлистный / <i>Anabasis aphylla</i> L., Кохия веничная (иранская) / <i>Kochia scoparica</i> L., Кохия простертая (прутняк) / <i>Kochia prostrata</i> L., Солянка русская (курай) / <i>Salsola ruthenica</i> L.	4(2)	10,0
13	Мареновые / <i>Rubiaceae</i>	Подмаренник цепкий / <i>Galium aparine</i> L.	1(0)	2,5
14	Осоковые / <i>Cyperaceae</i>	Осока пустынная, песчаная / <i>Carex arenaria</i> L.	1(0)	2,5
15	Розоцветные / <i>Rosaceae</i>	Лапчатка серебристая / <i>Potentilla argentea</i> L., Лапчатка волосистая / <i>Potentilla pilosa</i> Willd.	2(2)	5,0
16	Щирицевые / <i>Amaranthaceae</i>	Щирица запрокинутая / <i>Amaranthus retroflexus</i> L.	1(1)	2,5
17	Эфедровые / <i>Ephedraceae</i>	Хвойник двухколосковый / <i>Ephedra distachya</i> L.	1(1)	2,5
		ВСЕГО / IN TOTAL	40	100,0

*в скобках указано минимальное количество представителей семейства.

*the minimum number of family members is indicated in parentheses.

Механизмом устойчивости древесных растений на засоленных почвах может являться утолщение корневых волосков, в том числе при увеличении pH [12]. Интересный факт был выявлен у *Chamaecytisus borysthenicus* на олиготрофных песках, который формировал своеобразные песчано-глинистые чехлики вокруг корневых волосков, обеспечивая растению доступной влагой [13]. Заслуживает внимания утверждение [14], что галофиты способны проявлять функцию гидравлического лифта, то есть не только поднимать воду с глубоких горизонтов, но и выделять её в сухие горизонты почвы, давая возможность произрастать другим растениям.

Детальное изучение растительного покрова саванного лесопастбища в п. Утта, показало, что его современная структура представлена разнообразными жизненными формами. На участках, где верхний ярус формируют небольшие группы вяза приземистого (по 3-4 экземпляра), сформировалось полынно-злаковое сообщество. Это сообщество в самые засушливые годы включает 22 вида, относящихся к 11 семействам. Наибольший вклад в видовой состав вносят злаки (*Poaceae*) – 36,5 %, маревые (*Chenopodiaceae*) – 13,8 %, а также сложноцветные (*Asteraceae*) и крестоцветные (*Brassicaceae*) по 9,1 % каждое. По 4,5 % приходится на гречишные (*Polygonaceae*), лютиковые (*Ranunculaceae*), свинчатковые (*Plumbaginaceae*), мареновые (*Rubiaceae*), осоковые (*Cyperaceae*), гвоздичные (*Caryophyllaceae*), эфедровые (*Ephedraceae*). Продуктивность нижнего яруса этого трехъярусного лесопастбища составляет около 130 г/м² воздушно-сухой массы, при этом фитомасса вяза приземистого не учитывалась в этих расчетах.

Мониторинговая оценка биоразнообразия показала, что в составе трехъярусного сообщества могут произрастать различные виды, которые образуют полезные хозяйственно-ботанические группы, выполняющие не только кормовую роль, но и лекарственную, почвозащитные роли. Вдали от насаждений вяза приземистого в микрофитоценозах может произрастать около 20-25 видов, которые образуют белополынно-злаковые или чернополынно-злаковые сообщества. Учитывая высокую фитоценотическую и экологомелиоративную роль древесных насаждений было отдельно проведено геоботаническое обследование искусственных микроводосборов, включая территории с погибшими вязами. Отличительной особенностью растительного покрова в микропонижениях является более высокое проективное покрытие и густота, а также доминирование разнотравья и представителей семейства *Poaceae*, которые образуют устойчивые злаково-разнотравные микрофитоценозы. В таблице 1 представлен видовой состав, который был выявлен в различные годы, различающиеся по гидротермическому режиму. Сводный список включает виды, которые не являются постоянными представителями и встречаются единично в растительном покрове, что объясняется заносом семян с соседних территорий, а также наличием семян в почвенной толще.

Как ранее отмечалось, на участках с микроводосборными площадями размером 50-60 м² наиболее хорошо сформировавшиеся экземпляры вяза приземистого достигают высоты 5,5-6,0 м. Дополнительная влага, накапливающаяся в местах их произрастания, позволяет деревьям успешно переживать засушливые и жаркие периоды. Детальное изучение микрогруппировок вяза выявляет их положительное биомелиоративное воздействие на лесопастбищную экосистему. Неоднократно отмечалось, что в полуденный зной одно такое дерево может служить убежищем и местом гнездования для сотен птиц (например, степных ткачиков, воробьев), а также обеспечивать тень для 8-15 голов крупного рогатого скота. В некоторых частях саванного лесопастбища, на небольших возвышенностях, до сих пор преобладают заросли ежовника безлистного. Это растение, произрастающее на сильно засоленных почвах, является ядовитым. На соседних территориях, где не проводились лесомелиоративные работы, доминируют ассоциации чернополынно-злаковых растений. Эти сообщества отличаются низкой продуктивностью (118,3 г/м²), такие участки малоприспособлены для животных из-за высокого уровня засоления почвы и недостатка кормовых растений.

Заключение. Таким образом, в результате исследований, подтверждена возможность создания саванных лесопастбищ (авторское свидетельство 1572440, 1990) в Республике Калмыкия. Лесомелиоративная технология реализуется на бурых засоленных почвах с использованием искусственных и естественных водосборов, где формируются устойчивые насаждения *Ulmus pumila* L. Оптимальная площадь водосбора составляет 40-60 м², на которой предусматривается 3-4 места для посадки крупномерных растений. Поверхность водосбора имеет округлую форму с максимальным углублением в центре для эффективного накопления влаги. Улучшение условий для роста деревьев достигается за счет рыхления уплотненного слоя почвы на

глубине около 60 см. Активное перемещение токсичных хлористых солей в более глубокие слои почвы происходит не только благодаря атмосферным осадкам, но и под воздействием корневых систем вяза приземистого. К 38-40 годам эти деревья достигают высоты 5,5-6,0 м. К 20 годам их корневые системы проникают на глубину песчаного слоя – 2,5 м, формируя многоярусную структуру. Эколого-мелиоративное состояние саванного лесопастбища, характеризуется стабильностью, более богатым видовым составом растений, высокой продуктивностью, по сравнению с немелиорированными участками и способствует созданию благоприятных условий для обитания птиц и животных.

Conclusions. Thus, the research confirmed the feasibility of creating savannah forest pastures (Author's Certificate 1572440, 1990) in the Republic of Kalmykia. The forest-reclamation technology is implemented on brown saline soils using artificial and natural catchments, where sustainable plantations of *Ulmus pumila* L. are formed. The optimal watershed area is 40-60 m², with 3-4 planting sites for large-sized trees. The watershed surface is rounded with a maximum depression in the center for efficient moisture accumulation. Improved conditions for tree growth are achieved by loosening the compacted soil layer to a depth of approximately 60 cm. The active movement of toxic chloride salts into deeper soil layers occurs not only due to precipitation but also under the influence of the Siberian elm's root systems. By the age of 38-40, these trees reach a height of 5.5-6.0 meters. By the age of 20, their root systems penetrate to a depth of 2.5 meters below the sand layer, forming a multi-layered structure. The ecological and meliorative state of the savanna forest pasture is characterized by stability, a richer plant species composition, and high productivity compared to unimproved areas, and contributes to the creation of favorable habitats for birds and animals.

Библиографический список

1. Петров В. И., Воронина В. П. Лесопастбищные экосистемы Северо-Западного Прикаспия и конструирование устойчивых ценозов. Вестник Московского государственного университета леса. 2008. № 2. С. 30-35.
2. Абдуллаев И. А. Рост и состояние защитных лесных насаждений на засоленных почвах. Лесное хозяйство. 2005. № 3. С. 45-47.
3. Воронина В. П., Вдовенко А. В. Влияние саванных насаждений на почвенно-растительный покров аридных пастбищ. Сб. тр. Научное обоснование стратегии цифрового развития АПК и сельских территорий. Волгоград, 2025. С. 126-131.
4. Кузьмина Ж. В., Трешкин С. Е. Влияние климатических флуктуаций и способов посадки галофитных кустарников на результаты фитомелиорации солончаков Приаралья. Аридные экосистемы. 2010. Т. 16. № 3 (43). С. 67-76.
5. Толкач О. В., Залесов С. В., Фрейберг И. А. Архитектоника корневой системы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в лесных культурах на солонцах в лесостепном Зауралье. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2019. Вып. 227. С. 134-148.
6. Манаенков А. С., Рыбашлыкова Л. П., Сивцева С. Н., Маховикова Т. Ф. Лесопастбищное освоение опустыненных земель Прикаспия. Аридные экосистемы. 2023. Т. 29. № 1 (94). С. 15-24.
7. Новикова А. Ф., Конюшкова М. В., Контбойцева А. А. Изменение свойств солонцов Приергенинской равнины Калмыкии в условиях лесомелиорации в результате длительного антропогенного воздействия. Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2011. Вып. 69. С. 87-101.
8. Лепеско В. В., Рыбашлыкова Л. П. Особенности роста вяза приземистого на бурых почвах Астраханской полупустыни. Известия вузов. Лесной журнал. 2022. № 3. С. 119-129.
9. Сиземская М. Л., Колесников А. В., Котельников Н. А., Сапанов М. К. Динамика почвенно-гидрологических условий глинистой полупустыни Северного Прикаспия. Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2025. Т. 80. № 1. С. 98-106.
10. Панкова Е. И. и др. Современные тренды развития почв солонцовых комплексов на юге степной и в полупустынной зонах в природных условиях и при антропогенных воздействиях. Экосистемы: экология и динамика. 2019. Т. 3. № 2. С. 44-88.
11. Усманов Р. З., Бабаева М. А., Осипова С. В. Адаптивный потенциал пастбищных фитоценозов к засоленной среде и влияние их на динамику плодородия светло-каштановой почвы в условиях естественного увлажнения. Сельскохозяйственная экология. Юг России: экология, развитие. 2010. № 3. С. 122-128.
12. Yingtong Zhou et al. Morphological responses of root hairs to changes in soil and climate depend on plant life form. Front. For. Glob. Change, Forest Ecology and physiology. 2024. V. 7.
13. Воронина В. П., Шубнова М. В., Вдовенко А. В. Биогеоценоотическая роль *Chamaecytisus borysthenticus* на песках Нижнего Поволжья. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 3 (59). С. 79-91.
14. Шамсутдинова Э. З. и др. Особенности формирования корневой системы у некоторых кормовых полукустарниковых и кустарниковых галофитов в предгорной пустыне Узбекистана. Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57. № 1. С. 27-43.

References

1. Petrov V. I., Voronina V. P. Forest-pasture ecosystems of the North-Western Caspian region and the establishment of stable cenoses. Bulletin of the Moscow State University of Forests. 2008. No 2. Pp. 30-35.
2. Abdullaev I. A. Growth and condition of protective forest plantations on saline soils. Forestry. 2005. No 3. Pp. 45-47.
3. Voronina V. P., Vdovenko A. V. The Influence of Savannah Plantations on the Soil and Vegetation Cover of Arid Pastures. Collection of Papers. Scientific Justification of the Strategy for Digital Development of the Agro-Industrial Complex and Rural Areas. Volgograd, 2025. Pp. 126-131.

4. Kuzmina Zh. V., Treshkin S. E. The influence of climatic fluctuations and methods of planting halophytic shrubs on the results of phytomelioration of salt marshes of the Aral Sea region. *Arid ecosystems*. 2010. V. 16. No 3 (43). Pp. 67-76.
5. Tolkach O. V., Zalesov S. V., Freiberg I. A. Architectonics of the root system of the common pine (*Pinus sylvestris* L.) in forest crops on salt flats in the forest-steppe Trans-Urals. *Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy*. 2019. Issue 227. Pp. 134-148.
6. Manaenkov A. S., Rybashlykova L. P., Sivtseva S. N., Makhovikova T. F. Pasture development of the desolate lands of the Caspian Sea. *Arid ecosystems*. 2023. V. 29. No 1 (94). Pp. 15-24.
7. Novikova A. F., Konyushkova M. V., Kontoboitseva A. A. Changes in the properties of saline of the Priergensky plain of Kalmykia under conditions of forest reclamation as a result of prolonged anthropogenic impact. *Bulletin of the V. V. Dokuchaev Soil Institute*. 2011. I. 69. Pp. 87-101.
8. Lepesco V. V., Rybashlykova L. P. Features of the growth of squat elm on brown soils of the Astrakhan semi-desert. *Forest magazine*. 2022. No 3. Pp. 119-129.
9. Sizemskaya M. L., Kolesnikov A. V., Kotelnikov N. A., Sapanov M. K. Dynamics of soil and hydrological conditions of the clay semi-desert of the Northern Caspian Sea. *Bulletin of the Moscow University. Episode 17. Soil science*. 2025. V. 80. No 1. Pp. 98-106.
10. Pankova E. I. et al. Modern trends in the development of soils of salt-bearing complexes in the south of steppe and semi-desert zones in natural conditions and under anthropogenic influences. *Ecosystems: Ecology and Dynamics*, 2019. V. 3. No 2. Pp. 44-88.
11. Usmanov R. Z., Babayeva M. A., Osipova S. V. Adaptive potential of pasture phytocenoses to saline environment and their influence on the dynamics of fertility of light chestnut soil in conditions of natural moisture. *Agricultural ecology. Agricultural ecology of the South of Russia: ecology, development*. №3, 2010 The South of Russia: ecology, development. 2010. No 3. Pp. 122-128.
12. Yingtong Zhou et al. Morphological responses of root hairs to changes in soil and climate depend on plant life form. *Front. For. Glob. Change, Forest Ecology and physiology*. 2024. V. 7.
13. Voronina V. P., Shubnova M. V., Vdovenko A. V. The biogeocenotic role of *Chamaecytisus borysthenicus* on the sands of the Lower Volga region. *Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and higher professional education*. 2020. No 3 (59). Pp. 79-91.
14. Shamsutdinova E. Z. et al. Features of root system formation in some forage semi-shrubby and shrubby halophytes in the foothill desert of Uzbekistan. *Agricultural Biology*. 2022. V. 57. No 1. Pp. 27-43.

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

Вдовенко Анастасия Васильевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр., 26), ORCID 0000-0003-2253-3783, e-mail: anastasiya.vdovenko@mail.ru

Кладиев Александр Кузьмич, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр., 26).

Authors' Information

Voronina Valentina Pavlovna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agroecology and Forest Reclamation of Landscapes, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26) ORCID: 0000-0002-3441-5314, e-mail: v.p.voronina@mail.ru

Vdovenko Anastasia Vasilievna, Candidate of Agricultural Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), ORCID 0000-0003-2253-3783, e-mail: anastasiya.vdovenko@mail.ru.

Kladiev Alexander Kuzmich, senior researcher, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26).

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-04

THE IRRIGATION WATER NEEDS ASSESSMENT FOR THE NURSERIES OF FRUIT CROPS, ORNAMENTAL CROPS AND GRAPES¹Grigorov S. M., ¹Karnjuhin V. V., ²Kurapina N. V.¹Volgograd State Agricultural University²All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography Srednevoljskij branch
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: n.kurapina@mail.ru

Received 15.11.2025

Submitted 04.02.2026

Summary

The article presents the results of the 16th year research in assessing evapotranspiration of vines, sweet cherries and ornamental shrubs. It is recommended to for the production of standard seedlings of European grape varieties, the average annual need for irrigation water use up to 60 liters per plant, Amur hybrids – 45 liters, fruit crops – up to 80, ornamental crops – 56 liters per plant. In years with different moisture availability, it is necessary to make adjustments in the direction of increasing demand in dry years or decreasing in wet years.

Abstract

Introduction. Domestic horticulture is faced with the task of increasing the area of both industrial gardens and vineyards, as well as landscaping facilities from several hundred to 20...25 thousand hectares per year. To solve these problems, nurseries of tree and shrub crops are being established using various technolo-

gies. Assessing the irrigation water needs of nurseries in order to ensure uninterrupted supply is an important practical task. **Object.** Harvested cuttings of European and Amur grape varieties, as well as cherry oculants were planted in open ground nurseries, cuttings of ornamental shrubs were placed in containers for rooting. **Materials and methods.** Drip irrigation systems with dropper discharge from 1.6 to 2.4 l/h were used for irrigation. Soil moisture was determined using the irrometers, which were calibrated using the thermostatic-weight method. Observations, records and measurements in experiments were carried out in compliance with the requirements of experimental methods (B. A. Dospekhov, 1979, 1985, Scientific Research Institute named after Ya. I. Potapenko and Scientific Research Institute of the irrigated agriculture). Irrigation rates and evapotranspiration were calculated taking into account the proportions of the moistened and non-moistened area. **Results and conclusion.** Even with normal or excessive moisture during the growing season, decays with insufficient moisture supply are observed, which negatively affects the quality characteristics of the planting material. Container technology using various substrates or solutions for rooting cuttings is increasingly being used in the practice of decorative nursery farming. At the planning stage of establishing nurseries for fruits, ornamental crops and grapes, regardless of the chosen cultivation technology, an assessment of the need for irrigation water should be carried out, taking into account the periods of maximum water consumption. The coordination of needs and periods of maximum water consumption in irrigation systems will help to avoid interruptions in the water supply to nurseries. The method of multi-criteria optimization in water distribution is applicable to nurseries. As a result of many years of research, it has been revealed that for the production of standard seedlings of European grape varieties, the average annual need for irrigation water is up to 60 liters per plant, Amur hybrids – 45 liters, fruit crops – up to 80, ornamental crops – 56 liters per plant. In years with different moisture availability, it is necessary to make adjustments in the direction of increasing demand in dry years or decreasing in wet years. In order to save irrigation water, soil mulching should be used in nurseries, and container culture should use container placement in beds of mulching materials. In some cases, optimization of water consumption is achieved by regulating phosphorus nutrition, fertigation with moderate doses of fertilizers and low irrigation doses. Reservoir technologies for collecting moisture during wet periods and spending it during dry periods, as well as alternating moistening of root system zones, deserve attention.

Keywords: irrigation standards, fruit crop nurseries, ornamental crops, drip irrigation of grapes, and irrigation of park plantations.

Citation. Grigorov S. M., Karnjuhin V. V., Kurapina N. V. The irrigation water needs assessment for the nurseries of fruit crops, ornamental crops and grapes. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 41-51 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-04.

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 631.671:634.1.03

ОЦЕНКА ПОТРЕБНОСТИ В ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЕ ПИТОМНИКОВ ПЛОДОВЫХ, ДЕКОРАТИВНЫХ КУЛЬТУР И ВИНОГРАДА

¹Григоров С. М., доктор технических наук, профессор

¹Карнюхин В. В., аспирант

²Курапина Н. В., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

²Средневолжский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («Средневолжский»)
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Перед отечественным садоводством ставятся задачи увеличения площадей как промышленных садов и виноградников, так и объектов озеленения от нескольких сотен до 20-25 тыс. га в год. Для решения этих задач закладываются питомники древесно-кустарниковых культур по различным технологиям. Оценка потребности питомников в оросительной воде с целью бесперебойного обеспечения является важной практической задачей. **Объект.** Заготовленные черенки винограда европейских и амурских сортов, а также окулянты черешни высаживались в школки открытого грунта, черенки декоративных кустарников высаживались в контейнеры для укоренения. **Материалы и методы.** Для полива применялись системы капельного орошения с выливом капельниц от 1,6 до 2,4 л/ч. Влажность почвы определяли с помощью иррометров, которые тарировали по термостатно-весовому методу. Наблюдения, учеты и измерения в опытах выполняли с соблюдением требований методик опытного дела (Б. А. Доспехов, 1979, 1985, ВНИИВиВ им. Я. И. Потапенко и ВНИИОЗ). Поливные нормы и эвапотранспирация рассчитывались с учетом долей увлажняемой и неувлажняемой площади. **Результаты и выводы.** Даже при нормальном или избыточном увлажнении в течение вегетации наблюдаются декады с недостаточной влагообеспеченностью, что негативно сказывается на качественных характеристиках посадочного материала. В практике декоративного питомниководства все чаще применяется контейнерная технология с использованием различных субстратов или растворов для укоренения черенков. На этапе планирования создания питомников пло-

довых, декоративных культур и винограда, независимо от выбранной технологии выращивания, следует проводить оценку потребности в оросительной воде с учетом периодов максимального водопотребления. Согласование потребностей и периодов максимального водопотребления на оросительных системах поможет избежать перебоев в водоснабжении питомников. Метод многокритериальной оптимизации при водораспределении применим в отношении питомников. В результате многолетних исследований выявлено, что для получения стандартных саженцев винограда европейских сортов среднегодовая потребность в оросительной воде составляет до 60 л на одно растение, амурских гибридов – 45, плодовых культур – до 80, декоративных – 56 л на одно растение. В годы с различной влагообеспеченностью необходимо делать поправки в сторону увеличения потребности в засушливые годы или уменьшения во влажные. С целью экономии поливной воды в питомниках следует применять мульчирование почвы, в контейнерной культуре – размещение контейнеров в грядах из мульчирующих материалов. В ряде случаев оптимизация водопотребления достигается регулированием фосфорного питания, фертигацией умеренными дозами удобрений и малыми поливными дозами. Заслуживают внимания резервуарные технологии для сбора влаги во влажные периоды и расходования в сухие, а также попеременное увлажнение зон корневой системы.

Ключевые слова: оросительные нормы, питомники плодовых культур, декоративные культуры, капельное орошение винограда, орошение парковых насаждений.

Цитирование. Григоров С. М., Карнюхин В. В., Курапина Н. В. Оценка потребности в оросительной воде питомников плодовых, декоративных культур и винограда. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 41-51. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-04.

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. Продуктивность промышленных садов, виноградников и декоративные свойства парковых насаждений зависят от степени развития саженцев, используемых для их закладки. Современные метрологические требования, предъявляемые к саженцам, отражены в отраслевом стандарте. Однако помимо высоких биометрических показателей, на момент посадки у саженцев должно быть достаточное ветвление, нормальная длина междоузлий, отчетливо наметившаяся дифференциация почек, запас пластических веществ для активного роста.

Расход воды на получение саженцев напрямую связан с технологией их выращивания. Увеличение плотности посадки подвоев и черенков в промышленных питомниках, переход на технологию возделывания горизонтальных отводковых маточников с высокой плотностью отводков на выходе приводит к повышению потребности питомника в оросительной воде и элементах питания [1]. Даже в зоне избыточного увлажнения в течение вегетации наблюдаются декады с чрезмерной или недостаточной влагообеспеченностью, которые зачастую совпадают с критическими фазами развития саженцев, когда растения особенно сильно нуждаются в оптимальном увлажнении корнеобитаемого слоя для нормального роста и развития. Таким образом, проблема недостаточного увлажнения решается поливом, а избыточного – возведением осушительной сети. В наши дни наиболее актуальными становятся системы двустороннего регулирования [2].

В практике декоративного питомниководства все чаще применяется контейнерная технология с использованием различных субстратов или растворов для укоренения черенков. Так, К. S. Allen и др. указывают, что водопотребление в питомнике декоративных культур зависит от метода их выращивания: в полевых условиях, традиционных пластиковых контейнерах, контейнерах типа «горшок в горшке», тканевых контейнерах. Саженцы, выращиваемые в поле, характеризуются меньшей потребностью в оросительной воде по сравнению с контейнерными [3].

Целью исследований являлась оценка потребности питомников плодовых, декоративных культур и винограда в оросительной воде на протяжении периода вегетации и в целом за весь период для получения саженцев, соответствующих требованиям государственных стандартов.

Материалы и методы. В процессе планирования и проведения исследований применяли аналитический метод в рамках системного подхода. Оценка потребности питомников в оросительной воде проводили на основе сравнения данных о суммарном и среднесуточном водопотреблении, полученных нами на опытных участках Волгоградской области в период с 2007 по 2024 гг. [4, 5, 6, 7, 8]. Климат территории умеренно континентальный, за-

сушливый. Характерной особенностью района исследований, затрудняющей получение качественного посадочного материала, является низкая относительная влажность воздуха и небольшое количество осадков в период вегетации, среднемноголетние значения ГТК находятся в пределах 0,6-0,7.

Днем температура воздуха в июле и августе достигает отметок 36-38 °С, температурный максимум 44 °С. Минимальные температуры воздуха фиксируются в январе и феврале на уровне -17...-24 °С, абсолютный минимум -43 °С. Относительная влажность воздуха в летний период опускается до 14 %, зимой колеблется в среднем в пределах 50-60 % [9].

Почвенные условия опытных участков в г. Волгограде и Дубовском районе Волгоградской области были схожими и обладали общими чертами: малой мощностью пахотного горизонта (0,15-0,18 м) и низким содержанием гумуса (1,35-1,73 %), высокой комплексностью. Солонцовые комплексы характеризовались щелочной реакцией среды. Обеспеченность почвы минеральным азотом низкая (1,9-2,2 мг/100 г почвы); подвижным фосфором низкая (0,79-0,89 мг/100 г почвы); обменным калием средняя (21,0-30,0 мг /100 г почвы). На всех участках почва была плотной: плотность сложения почвы в метровом слое от 1,15 до 1,34 т/м³, с максимальным значением в горизонте 0,8-1,0 м. Наименьшая влагоемкость – 18,3-22,5 % массы абсолютно сухой почвы. Подземные воды на глубинах свыше 5,0 м.

Суть экспериментальных исследований в питомниках заключалась в постановке двухфакторных полевых опытов, где фактором А выступало регулирование водного режима почвы, а фактором В – минерального. В опытах устанавливали пороговые режимы увлажнения, начиная от порога 70-75 % НВ до 85-90 %. В некоторые годы при резком снижении относительной влажности в начале лета применяли микродождевание для регулирования микроклимата [10].

Орошение питомников в полевых условиях имеет следующие характерные особенности:

1) дифференциация поливных режимов по глубине увлажняемого слоя. В начале периода укоренения увлажняемый слой меньше, чем в завершении этапа роста. Максимальная глубина увлажняемого слоя в наших опытах составляла 0,4 и 0,6 м, минимальная 0,2 и 0,4 м;

2) дифференциацию поливов приурочивают к трем периодам в течение одного сезона вегетации саженцев: первый период – адаптация окулянта и подвоя (плодовые культуры) или укоренения (виноград и декоративные культуры), второй – активное формирование вегетативной и корневой массы растений и третий – переход к периоду покоя.

Объекты изучения, местоположение опытов, объемы высадки и характеристики годов проведения исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Объекты и годы исследований по оценке потребности питомников в оросительной воде
Table 1 – Objects and years of research to assess irrigation water needs of nurseries

№ п/п	Объект исследования / Object of research	Место проведения исследований / Place of research conduction	Годы / Years	Характеристика года по условиям увлажнения, ГТК / Characteristics of the year under humidification conditions, hydro-thermal ratio (HTR)	Объем высадки, шт./га / Planting volume, ps./ha
1	2	3	4	5	6
В открытом грунте / Outside					
1	Виноград европейский / <i>Vitis vinifera</i>	Дубовский р-н / Dubovskij district	2007	Засушливый (ГТК = 0,6) / Arid (HTR = 0,6)	142 000
			2008	Средне-влажный (ГТК = 0,8) / Medium wet (HTR = 0,8)	
			2009	Засушливый (ГТК = 0,7) / Arid (HTR = 0,7)	
			2010	Сухой (ГТК = 0,5) / Dry (HTR = 0,5)	
2	Виноград европейский / <i>Vitis vinifera</i>	г. Волгоград / Volgograd	2013	Влажный (ГТК = 1,0) / Wet (HTR = 1,0)	200 000
			2014	Засушливый (ГТК = 0,6) / Arid (HTR = 0,6)	
			2015	Слабо засушливый (ГТК = 0,7) / Slightly arid (HTR = 0,7)	

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6
3	Виноград амурский / <i>Vitis amurensis</i>	г. Волгоград / Volgograd	2016	Умеренно влажный (ГТК = 1,0) / Moderately humid (HTR = 1,0)	90 000
			2017	Засушливый (ГТК = 0,6) / Arid (HTR = 0,6)	
			2018	Сухой (ГТК = 0,5) / Dry (HTR = 0,5)	
4	Черешня сорт Василиса (подвой вишня Антипка) / Cherry variety Vasilisa (rootstock Antipka cherry)	Дубовский р-н / Dubovskij district	2017	Засушливый (ГТК = 0,6) / Arid (HTR = 0,6)	45 000
			2018	Сухой (ГТК = 0,5) / Dry (HTR = 0,5)	
			2019	Слабо засушливый (ГТК = 0,7) / Slightly arid (HTR = 0,7)	
			2020	Сухой (ГТК = 0,3) / Dry (HTR = 0,3)	
В горшках C2,6 / In pots C2,6					
5	Самшит колхидский / <i>Buxus colchica</i> Rojark Вейгела гибридная / <i>Weigela hybrida</i> Пузыреплодник калинолистный / <i>Physocarpus</i> <i>opulifolius</i> (L.)	г. Волгоград / Volgograd	2021	Засушливый (ГТК = 0,6) / Arid (HTR = 0,6)	13 360
			2022	Сухой (ГТК = 0,4) / Dry (HTR = 0,4)	
			2023	Очень сухой (ГТК = 0,3) / Extremely dry (HTR = 0,3)	
			2024	Сухой (ГТК = 0,4) / Dry (HTR = 0,4)	

Для полива применялись системы капельного орошения с выливом капельниц от 1,6 до 2,4 л/ч. Влажность почвы определяли с помощью иррометров, которые тарировали по термостатно-весовому методу. Наблюдения, учеты и измерения в опытах выполняли с соблюдением требований методик опытного дела (Б. А. Доспехов, 1979, 1985, ВНИИВиВ им. Я. И. Потапенко и ВНИИОЗ).

Высадку заготовленных черенков винограда длиной от 18 до 45 см, декоративных культур длиной от 8 до 16 см для получения корнесобственных саженцев проводили в весенний период (май). Виноград – по черной пленке в заранее увлажненную капельным способом почву на расстоянии для европейских сортов 0,10 м, амурских гибридов – 0,07 м. Декоративные культуры – в горшки 2,6 л диаметром 18 см. Горшки выставляли в рядки со строчками по 5 горшков на расстоянии 0,3 м друг от друга. Между рядами оставляли технологический проход 1 м.

В период вызревания древесины поливы питомников прекращали, а в горшечной культуре – удлиняли межполивные периоды. Обязательным условием получения саженцев высшего сорта является применение удобрений, а также стимуляторов корнеобразования и роста. В наших исследованиях применялась фертигация с фазы образования третьего листа с интервалом 2 недели азотно-фосфорными удобрениями: карбамидом в дозе 10 кг/га и ортофосфорной кислотой в дозе 5 кг д.в./га, а также добавление жидких удобрений, агрохимикатов и стимуляторов: Интермаг Калий 300, Изабион, Рутер Био, Мастер.

Поливные нормы рассчитывали по формуле А. Н. Костякова, в модификации для капельного орошения – И. П. Кружилина, Е. А. Ходякова и др.

$$m_{\text{нетто}} = 100 \cdot h \cdot \alpha \cdot S \cdot (\beta_{\text{нв}} - \beta_{\text{пп}}), \quad (1)$$

где $m_{\text{нетто}}$ – фактическая поливная норма, выданная системой капельного орошения, м³/га; h – глубина увлажняемого слоя почвы, м; α – плотность расчетного слоя почвы, т/м³; S – доля площади, увлажняемой при поливе; $\beta_{\text{нв}}$ – наименьшая влагоемкость расчетного слоя почвы, % массы абсолютно сухой почвы; $\beta_{\text{пп}}$ – предполивной порог влажности расчетного слоя почвы, % массы сухой почвы.

Суммарное водопотребление определяли методом водного баланса по формуле А. Н. Костякова отдельно для увлажняемой и не увлажняемой поливами площади, полученные результаты суммировались:

$$E_{\text{увл}} = M + (10\mu P + \Delta W) \cdot S_{\text{увл}}, \quad (2)$$

$$E_{\text{неувл}} = (10\mu P + \Delta W) \cdot S_{\text{неувл}}, \quad (3)$$

$$E = E_{\text{увл}} + E_{\text{неувл}} \quad (4)$$

где E – суммарный расход влаги с увлажняемых поливами полос, $\text{м}^3/\text{га}$; M – оросительная норма, $\text{м}^3/\text{га}$; P – сумма выпавших за расчетный период осадков, мм; μ – коэффициент полезного использования осадков, доля единицы; ΔW – изменение запасов почвенной влаги за расчетный период времени, $\text{м}^3/\text{га}$; $S_{\text{увл, неувл}}$ – доля увлажняемой и неувлажняемой поливами площади [11].

Результаты и обсуждение. Существенное влияние на составляющие режимов орошения, а значит и потребность в оросительной воде оказывали погодные условия, складывавшиеся в период выращивания саженцев. Так, среднегодовое количество поливов в опытах варьировало в грунте от 11 до 34 при поливных нормах от 50 до 200 $\text{м}^3/\text{га}$. В горшечной культуре декоративных кустарников при поливной норме 10 $\text{м}^3/\text{га}$ за сезон потребовалось в среднем 43 полива. Самые высокие оросительные нормы наблюдались в питомниках европейского винограда (*Vitis vinifera*) от 3325 до 4600 $\text{м}^3/\text{га}$. Для амурского винограда средняя оросительная норма 1850 $\text{м}^3/\text{га}$, что можно объяснить высокой энергией роста молодых побегов с нерассеченными листьями, которые пологом накрывают грунт, сокращая тем самым испарение с поверхности почвы (таблица 2). В виноградо-винодельческом регионе «Нижняя Волга» сорта и гибриды на основе амурского винограда, способные выдерживать комплекс неблагоприятных факторов резко континентального климата без зимнего укрытия, являются фундаментом формирования сортимента для отрасли виноделия и одновременно мелиоративной культурой, которую в уплотненных посадках без зимнего укрытия можно выращивать на легких эрозионно-опасных грунтах для защиты почв от водной и ветровой эрозии. Посадочный материал сортов образцов, созданных на основе амурского винограда, пользуется спросом, поэтому проблема увеличения выхода стандартных корнесобственных саженцев из школки открытого грунта является актуальной.

Таблица 2 – Режимы орошения и оросительные нормы, обеспечивающие максимальный выход саженцев высшего сорта из питомников
Table 2 – Irrigation modes and irrigation norms that ensure maximum yield of high-quality seedlings from nurseries

№ п/п	Объект исследования / Object of research	Режим орошения и поливная норма, $\text{м}^3/\text{га}$ / Irrigation mode and irrigation rate, m^3/ha	Среднее количество поливов, шт. / Average number of watering, num.	Оросительная норма, $\text{м}^3/\text{га}$ / Irrigation norm, m^3/ha
1	Виноград европейский / <i>Vitis vinifera</i> (2007-2010 гг.)	85-90 – 70-75 % НВ / 125-200	24	3325
2	Виноград европейский / <i>Vitis vinifera</i> (2013-2015 гг.)	90-80-70 % НВ / 110-150-200	34	4600
3	Виноград амурский / <i>Vitis amurensis</i> (2016-2018 гг.)	80-85 – 65-70 % НВ / 125-200	11	1850
4	Черешня сорт Василиса (подвой вишня Антипка) / Cherry variety Vasilisa (rootstock Antipka cherry) (2017-2020 гг.)	80(0,2 м) – 80(0,4 м) – 70 % НВ / 50-100-160	21	2200
5	Декоративные кустарники в горшках / Ornamental shrubs in pots (2021-2024 гг.)	85-75 % НВ / 10 $\text{м}^3/\text{га}$	43	430

В результате многолетних исследований был получен обобщающий показатель, характеризующий потребность культуры в воде, – коэффициент эвапотранспирации. Знание этого показателя помогает производству ориентироваться на запланированные объемы выращивания посадочного материала и рассчитывать потребность в оросительной воде. Суммарное водопотребление, выход саженцев и коэффициенты эвапотранспирации для укореняющихся черенков винограда, декоративных кустарников и окулянтов черешни приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Суммарное водопотребление, максимальный выход саженцев и коэффициенты эвапотранспирации в питомниках

Table 3 – Total water consumption, maximum yield of seedlings and evapotranspiration coefficients in nurseries

№ п/п	Объект исследования / Object of research	Суммарное водопотребление, м ³ /га / Total water consumption, m ³ /ha	Максимальный выход саженцев, шт. / Maximum seedling yield, num.	Коэффициент эвапотранспирации, м ³ /шт. / Evapotranspiration coefficient, m ³ /ps.
1	Виноград европейский / <i>Vitis vinifera</i> (2007-2010 гг.)	3600	99400	0,036
2	Виноград европейский / <i>Vitis vinifera</i> (2013-2015 гг.)	6640	110100	0,060
3	Виноград амурский / <i>Vitis amurensis</i> (2016-2018 гг.)	3050	67500	0,045
4	Черешня / Sweet cherry (2017-2020 гг.)	3150	40340	0,080
5	Декоративные кустарники в горшках / Ornamental shrubs in pots (2021-2024 гг.)	750	13360	0,056

Согласно данным таблицы 2, при планировании закладки питомника винограда европейских сортов следует ориентироваться на потребность в оросительной воде при максимально возможном выходе стандартных саженцев от 36 до 60 л на 1 растение, амурских гибридов – в среднем 45 л на 1 растение. При закладке питомника плодовых культур (черешни) потребность в оросительной воде составляет 80 л на 1 растение, декоративных – в среднем 56 л на 1 растение.

Для ориентирования в годы с различной влагообеспеченностью нами был построен график зависимости оросительной нормы (м³/га) от ГТК года и выхода стандартных саженцев в эти годы для изучаемых культур (рисунок 1). Для европейского винограда данные опытов 2007-2010 и 2013-2015 гг. усреднялись.

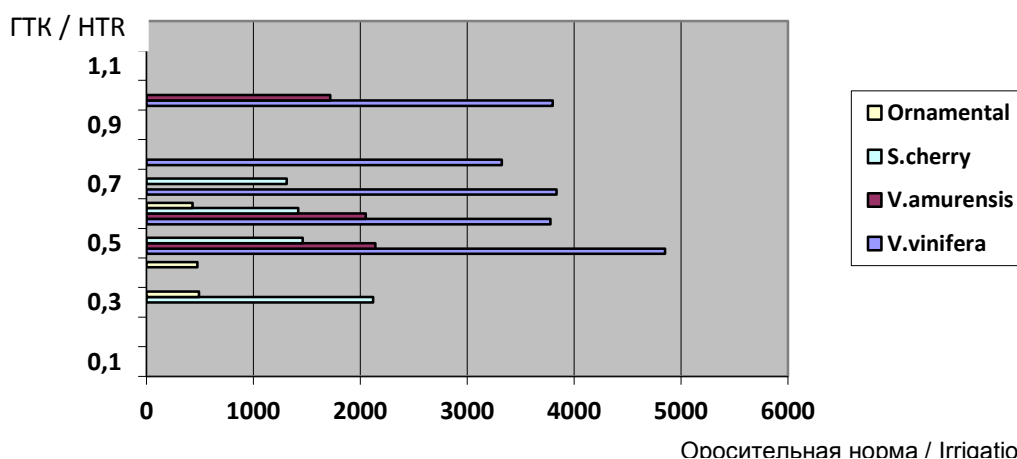


Рисунок 1 – Зависимость оросительной нормы (м³/га) от ГТК года и выхода стандартных саженцев
Figure 1 – Dependence of the irrigation rate (m³/ha) on the GTC of the year and the yield of standard seedlings

Согласно рисунку 1, при увеличении ГТК года оросительная норма снижается, однако в отдельные годы снижения может не происходить, поскольку среднемесячное значение ГТК значительно ниже годового. Полученные данные соответствуют результатам опытов, проведенных авторами [12, 13] в период с 2011 по 2022 г. на саженцах сливы малыми поливными нормами от 35 до 50 м³/га. Лучшие результаты по выходу стандартных саженцев были получены на сходных режимах орошения (80-100 и 60-70 % НВ). Наибольшая интенсивность водопотребления была зафиксирована в первые декады вегетационного периода, к его окончанию величина этого показателя снижалась. Авторы пришли к выводу, что

при капельном поливе саженцев основная доля в суммарном водопотреблении приходится на поступление влаги с осадками (64 %) и оросительной нормой (24 %). Проведение систематических поливов капельным способом малыми нормами обеспечивало поддержание влажности почвы на заданных условиях опыта уровнях. Поддержание относительно стабильной влажности почвы позволило уменьшить влияние стрессовых условий на окулянты сливы, возникающих в результате сильного колебания влажности почвы, периодического иссушения и увлажнения.

Важной практической задачей в питомниководстве остается поиск путей снижения потребности в оросительной воде. Ряд ученых подчеркивают, что в условиях контейнерной культуры добиться снижения расхода воды на полив гораздо легче, чем в открытом грунте. Так, в контейнерной технологии выращивания посадочного материала древесных декоративных культур помогает обеспечить оптимальный режим температуры и влажности субстрата размещение контейнеров в грядах из измельченной сосновой коры высотой 0,2-0,3 м, которая одновременно является основным компонентом почвенной смеси, помещаемой в контейнеры. Под слоем измельченной коры располагается гравийная площадка, поверх которой расстелен геотекстиль. При этом тип почвы на площадке не имеет значения. Независимо от количества выпадающих осадков, в питомниках устраивают капельный полив с примерным часовым расходом капельниц около 2 л/ч. При схеме расстановки контейнеров в гряды шириной 1,0 м с междурядьем 0,7 м на 1 га размещается около 100 тыс. саженцев в зависимости от типа контейнера. Объем подачи оросительной воды на контейнер 6 л за один полив составляет от 2 до 3 л, таким образом, поливная норма варьирует в пределах 200-300 м³/га. В жаркий период года поливы осуществляются через день [14].

Как и в наших опытах, исследования по выращиванию саженцев сосны массонской (*Pinus massoniana* Lamb.) в субтропическом и тропическом поясе Китая, где эта культура является мелиоративной, показали, что координация обеспечения водой и элементами питания – ключевой момент оптимального водопотребления. Оценку проводили на основе комплексного индекса роста (comprehensive growth index (CGI)). Выявлено, что значительное снижение фосфорного питания оказывало более сильный тормозящий рост и развитие эффект, чем дефицит увлажнения. При содержании $P \leq 32,00$ мг/кг сухого субстрата внесение других элементов существенно не повлияло на рост саженцев. Принимая во внимание, что при содержании P в сухом субстрате 128,00 мг/кг, негативные последствия, вызванные низким содержанием воды (объемное содержание влаги в почве (W) было ниже 45 % НВ), не могли быть устранены, даже при поддержании умеренных уровней азота и калия. Орошение в сочетании с фосфорным питанием оказывало прямое и значительное положительное влияние на рост саженцев, в то время как азот и калий оказывали отрицательное воздействие. Авторы изучали четыре режима орошения: W (%) – чрезмерное водообеспечение (1.0) – 100-105 % НВ; достаточное водообеспечение (0.5) – 85-90 % НВ; легкий дефицит влаги (-0.5) – 65-70 % НВ; глубокий дефицит (-1.0) – 45-50 % НВ. Система подачи воды к каждому стаканчику, степень развития саженцев контролировали специальными снимками, для сканирования корневой системы использовался сканер корней (WinRhizo, Epson V700), а затем программное обеспечение WinRhizo Pro использовалось для анализа отсканированных изображений и определения количества кончиков корней [15].

Сказанное выше подтверждается в исследованиях с другой важной промышленной культурой южного Китая, каковой является манго (*Mangifera indica* L.). Отрасль нуждается в бесперебойном обеспечении посадочным материалом. В результате проведенных исследований в питомнике выявлено, что, полив неадекватно назначенными поливными нормами и дефицит питательных веществ в почве влияют на нормальную физиологию и рост растений. Чтобы получить оптимальный режим фертигации для саженцев манго, было изучено влияние трех методов микроорошения (микро-спринклерное орошение (SI), капельное орошение (DI) и микроувлажняющее орошение (MM)) на фотосинтетические характеристики, гидравлическую проводимость, рост и эффективность использования воды и удобрений. Исследование проводили при четырех нормах внесения удобрений с использованием рандомизированного блочного эксперимента. Результаты показали, что DI и MM увеличили чистую скорость фотосинтеза (P_n) на 17,50 и 28,95 %, гидравлическую проводимость корней (K_r) на 39,65 и 52,69 % соответственно, гидравлическую проводимость побегов (K_{sh}) на 48,63 и 82,38 %, общую сухую массу (DM) – на 27,44 и 47,13 %. В то же время снизилась интенсивность транспирации (Tr) на 6,61 и 16,38 %, гидравлическая проводимость листьев и черешка (K_{l+p}) на 13,11 и 30,32 %, а также потребление воды (ET) на 10,38 и 14,85 % по

сравнению с SI. Таким образом, орошение с микроувлажнением и умеренной нормой внесения удобрений – 18,6 г на 1 растение значительно способствовало росту и повышению эффективности фертигации саженцами манго, что было наилучшим сочетанием метода орошения и нормы внесения удобрений [16].

В Эфиопии в питомниках этой же культуры (манго) используется технология экономии воды Сосооп. Она подразумевает создание небольших резервуаров для воды, которая используется для выращивания растений в засушливый сезон. В эксперименте были оценены пять способов водосбережения в питомниках манго с использованием различных резервуаров и технологий повторного использования очищенной воды. Показатели выживаемости и роста саженцев манго регистрировали через шесть месяцев и один год после пересадки. Технология экономии воды Сосооп показала лучшие результаты в плане улучшения выживаемости и роста саженцев манго на исследуемой территории. В этом исследовании сделан вывод о том, что Сосооп кажется перспективным, устойчивым и легко масштабируемым методом выращивания саженцев манго в больших масштабах в условиях исследуемой территории [17].

При выращивании саженцев яблони в контейнерной культуре проводился эксперимент с целью изучения влияния трех методов капельного орошения (обычного капельного орошения (CDI), одновременного полива с обеих сторон корневой зоны и попеременного капельного орошения (ADI), когда обе стороны корневой зоны орошаются поочередно с подачей 50 % поливной нормы, и стационарное капельное орошение (FDI), когда только одна сторона корневой зоны орошается с подачей 50 % поливной нормы). В результате проведенных исследований авторы пришли к выводу, что по сравнению с CDI, ADI и FDI, средняя сухая масса корней, суточная транспирация, гидравлическая проводимость корней (K_r), скорость фотосинтеза листьев, скорость транспирации и устьичная проводимость саженцев яблони снизились на 6,9 и 27,7; 29,3 и 45,0; 6,8 и 37,9; 2,5 и 4,8; 32,6 и 33,0; 22,1 и 22,3 %, но повысилась эффективность использования воды листьями (WUE) на 31,3 и 29,8 % соответственно при экономии оросительной воды на 50 %. Переменный капельный полив ADI значительно снижал скорость транспирации, но не приводил к значительному снижению скорости фотосинтеза и K_r , таким образом, чередующееся капельное орошение улучшило способность растений регулировать водный баланс и вполне может использоваться как метод экономии оросительной воды [18].

В питомниках декоративных растений, выращиваемых в кадочной культуре, исследователи также ищут пути снижения затрат на орошение. Так, на примере гортензии дуболистной (*Hydrangea quercifolia* 'Alice') изучалось два поливных режима: ежедневный полив (DWU), обеспечивающий подачу количества воды, испарившегося за предыдущие 24 часа, и полив «по требованию» (OD), основанный на соотношении между уровнем влажности субстрата и скоростью фотосинтеза. Полив производили при достижении уровня влажности субстрата ниже 33 % от вместимости контейнера, что соответствовало максимальной прогнозируемой скорости фотосинтеза в 90 %. Состояние растений контролировали путем измерения интенсивности фотосинтеза, водного потенциала листьев, транспирации и проводимости устьиц. Контроль биомассы и индекса роста проводили через каждые 35 дней от начала вегетации. Выявлено, что при ежедневном поливе индекс роста был выше, чем при поливе «по требованию» при всех других равных показателях. Эффективность использования воды в расчете на зону орошения была выше для OD, чем для DWU, 5,9 и 3,8 г/л соответственно. Сезонное потребление воды более чем в 2 раза больше для DWU, чем для OD, 351 и 164 л соответственно [19].

Следует согласиться с мнением ученых [20, 21], что созданию питомниководческих хозяйств должна предшествовать оценка потребности в оросительной воде из-за наблюдающегося в настоящее время дисбаланса спроса и предложения поливной воды. В периоды дефицита поливной воды подача воды в такие хозяйства часто осуществляется по остаточному принципу после приоритетных водопользователей. Обоснование эффективного использования поливной воды, получения высокого процента выхода саженцев, а значит, и доказательства платежеспособности водопользователя, является актуальной практической задачей. При переходе оросительных сетей на планируемое водораспределение по многокритериальной оптимизации главенствующими факторами выбора приоритета потребителя услуг будут являться: максимальный охват орошаемых площадей, наилучший финансовый результат организации-пользователя, максимальное соответствие

прогнозируемым параметрам получения продукции на этапе планирования в условиях дефицита поливной воды, максимально возможная прибыль, минимальные водопотери и затраты электроэнергии.

Заключение. На этапе планирования создания питомников плодовых, декоративных культур и винограда, следует проводить оценку потребности в оросительной воде с учетом периодов максимального водопотребления. Согласование потребностей и периодов максимального водопотребления на оросительных системах поможет избежать перебоев в водоснабжении питомников. Метод многокритериальной оптимизации при водораспределении применим в отношении питомников. Для получения стандартных саженцев винограда европейских сортов среднегодовая потребность в оросительной воде составляет до 60 л на одно растение, амурских гибридов – 45, плодовых культур – до 80, декоративных – 56 л на одно растение. В годы с различной влагообеспеченностью необходимо делать поправки в сторону увеличения потребности в засушливые годы или уменьшения во влажные.

Conclusions. At the planning stage of establishing nurseries for fruit, ornamental crops and grapes, an assessment of the need for irrigation water should be carried out, taking into account the periods of maximum water consumption. The coordination of needs and periods of maximum water consumption in irrigation systems will help to avoid interruptions in the water supply to nurseries. The method of multi-criteria optimization in water distribution is applicable to nurseries. To obtain standard seedlings of European grape varieties, the average annual need for irrigation water is up to 60 liters per plant, Amur hybrids – 45, fruit crops – up to 80, decorative crops – 56 liters per plant. In years with different moisture availability, it is necessary to make adjustments to increase demand in dry years or decrease in wet years.

Библиографический список

1. Левшаков Л. В. и др. Технологические аспекты получения качественного посадочного материала яблони в условиях Центрального Черноземья. Вестник Курской ГСХА. 2018. № 9. С. 49-55.
2. Романовская А. Ю., Шумакова К. Б. Регулирование водного режима дерново-подзолистого почвенного профиля при различных режимах увлажнения. Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2021. № 106. С. 130-162.
3. Allen K. S., Harper R. W., Bayer A., Brazee N. J. A review of nursery production systems and their influence on urban tree survival. Urban Forestry & Urban Greening. 2017. No 21. Pp. 183-191.
4. Курапина Н. В. Оптимизация режима орошения и удобрения виноградной школки. Фундаментальные исследования. 2013. № 1-1. С. 120-125.
5. Курапина Н. В., Никольская О. А. Влияние капельного орошения и удобрений на приживаемость и биометрические показатели саженцев черешни. Плодоводство и ягодоводство России. 2018. Т. 55. С. 226-230.
6. Курапина Н. В., Никольская О. А. Выход стандартных саженцев амурского винограда (*Vitis amurensis*) на светло-каштановых почвах. Орошаемое земледелие. 2019. № 1. С. 46-49.
7. Курапина Н. В., Медведицкова О. Н., Карпова Е. А. Роль питомников декоративных культур в озеленении населенных пунктов Волгоградской области. Перспективные тенденции развития по приоритетным направлениям модернизации АПК и сельских территорий в современных социально-экономических условиях: материалы национальной научно-практической конференции. Волгоград, 2021. Т. 1. С. 86-91.
8. Овчинников А. С. и др. Водопотребление виноградной школки при различных технологиях посадки. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 2 (38). С. 88-104.
9. Коняшин М. С., Рябина О. С. Климат Волгоградской области и особенности его формирования. Вопросы степеведения. 2011. № 9. С. 78-81.
10. Кружилин И. П., Курапина Н. В., Гусев Д. Э. Элементы технологии выращивания саженцев винограда при капельном орошении. Природообустройство. 2008. № 3. С. 25-29.
11. Черемисинов А. А., Черемисинов А. Ю. Обзор расчетных методов определения суммарного испарения орошаемых сельскохозяйственных полей. Научный журнал РосНИИГПМ. 2016. № 1 (21). С. 113-133.
12. Дубенок Н. Н., Гемонов А. В., Лебедев А. В. Особенности водопотребления саженцев сливы, выращиваемых в питомнике при капельном орошении. Плодородие. 2020. № 4 (115). С. 53-56.
13. Дубенок Н. Н., Гемонов А. В., Лебедев А. В. Водопотребление и режимы капельного орошения саженцев плодовых и ягодных культур в Центральном Нечерноземье. Российская сельскохозяйственная наука. 2024. С. 20-24.
14. Эрб М., Романов А. В. Технологии выращивания саженцев декоративных деревьев и кустарников в питомнике «Tree Pittsburgh Heritage nursery». Пермский аграрный вестник. 2017. № 2 (18). С. 86-91.
15. Yuanhong Fu et al. Coupling optimization of water-fertilizer for coordinated development of the environment and growth of *Pinus massoniana* seedlings, Agricultural Water Management. 2024. V. 300. Art. 108895. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377424002300>
16. Yilin Li et al. Exploring the coupling mode of irrigation method and fertilization rate for improving growth and water-fertilizer use efficiency of young mango tree. Scientia Horticulturae. 2021. V. 286. Art. 110211.
17. Petros W. et al. Effectiveness of water-saving techniques on growth performance of Mango (*Mangifera indica* L.) Seedlings in Mihitsab-Azmati Watershed, Rama Area, Northern Ethiopia, Agricultural Water Management. 2021. V. 243. Art. 106476. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377420308891>
18. Yang Q., Zhang F., Li F. Effect of different drip irrigation methods and fertilization on growth, physiology and water use of young apple tree. Scientia Horticulturae. 2011. V. 129. I. 1. Pp. 119-126.

19. Hagen E., Nambuthiri S., Fulcher A., Geneve R. Comparing substrate moisture-based daily water use and on-demand irrigation regimes for oakleaf hydrangea grown in two container sizes. *Scientia Horticulturae*. 2014. V. 179. Pp. 132-139.

20. Кирейчева Л. В. и др. Оптимизация распределения ограниченных водных ресурсов методами эволюционно-генетического программирования. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2024. № 2 (398). С. 233-238.

21. Рогачев Д. А., Юрченко И. Ф. Моделирование и оптимизация системного водораспределения в условиях дефицита водных ресурсов. *Int. Agric. Journ.* 2022. № 5. С. 31-49.

References

1. Levshakov L. V. et al. Technological Aspects of Obtaining High-Quality Apple Seedling Material in the Central Chernozem Region. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2018. No 9. Pp. 49-55.

2. Romanovskaya A. Yu., Shumakova K. B. Regulation of the water regime of sod-podzolic soil in a fruit nursery and the distribution of moisture in the soil profile under different moisture regimes. *Bulletin of the V. V. Dokuchaev Soil Institute*. 2021. No. 106. Pp. 130-162.

3. Allen K. S., Harper R. W., Bayer A., Brazee N. J. A review of nursery production systems and their influence on urban tree survival. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2017. No 21. Pp. 183-191.

4. Kurapina N. V. Optimization of irrigation and fertilization regime of grape nursery. *Fundamental research*. 2013. No. 1-1. Pp. 120-125.

5. Kurapina N. V., Nikolskaya O. A. Influence of drip irrigation and fertilizers on survival rate and biometric indicators of cherry seedlings. *Fruit growing and berry growing in Russia*. 2018. V. 55. Pp. 226-230.

6. Kurapina N. V., Nikolskaya O. A. Yield of Standard Seedlings of Amur Grapes (*Vitis amurensis*) on Light Chestnut Soils. *Irrigated Agriculture*. 2019. No. 1. Pp. 46-49.

7. Kurapina N. V., Medveditskova O. N., Karpova E. A. The Role of Nurseries of Ornamental Plants in the Landscaping of Settlements in the Volgograd Region. *Prospective Trends in the Development of Priority Areas for the Modernization of the Agro-Industrial Complex and Rural Territories in Modern Socio-Economic Conditions: Proceedings of the National Scientific and Practical Conference*. Volgograd, 2021. V. 1. Pp. 86-91.

8. Ovchinnikov A. S. et al. Water consumption of grape nursery under different planting technologies. *Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems*. 2020. No 2 (38). Pp. 88-104.

9. Konyashin M. S., Ryabinina O. S. The Climate of the Volgograd Region and Its Formation Features. *Voprosy Steppedeniya*. 2011. No. 9. Pp. 78-81.

10. Kruzhilin I. P., Kurapina N. V., Gusev D. E. Elements of the Technology for Growing Grape Seedlings under Drip Irrigation. *Prirodobustroystvo*. 2008. No. 3. Pp. 25-29.

11. Cheremisinov A. A., Cheremisinov A. Yu. Review of Calculation Methods for Determining the Total Evaporation of Irrigated Agricultural Fields. *Scientific Journal of the Russian Research Institute of Fruit Crop Production*. 2016. No. 1 (21). Pp. 113-133.

12. Dubenok N. N., Gemonov A. V., Lebedev A. V. Features of water consumption of plum seedlings grown in a nursery under drip irrigation. *Fertility*. 2020. No. 4 (115). Pp. 53-56.

13. Dubenok N. N., Gemonov A. V., Lebedev A. V. Water consumption and drip irrigation regimes for fruit and berry crop seedlings in the Central Non-Chernozem Region. *Russian Agricultural Science*. 2024. Pp. 20-24.

14. Erbe M., Romanov A. V. Technologies of growing seedlings of ornamental trees and shrubs in the nursery «Tree Pittsburgh Heritage nursery». *Perm Agrarian Bulletin*. 2017. No. 2 (18). Pp. 86-91.

15. Yuanhong Fu et al. Coupling optimization of water-fertilizer for coordinated development of the environment and growth of Pinus massoniana seedlings. *Agricultural Water Management*. 2024. V. 300. Art. 108895. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377424002300>

16. Yilin Li et al. Exploring the coupling mode of irrigation method and fertilization rate for improving growth and water-fertilizer use efficiency of young mango tree. *Scientia Horticulturae*. 2021. V. 286. Art. 110211.

17. Petros W. et al. Effectiveness of water-saving techniques on growth performance of Mango (*Mangifera indica* L.) Seedlings in Mihitsab-Azmati Watershed, Rama Area, Northern Ethiopia. *Agricultural Water Management*. 2021. V. 243. Art. 106476. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377420308891>

18. Yang Q., Zhang F., Li F. Effect of different drip irrigation methods and fertilization on growth, physiology and water use of young apple tree. *Scientia Horticulturae*. 2011. V. 129. I. 1. Pp. 119-126.

19. Hagen E., Nambuthiri S., Fulcher A., Geneve R. Comparing substrate moisture-based daily water use and on-demand irrigation regimes for oakleaf hydrangea grown in two container sizes. *Scientia Horticulturae*. 2014. V. 179. Pp. 132-139.

20. Kireicheva L. V. et al. Optimization of the distribution of limited water resources by methods of evolutionary-genetic programming. *International Agricultural Journal*. 2024. No 2 (398). Pp. 233-238.

21. Rogachev D. A., Yurchenko I. F. Modeling and optimization of systemic water distribution in conditions of water resource scarcity. *Int. Agric. Journal*. 2022. No. 5. Pp. 31-49.

Информация об авторах

Григорьев Сергей Михайлович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: gsm.dtn@mail.ru

Карнюхин Владлен Витальевич, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: dandyman1998@icloud.com

Курапина Наталия Викторовна, ученый секретарь, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» (Российская Федерация, 400001, г. Волгоград, ул. Пугачевская, 1), e-mail: n.kurapina@mail.ru

Authors' Information

Grigorov Sergey Mihailovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskii Avenue, 26), e-mail: gsm.dtn@mail.ru

Karnyuhin Vladen Vitaljevich, Postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskii Avenue, 26), e-mail: dandyman1998@icloud.com

Kurapina Nataliya Victorovna, Scientific Secretary, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography Srednevoljskij branch (Russian Federation, 400001, Volgograd, Pugachevskaja St., 1), e-mail: n.kurapina@mail.ru

THE ECOLOGICAL AND BIOLOGICAL FEATURES AND THE FORESTRY SIGNIFICANCE OF THE LEAF-GROWING PESTS ENTOMOPHAGES IN THE PROTECTIVE FOREST STRIPES OF THE LOWER VOLGA REGION STEPPE ZONE**Ivantsova E. A.**Volgograd State University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: ivantsova.volgou@mail.ru

Received 20.02.2026

Submitted 26.03.2026

Abstract

Introduction. Entomophages are the most important regulators of the number of populations of harmful species; the species and quantitative composition of predatory and parasitic insects serves as an indicator of the ecological situation in various phytocenoses. The fauna of entomophages of tree and shrub pests in the conditions of the Lower Volga region has been studied extremely insufficiently, which determines the relevance of our research. **The object of research.** The object of long-term research was the predators and parasites of leaf-eating pests of tree species in the protective forest plantations of the steppe zone of the Volgograd region. Materials and methods. In order to identify harmful insects, their distribution centers and population counts, recommended entomological examinations (forest pathology examinations) of plantings were carried out throughout their growing season. Barber's soil traps were used to capture predatory herpetobionts; other methods of collecting insects were mowing with an entomological net and manual harvesting. To determine the species composition and study the biological characteristics of the internal parasites of caterpillars and pupae of leaf-rodent pests in the studied plantations, samples of 25 caterpillars were periodically taken four times. The caterpillars were kept and reared in the laboratory until the stage of imago departure, death or release of parasites. The infestation of pupae of harmful species by entomophages was diagnosed by the presence of flight holes, pupae, or adult parasites in the cocoons. **Results and conclusions.** In the course of the conducted studies, 58 species of entomophages were identified, including 35 species of predators and 22 species of parasites. The list of useful insects will be updated as new data is collected during subsequent ecological and faunal studies. Predatory species have been identified that are essential in reducing the number of tree pests (various species of ground beetles, golden-eyes, ants, coccidae, etc.). Of forestry importance among the parasitofauna for the green oak leaf beetle are *Ytaplectis alternans* Yrav., *Phaeogenes invisor* Thunb., *Apechthis quadridentata* Ihoms., *A. rufata* Först., *Brachimeria rugulosa* F., *Microgaster laeviscuta* Ih., *Lybrachus cavus* Walk., *Eupelmus urozonius* Lalm., *Trichogramma cacocciae* Mar., *Apanteles albipennis* Nees., *A. immunis* Hal., *A. laevigatus* Ratz., *Habrobracon porrectorius* F., *Pimpla turionilla* Z., *P. spuria* Z., *Microgaster laeviscuta* Ih., *Macracentrus abdominalis* F., *Monodontomerus absoluteus* F., *Ihyella floralis* Fall., *Frichomma cneator* Rossi., *Diadegma* sp.. The most pronounced parasitic activity among Hymenoptera is observed in the families Ichneumonidae, Braconidae and Chalcidoidea, it was found that up to 14.5 % of all parasite-infected pupae of the oak leaf beetle are affected by superparasites. *Zenilla libathri* Panz., *Blondelia nigripes* Fall., *Pteromalus puparium* L., *Porendora praeceps* Mgh. и *Eupteromalus nidulans* Thoms have the greatest influence on the dynamics of the golden tail population, reducing its number in some years to 33.7 %. The ecological and biological features of individual species of entomophages, their diurnal and seasonal population dynamics are determined.

Keywords: entomophages, predatory insects, parasitic insects, pests of woody crops, protective forest plantations, leaf-eating pests.

Citation. Ivantsova E. A. The ecological and biological features and the forestry significance of the leaf-growing pests entomophages in the protective forest stripes of the Lower Volga region steppe zone. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 52-59 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-05.

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

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

УДК 632.7:595.792

ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ ЭНТОМОФАГОВ ЛИСТОГРЫЗУЩИХ ВРЕДИТЕЛЕЙ В ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОСАХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ**Иванцова Е. А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор**ФГАОУ ВО Волгоградский государственный университет
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Энтомофаги являются важнейшими регуляторами численности популяций вредных видов; видовой и количественный состав хищных и паразитических насекомых служит показателем экологической ситуации в различных фитоценозах. Фауна энтомофагов вредителей древесно-

кустарниковых пород в условиях Нижневолжского региона изучена крайне недостаточно, что и обуславливает актуальность наших исследований. **Объект исследований.** Объектом многолетних исследований являлись хищники и паразиты листогрызущих вредителей древесных пород в ползащитных лесных насаждениях степной зоны Волгоградской области. **Материалы и методы.** С целью выявления вредных насекомых, очагов их распространения и учетов численности проводились рекогносцировочные энтомологические обследования (лесопатологические обследования) насаждений в течение всего периода их вегетации. Для отлова хищных герпетобионтов использовались почвенные ловушки Барбера, другими методами сбора насекомых являлись укосы энтомологическим сачком, ручной сбор. Для определения видового состава и изучения биологических особенностей внутренних паразитов гусениц и куколок листогрызущих вредителей в исследуемых насаждениях периодически отбирались пробы по 25 гусениц в четырехкратной повторности. Гусеницы содержались и выкармливались в лабораторных условиях до стадии вылета имаго, гибели или выхода паразитов. Пораженность куколок вредных видов энтомофагами диагностировалась по наличию в коконах летных отверстий, куколок или взрослых особей паразитов. **Результаты и выводы.** В ходе проведенных исследований было выявлено 58 видов энтомофагов, включая 35 видов хищников и 22 вида паразитов. Перечень полезных насекомых будет пополняться по мере сбора новых данных в ходе последующих эколого-фаунистических исследований. Установлены хищные виды, имеющие существенное значение в снижении численности вредителей древесных пород (различные виды жуужелиц, златоглазок, муравьев, кокцинеллид и пр.). Лесохозяйственное значение среди паразитофауны для зеленой дубовой листовертки имеют *Ytaplectis alternans* Yrav., *Phaeogenes invisor* Thunb., *Apechthis quadridentata* Ihoms., *A. rufata* Först., *Brachimeria rugulosa* F., *Microgater laeviscuta* Ih., *Lybrachus cavus* Walk., *Eupelmus urozo-nius* Lalm., *Trichogramma cacocciae* Mar., *Apanteles albipennis* Nees., *A. immunis* Hal., *A. laevigatus* Ratz., *Habrobracon porrectorius* F., *Pimpla turionilla* Z., *P. spuria* Z., *Microgater laeviscuta* Ih., *Macracentrus abdomimalis* F., *Monodontomerus absoluteus* F., *Ihyella floralis* Fall., *Frichomma cneator* Rossi., *Diadegma* sp. Наиболее выраженная паразитическая активность среди перепончатокрылых наблюдается в семействах Ichneumonidae, Braconidae и Chalcidoidea, Установлено, что до 14,5 % от всех зараженных паразитами куколок дубовой зеленой листовертки поражается сверхпаразитами. Наибольшее влияние на динамику популяции златогузки оказывают *Zenilla libathtri* Panz., *Blondelia nigripes* Fall., *Pteromalus puparium* L., *Porendora praeceps* Mgh. и *Eupteromalus nidulans* Thoms., снижая его численность в отдельные годы до 33,7 %. Определены эколого-биологические особенности отдельных видов энтомофагов, особенности их суточной и сезонной динамики численности.

Ключевые слова: энтомофаги, хищные насекомые, насекомые-паразиты, вредители древесных культур, защитные лесные насаждения, листогрызущие вредители.

Цитирование. Иванцова Е. А. Эколого-биологические особенности и лесохозяйственное значение энтомофагов листогрызущих вредителей в защитных лесных полосах степной зоны Нижнего Поволжья. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 52-59. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-05.

Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Автор настоящей статьи одобрил представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Система взаимодействующих защитных насаждений является неотъемлемым и функционально важным компонентом обустроенных ландшафтов (аграрных, урбанизированных) [1]. По разным оценкам в настоящее время на территории земель сельскохозяйственного назначения Волгоградской области, по данным К. Н. Кулика, А. С. Манаенкова, А. Н. Кузенко, А. Н. Салугина [2], имеется около 130 тыс. га защитных лесных насаждений (ЗЛН), при этом, как указывают авторы, значительные площади ЗЛН требуют улучшения.

Защитные лесные насаждения сухостепной зоны обычно ослаблены неблагоприятными для древесной растительности почвенно-климатическими условиями, подвергаются отрицательному воздействию степной травянистой растительности, чаще и в большей степени повреждаются вредителями болезнями, чем в лесной зоне [1, 3-5].

В природных экосистемах без вмешательства человека, как правило, происходит саморегуляция численности фитофагов за счет действия природных факторов; если же эти естественные биорегуляторы в сильной степени нарушены, неизбежно возникает предпосылка для всплеск массового размножения вредителей [6]. В естественных лесах и массовых насаждениях степной зоны обычно происходит формирование первичных очагов вредителей. Под влиянием ветров, господствующих направлений, происходит миграция вредителей из первичных очагов в ползащитные лесные полосы, где возникают вторичные очаги массовых размножений. Этим объясняется и неравномерная плотность заселения вредителями лесополос и систем защитных насаждений. Значительный вред в отдельные годы защитным насаждениям наносят такие листогрызущие фитофаги, как дубовая зеленая листовертка (*Totrix viridana* L.), образующая в Волгоградской области хронические

очаги размножения, а также виды филлофагов, образующих периодические очаги: златогузка (*Euproctis chrysorrhoea* L.), непарный шелкопряд (*Lymantria dispar* L.), американская белая бабочка (*Hyphantria cunea* Drury.), ильмовый листоед (*Xanthogaleruca luteola* Muell.), зимняя пяденица (*Operophtera brumata* L.).

Хищные и паразитические насекомые (энтомофаги) являются неотъемлемыми компонентами как естественных, так и антропогенно модифицированных ценозов, имеющими важное значение в регуляции численности вредителей. Изучение специфики взаимоотношений между фитофагами и энтомофагами в ползащитных лесных полосах является главным условием для разработки объективных критериев оценки эффективности энтомофагов, позволит определить пороговые значения, при которых их популяции способны обеспечивать значительное снижение численности популяций вредных насекомых без необходимости применения химических средств защиты растений.

Как известно, сезонная и многолетняя динамика численности насекомых носит волнообразный характер и определяется совокупностью различных экологических факторов. Условия, способствующие выходу популяций фитофагов из состояния депрессии и их последующему массовому размножению, складываются на территории Волгоградской области, как правило, в засушливые годы, сопровождающиеся существенными отклонениями среднемесячных температур и осадков от нормы в период развития гусениц (май-июнь) и мягкими зимами. Кроме того, ключевыми агентами ограничения популяций вредителей в природе на различных трофических уровнях выступают определенные группы энтомофагов; в условиях низкой численности фитофагов доминирует активность полифагов, или многоядных насекомых, тогда как при увеличении их численности возрастает роль монофагов, или специализированных видов. Установлено, что самозатухание очагов массового размножения листогрызущих вредителей интенсифицируется под влиянием естественных врагов, преимущественно паразитических насекомых, являющихся одним из фундаментальных механизмов регуляции численности в природных экосистемах [3, 7-9]. Многочисленные исследования свидетельствуют, что массовые заболевания насекомых и поражение их паразитами в циклических популяциях лесных насекомых-филлофагов происходят не в продромальной, а в эруптивной фазе и при затухании вспышки, когда кормовая база насекомых существенно подорвана как в количественном, так и в качественном аспектах [10-13].

Имеющиеся литературные данные по фауне энтомофагов вредителей древесно-кустарниковых пород в условиях Нижневолжского региона в основном касаются обширных пойменных лесов и естественных байрачных дубрав, что не позволяет в полной мере оценить их лесохозяйственное значение в защитных лесных насаждениях.

Материалы и методы. Для предварительного учета энтомофауны древесных пород в ползащитных лесных насаждениях степной зоны Волгоградской области на протяжении нескольких десятилетий проводились рекогносцировочные обследования. Отлов хищных насекомых проводился с использованием ловушек Барбера, обеспечивающих высокую точность и выявление даже немногочисленных видов. Учет имаго крупных хищных насекомых проводился путем визуального осмотра деревьев.

Выявление видового состава и биологии внутренних паразитов гусениц и куколок производилось при периодических взятиях проб из естественных условий в четырехкратной повторности по 25 гусениц, которые содержались в лабораторных условиях в 0,5-литровых банках до вылета имаго, гибели их или выхода внутренних паразитов. Корм для гусениц менялся в течение 1-2 суток. Пораженность куколок энтомофагами определялась по наличию в коконе летных отверстий, куколок или имаго энтомофагов. Вылетевшие крупные паразитические насекомые сохранялись на ватных матрасиках, мелкие паразиты и личинки фиксировались в 70-процентном спиртовом растворе. С целью определения видового состава полезной энтомофауны производилось также периодические кошения энтомологическим сачком в различных зонах и ярусах ползащитных лесных полос.

Собрано 409 яйцекладок, свыше 1 000 гусениц и 3000 куколок зеленой дубовой листовертки, златогузки, вязового листоеда. Вскрыто 784 куколки. В лабораторных условиях из гусениц и куколок выведено 6 106 экземпляров паразитов. Сделано 170 энтомологических укусов, содержащих 4 105 экземпляров насекомых.

Результаты и обсуждение. В результате проведенных исследований нами зарегистрировано 58 видов энтомофагов, из них 35 видов хищных и 22 вида паразитических насекомых. Безусловно, данный список обнаруженных полезных насекомых в ползащитных насаждениях не окончательный и будет дополняться по мере накопления фактического материала при проведении дальнейших эколого-фаунистических исследований.

В результате исследований установлено, что существенное значение в снижении численности вредителей древесных пород имеют хищные насекомые, в частности, различные виды жуужелиц (*Calosoma inguisitor* Z., *C. sycphanta* Z., *C. denticolle* Gebe., *C. auropunctatum* Zebst., *C. hortensis* Z., *C. glabratus* Z., *Amara plebeian* Z., *A. ingénue* Dust., *A. similata* Zill., *A. consularis* Duft., *Brachuns erepetans* Z., *Ophonus rufipes* Dof., *Harpalus distinguendum* Dft., *H. pumilus* Sturm. и др.), златоглазки (*Chrisopa ventralis* Curt., *Ch. perla* L.), кокцинеллиды (*Coccinella septempunctata* Z., *C. quinquepunctata* L., *C. quatuordecimpunctata* L., *Propilaea quatuordecimpunctata* L.), муравьи (*Formica polyctena* Foerst., *Formica nigricans* Em.), мертвоеды (*Xylodrepa quadripunctata* Z., *Microdera convexa* Fauch.), кожееды (*Dermester* spp.) и прочие.

Видовой состав паразитов дубовой зеленой листовёртки и златогузки разнообразен. В Европейской части РФ у зеленой дубовой листовёртки отмечено 126 видов, у златогузки известно 66 видов паразитов, 7 видов паразитов являются общими для двух видов вредителей [3, 14].

Среди многочисленной паразитофауны важное лесохозяйственное значение принадлежит лишь немногим видам.

Для зеленой дубовой листовёртки такими видами на территории Волгоградской области являются: *Ytaplectis alternans* Yrav., *Phaeogenes invisor* Thunb., *Apechthis quadridentata* Ihoms., *A. rufata* Först., *Brachimeria rugulosa* F., *Microgater laeviscuta* Ih., *Lybrachus cavus* Walk., *Eupelmus urozonius* Lalm., *Trichogramma cacocciae* Mar., *Apanteles albipennis* Nees., *A. immunis* Hal., *A. laevigatus* Ratz., *Habrobracon porrectorius* F., *Pimpla turionilla* Z., *P. spuria* Z., *Microgater laeviscuta* Ih., *Macracentrus abdomimalis* F., *Monodontomerus absoluteus* F., *Ihyella floralis* Fall., *Frichomma cneator* Rossi., *Diadegma* sp. В очагах размножения зеленой дубовой листовёртки всегда можно встретить значительное количество хищных насекомых, питающихся гусеницами и куколками вредителя – *Calosoma inguisitor* Z., *Calosoma denticolle* Gebe, *Calosoma sycphanta* Z., *Calosoma auropunctatum* Zebst, *Carabus hortensis* Z., *Carabus glabratus* Z., *Amara plebeian* Z., *Amara ingénue* Dust., *Amara similata* Zill., *Amara consularis* Duft., *Brachuns erepetans* Z., *Ophonus rufipes* Dof., *Harpalus distinguendum* Dft., *Harpalus pumilus* Sturm., *Xylodrepa quadripunctata* Z., *Microdera convexa* Fauch., *Coccinella septempunctata* Z., *C. quinquepunctata* L., *C. quatuordecimpunctata* L., *Propilaea quatuordecimpunctata* L., *Dermester* sp., *Formica polyctena* Foerst., *Chrisopa ventralis* Curt., *Formica nigricans* Em., *Chrisopa perla* L., *Nabis ferus* L.

Таблица 1 – Зараженность паразитами различных стадий развития зеленой дубовой листовёртки, в среднем за 2022-2024 гг.

Table 1 – Parasitic infestation of various stages of the green oak leafroller, averaged over 2022-2024

Стадия развития зеленой дубовой листовёртки / The stage of development of the green oak leafroller	Ярусы кроны / Crown tiers	Объем выборки, шт. / Sample size, pcs.	Виды паразитов из семейств, % / Types of parasites from the families, %				Всего видов / Total types	Средняя зараженность на 1 дерево, % / Average infection rate per tree, %
			хальциды / Chalcids	бракониды / Braconides	ихневмониды / Ichneumonids	тахиниды / Tachinids		
Гусеницы 2-3 возраста / Caterpillars of 2-3 ages	верхний / the upper tier	100	-	4	-	-	4	0,9
	нижний / lower tier	100	-	6	-	-	6	
Гусеницы 4-5 возраста / Caterpillars of 4-5 ages	верхний / the upper tier	100	-	3	2	-	5	5,0
	нижний / lower tier	100	-	4	-	-	4	
Молодые куколки / Young insect pupae	верхний / the upper tier	100	-	-	11	-	11	8,0
	нижний / lower tier	100	-	-	4	2	6	
Старые куколки (до вылета бабочек) / Old pupae (before the butterflies emerge)	верхний / the upper tier	100	4	-	4	2	10	6,0
	нижний / lower tier	100	-	-	-	-	-	
Яйца / Insect eggs		450	-	-	-	-	-	-

Анализ имеющихся сведений по кормовым связям паразитов зеленой дубовой листовертки показывает, что среди этих энтомофагов преобладают олиго- и полифаги. Узкоспециализированных мало, однако роль некоторых из них очень значительна.

Наиболее выраженная паразитическая активность среди перепончатокрылых наблюдается в семействах Ichneumonidae, Braconidae и Chalcidoidea, объединяющем ряд семейств (таблица 1). Представители этих таксонов, известные как наездники, демонстрируют специфический метод яйцекладки, при котором самка располагается дорсально на теле хозяина, фиксируя его конечностями. Известно, что самки некоторых видов наездников способны использовать яйцеклад не только по прямому назначению, но и подобно осам в качестве жала (орудия защиты). Имаго, в основном, питаются пыльцой и нектаром, «падью» кокцид и тлей, некоторые виды – гемолимфой насекомых. Перепончатокрылые энтомофаги зимуют, как правило, на стадии личинки в коконе или в теле хозяина.

В результате исследований было также установлено, что до 14,5 % от всех зараженных паразитами куколок дубовой зеленой листовертки было поражено сверхпаразитами (таблица 2). Из одной куколки вредителя вылетало от одного до нескольких десятков (максимально 62) экземпляров паразитов или сверхпаразитов. Иногда куколка листовертки полностью заполнена личинками длиной 2-3 и шириной 0,6-0,8 мм. Однако, эта цифра, возможно, занижена, так как сверхпаразитизм у представителей Chalcidoidea в полной мере установить не удалось.

Таблица 2 – Гибель паразитов дубовой зеленой листовертки от сверхпаразитических хальцид, в среднем за 2022-2024 гг.

Table 2 – Death of the oak green leafroller parasites from hyperparasitic chalcids, on average for 2022-2024

Семейства паразитических насекомых / Families of parasitic insects	Паразитировано куколок дубовой зеленой листовертки / Parasitized the pupae of the oak green leafroller		Погибло паразитов от сверхпаразитов / Parasites died from superparasites	
	шт.	%	шт.	%
Тахины / Tachins	51	6,5	35	68,6
Ихневмониды / Ichneumonids	64	8,2	26	40,6
Бракониды / Braconides	77	9,8	34	44,1
Хальциды / Chalcides	462	58,9	-	-

К видам, паразитирующим на гусеницах и куколках златогузки в защитных лесных насаждениях Волгоградской области, можно отнести *Eupteromalus nidulans* Thoms, *Telenomus laeviusculus* Rtzb., *Zenilla libathtri* Panz., *Blondelia nigripes* Fall., *Pteromalus puparium* L., *Porendora praeceps* Mgh., *Habrobracon hebetor* Say., *Pimpla instigator* Zrav., *P. examiner* F., *Meteorus versicolor* Wesm., *M. ictericus* Nees., *Monodontomerus aereus* Walk., *Brachimeria intermeia* Nees., *B. secundaria* Rast., *Carcelia laxyfrons* Vill., *Microgaster calceatus* Hal.

Наибольшее влияние среди них на динамику популяции вредителя оказывают *Zenilla libathtri* Panz., *Blondelia nigripes* Fall., *Pteromalus puparium* L., *Porendora praeceps* Mgh. (сем. Tachinidae) и *Eupteromalus nidulans* Thoms. (сем. Chalcidoidea), снижая его численность в разные годы от 14,2 до 33,7 %. Влияние паразитов из других семейств, в частности семейства Braconidae (*Meteorus versicolor* Wesm., *M. ictericus* Nees., *Microgaster calceatus* Hal.), на динамику численности златогузки, незначительно (не более 3 %).

Ниже представлена краткая характеристика некоторых выведенных нами паразитических насекомых.

Представители семейства паразитических наездников, или наездников-ихневмонид, или настоящих наездников (Ichneumonidae) являются личиночно-кулолочными одиночными паразитами многих видов чешуекрылых насекомых и представителей паукообразных. Ихневмониды – наиболее крупные (до 40 мм) эндопаразиты листо-, хвоегрызущих и стволовых вредителей, имаго наиболее активны в утреннее и вечернее время, в жаркие дневные часы их активность резко снижается. Несмотря на широкую, практически вседневную распространённость ихневмонид, семейство является очень малоизученным, имеющиеся в литературе данные носят фрагментарный характер.

Ytaplectis alternans Yrav. является чрезвычайно широким полифагом. В числе его хозяев, обитающих на территории РФ, насчитывается свыше 50 видов насекомых, среди которых имеются серьезные вредители лесного и сельского хозяйства. В сборах на иссле-

дованной нами территории оказался самым многочисленным видом. Паразит вылетал из куколок зеленых листоверток, составив по количеству особей более 50 %. Заражаются, как правило, гусеницы средних, старших возрастов и, возможно, еще не хитинизированные куколки. По-видимому, при заражении паразит отдает предпочтение неподвижным гусеницам, т. е. в тот период, когда они перед окукливанием прекращают питание. Лет имаго паразитов растянут. Его начало совпадает с вылетом бабочек вредителя, массовый лет наблюдается через 7-10 дней. Высокая зараженность паразитом личинок и куколок вредителя, на наш взгляд, объясняется высокой пластичностью вида, обусловленной эвритопностью, обширным ареалом распространения и полифагией.

Ихневмонид *Phaeogenes invisor* Thunb. является широко распространенным видом узкоспециализированных паразитов зеленой дубовой листовертки. Составляет около 20 % от всех выведенных из куколок паразитов.

Itoplechtis alternaus Yrav., *Apechtis rufata* Ymel., *A. quadrideutata* Thoms. заражают гусениц средних, старших возрастов и, возможно, еще не хитинизированные куколки чешуекрылых вредителей. По-видимому, при заражении паразит отдает предпочтение неподвижным гусеницам, т.е. в тот период, когда они перед окукливанием прекращают питание.

Apechtis quadridentata Thoms. Ежегодно выводится из куколок зеленой дубовой листовертки, его доля составляет около 5 % от остальных выведенных видов.

Bracon (Habrobracon) hebetor Say. хотя и немногочисленный вид, но постоянно попадает в энтомологических сборах. Заражается паразитами не более 1 % гусениц второго-третьего возрастов дубовой зеленой листовертки. Зараженность гусениц златогузки в зимних гнездах составляет около 1 %. В отличие от других представителей сем Braconidae энтомофаг может зимовать на стадии имаго.

Мухи-тахины *Blondelia nigripes* Fall. и *Elodia tragica* Mg. являются достаточно широко распространенными паразитами гусениц и куколок чешуекрылых и личинок перепончатокрылых вредителей. Зимует паразит в личиночной стадии в куколке хозяина. Иногда пупарий паразита образуется до окукливания гусеницы. Такой пупарий находится рядом со шкуркой гусеницы погибшего вредителя. Имаго можно встретить с начала мая до сентября на цветущей растительности, а также в кроне деревьев, где самки откладывают в тело гусениц по одному яйцу, развитие личинки паразита заканчивается в куколке вредителя, из которой вылетают мухи второго поколения. В условиях Волгоградской области за год развивается 2, возможно 3 поколения паразита. В ползащитных лесных насаждениях максимальная зараженность (не более 1 %) тахинами наблюдалась в стадии куколок исследуемых видов.

Eupteromalus nidulans Thoms – широко распространенный паразит гусениц второго возраста, обнаруживаемый в зимних гнездах златогузки. Является вторичным паразитом паразитических перепончатокрылых. Встречаемость в гнездах златогузки составляет около 80 % при средней интенсивности 0,3-1,5 экз. на одно гнездо.

Oomyzus brevistigma Gahan. является специализированным паразитом куколок язового листоеда. Вид изучен крайне недостаточно, встречается единично.

В суточной динамике численности паразитических насекомых отмечается два пика: первый с 10 до 12 часов, второй – с 15 до 16 часов, однако, в зависимости от погодных условий пики активности могут смещаться на 1-2 часа, а в наиболее неблагоприятные дни – проявляться в виде одновременного максимума. В сезонной динамике численности паразитических насекомых выделяются весенний и летний максимумы. Первое увеличение численности в популяциях энтомофагов в конце апреля – начале мая связано с вылетом имаго, второе – в конце мая – начале июня с вылетом имаго из гусениц и куколок хозяев паразитов.

Заключение. В результате проведенных исследований установлен видовой состав полезной энтомофауны в ползащитных лесных полосах степной зоны Волгоградской области, включающий 58 видов энтомофагов, из них 35 видов хищных и 22 вида паразитических насекомых. Важное лесохозяйственное значение в снижении численности популяций вредных видов принадлежит лишь немногим видам хищных насекомых (преимущественно из семейств жужелиц, кокциннелид, златоглазок, муравьев, кожеедов и пр.) и паразитических (преимущественно из семейств тахин и хальцид). Дальнейшее изучение видового состава, структуры комплексов, количественного обилия хищных и паразитических видов, их эколого-биологических особенностей необходимо для определения экологических связей и выявления наиболее эффективных энтомофагов с целью регуляции численности вредителей древесных пород, сохранения и устойчивого использования биоразнообразия.

Conclusion. As a result of the conducted research, the species composition of the useful entomofauna in the field-protecting forest belts of the steppe zone of the Volgograd Region was established, including 58 species of entomophages, of which 35 species are predatory and 22 species are parasitic insects. Only a few species of predatory insects (mainly from the families of ground beetles, coccineids, lacewings, ants, skin beetles, etc.) and parasitic insects (mainly from the families of tachinids and chalcids) play an important role in reducing the population of harmful species. Further study of the species composition, the structure of complexes, and the quantitative abundance of predatory and parasitic species, as well as their ecological and biological characteristics, is necessary to determine the ecological relationships and identify the most effective entomophages in order to regulate the number of pests of tree species, preserve biodiversity, and ensure sustainable use.

Библиографический список

1. Белицкая М. Н., Грибуст И. Р. К вопросу об устойчивости защитных насаждений засушливой зоны Нижнего Поволжья. Вестник Бурятской сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2021. № 3 (64). С. 67-74.
2. Кулик К. Н., Манаенков А. С., Кузнецов А. Н., Салугин А. Н. К вопросу о состоянии защитного лесоразведения в Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 1 (37). С. 23-33.
3. Белицкая М. Н., Иванцова Е. А. Фауна энтомофагов в лесоаграрных ландшафтах аридной зоны. Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11: Естественные науки. 2012. № 2. С. 50-55.
4. Иванцова Е. А. Влияние лесных полос на численность и распределение энтомофауны. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2006. № 4 (4). С. 46-50.
5. Иванцова Е. А. Зоогеографическая структура и формирование энтомофаунистических сообществ агролесоландшафтов степной зоны Нижнего Поволжья. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 1 (29). С. 85-90.
6. Комаров Е. В., Комарова О. П. Создание сети экологических резерватов как одно из направлений повышения биоразнообразия энтомофауны. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 2 (62). С. 151-159.
7. Мартемьянов В. В., Бахвалов С. А. Экологические взаимосвязи в системе триотрофа и их влияние на развитие и популяционную динамику лесных филлофагов. Евразийский энтомологический журнал. 2007. № 6 (2). С. 205-221.
8. Симчук А. П. Приспособленность паразита *Phaeogenes invisor* зависит от фенотипа зеленой дубовой листовёртки и генотипа ее кормового растения. Экосистемы, их оптимизация и охрана. 2013. Вып. 8. С. 101-105.
9. Недорезов Л. В., Ильина Е. А., Бахвалов С. А. Об одной модели системы хозяин-паразит. Сибирский экологический журнал. 2001. Т. 8. № 5. С. 555-558.
10. Колтунов Е. В., Бахвалов С. А., Бахвалова В. Н., Жимерикин В. И. Роль паразитоидов и вирусных инфекций в популяционной динамике массовых видов лесных насекомых-филлофагов. Успехи современной биологии. 2014. Т. 134. № 3. С. 270-284.
11. Бахвалов С. А., Колтунов Е. В., Мартемьянов В. В. Факторы и экологические механизмы популяционной динамики лесных насекомых-филлофагов. Новосибирск: Наука, 2010. 299 с.
12. Liebhold A. M., Tobin P. C. Population ecology of insect invasions and their management. Ann. Rev. Entomol. 2008. V. 53. Pp. 387-408.
13. Tonnang H. E. Z., Nedorezov L. V., Owino J. O., Ochanda Lohr B. Host-parasitoid population density prediction using artificial neural networks: diamondback moth and its natural enemies. Agricultural and Forest Entomol. 2010. V. 12. I. 3. Pp. 233-242.
14. Дубровин В. В., Младенцев В. Е. Роль природных регуляторов численности златогузки (*Euproktis chrisorrhoea* L.) в насаждениях Пензенской области. Аграрный научный журнал. 2020. № 4. С. 15-17.

References

1. Belitskaya M. N., Gribust I. R. On the issue of the stability of protective plantings in the dry zone of the Lower Volga region. Bulletin of the V. R. Filippov Buryat Agricultural Academy. 2021. No 3 (64). Pp. 67-74.
2. Kulik K. N., Manaenkov A. S., Kuznetsov A. N., Salugin A. N. On the issue of the state of protective afforestation in the Volgograd region. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and higher professional education. 2020. No 1 (37). Pp. 23-33.
3. Belitskaya M. N., Ivantsova E. A. Entomophagous fauna in the forest-agrarian landscapes of the arid zone. Bulletin of the Volgograd State University. Episode 11: Natural Sciences. 2012. No 2. Pp. 50-55.
4. Ivantsova E. A. The influence of forest strips on the abundance and distribution of entomophora. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and Higher professional education. 2006. No 4 (4). Pp. 46-50.
5. Ivantsova E. A. Zoogeographic structure and formation of entomofaunistic communities of agroforestry landscapes of the steppe zone of the Lower Volga region. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and higher professional education. 2013. No 1(29). Pp. 85-90.
6. Komarov E. V., Komarova O. P. Creation of a network of ecological reserves as one of the directions of increasing the biodiversity of entomofauna. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and Higher professional education. 2021. No 2 (62). Pp. 151-159.
7. Martemyanov V. V., Bakhvalov S. A. Ecological interrelations in the triotroph system and their influence on the development and population dynamics of forest phyllophages. Eurasian Entomological Journal. 2007. No 6 (2). Pp. 205-221.
8. Simchuk A. P. The fitness of the *Phaeogenes invisor* parasite depends on the phenotype of the green oak leaf beetle and the genotype of its forage plant. Ecosystems, their optimization and protection. 2013. Issue 8. Pp. 101-105.
9. Nedorezov L. V., Ilina E. A., Bakhvalov S. A. On one model of the host-parasite system. Siberian Ecological Journal. 2001. V. 8. No 5. Pp. 555-558.

10. Koltunov E. V., Bakhvalov S. A., Bakhvalova V. N., Zhimerikin V. I. The role of parasitoids and viral infections in the population dynamics of massive species of forest insects-phylophages. The successes of modern biology. 2014. Vol. 134. No 3. Pp. 270-284.

11. Bakhvalov S. A., Koltunov E. V., Martemyanov V. V. Factors and ecological mechanisms of population dynamics of forest phylophagous insects. Novosibirsk: Nauka Publ., 2010. 299 p.

12. Liebhold A. M., Tobin P. C. Population ecology of insect invasions and their management. Ann. Rev. Entomol. 2008. V. 53. Pp. 387-408.

13. Tonnang H. E. Z., Nedorezov L. V., Owino J. O., Ochanda Lohr B. Host-parasitoid population density prediction using artificial neural networks: diamondback moth and its natural enemies. Agricultural and Forest Entomol. 2010. V. 12. I. 3. Pp. 233-242.

14. Dubrovin V. V., Mladentsev V. E. The role of natural regulators of the golden tail (*Euproktis chrisorrhoea* L.) abundance in plantings of the Penza region. Agricultural scientific journal. 2020. No 4. Pp. 15-17.

Информация об авторе

Иванцова Елена Анатольевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор института естественных наук, Волгоградский государственный университет (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, просп. Университетский, 100), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4265-9703>, e-mail: ivantsova.volgu@mail.ru

Author's Information

Ivantsova Elena Anatolyevna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Director of the Institute of Natural Sciences, Volgograd State University (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 100), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4265-9703>, e-mail: ivantsova.volgu@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-06

THE MAIN SOILS HYDROPHYSICAL CHARACTERISTICS RECOVERY BY THE MACHINE LEARNING: THE COMPARISON WITH THE KOSUGA METHOD AND THE VAN GENUUTEN MODEL

¹Melikhova E. V., ²Salugin A. N.

¹Volgograd State Agricultural University

²Federal Scientific Center for Agroecology and Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation, Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: mel-v07@mail.ru

Received 17.12.2025

Submitted 12.02.2025

The work was carried out under the topic of the State Assignment of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences (FSC Agroecology RAS) (No. FNFE-2024-0007) "Management of desertification processes in arid territories based on monitoring data of climatic, bio-physical and socio-economic indicators using mathematical modeling methods."

Summary

This research compared machine learning, Kosugi, and van Genuchten approaches for automated determination of soil water retention curves, showing that neural networks deliver rapid predictions (0.05-0.1 ms) with high accuracy ($R^2 = 0.948$) suitable for real-time applications. The Kosugi method provided superior accuracy ($R^2 = 0.956$) and established quantitative relationships between model parameters and soil clay content, enabling quick SWRC estimation from simple particle size distribution. Integration of both approaches yields a practical hybrid system combining computational speed with physical interpretability for optimization of irrigation regimes in arid agricultural regions.

Abstract

Introduction. The determination of the soil main hydro physical characteristic (MHC) is a critically important task for modelling water transfer in the vadose zone and optimizing irrigation regimes. Conventional laboratory methods for MHC determination require substantial time and material resources, while semi empirical models (van Genuchten, Kosugi) have limitations in terms of accuracy and parameter interpretability. The objective is to develop and validate an integrated approach combining machine learning techniques (neural networks), the classical Kosugi method, and the van Genuchten model for rapid and accurate MHC determination based on soil particle size distribution. Given global climate change and water scarcity, there is a pressing need for effective irrigation management tools, particularly in arid regions (southern Russia). The integration of artificial intelligence with physics based approaches can significantly accelerate the process of determining soil hydro physical properties. **Materials and Methods.** A comprehensive comparison of three methods was conducted using identical datasets, including a quantitative assessment of the relationship between Kosugi model parameters and particle size distribution. A hybrid model was proposed that combines the advantages of artificial neural networks (computational speed) and the Kosugi method (physical interpretability). Study objects. Four soil types from the top horizon (0-0.5 m) with different particle-size distributions were examined: Sand (sandy soil: 96.7 % > 0.05 mm); Sandy loam (intermediate: 60.6 % > 0.05 mm, 14.6 % < 0.001 mm); Loam (balanced: 40.7 % > 0.05 mm, 21.2 % < 0.001 mm); Clay (clayey: 3.4 % > 0.05 mm, 37.4 % < 0.001 mm). Methodology included the Kosugi method, the van Genuchten mod-

el, an artificial neural network (ANN), and statistical processing of results. **Results and conclusion.** The Kosugi method delivers acceptable MHC description quality ($R^2 = 0.956$) with physically interpretable parameters. A strong quantitative relationship was established between Kosugi parameters and particle size distribution ($R^2 = 0.93$, $p < 0.001$), enabling rapid MHC assessment. The ANN successfully reconstructed MHC parameters ($R^2 = 0.948$) with a 50-100 times speedup compared to conventional methods. The hybrid approach combining ANN and the Kosugi method provides an optimal combination of computational speed and physical interpretability. It is recommended to use the obtained available water values for optimizing irrigation regimes in southern Russian regions (Rostov and Volgograd oblasts).

Keywords: basic hydrophysical characteristics, neural networks, Kosugi method, van Genuchten model, soil composition, soil characteristics, irrigation management.

Citation. Melikhova E. V., Salugin A. N. The main soils hydrophysical characteristics recovery by the machine learning: the comparison with the Kosuga method and the van Genuuten model. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 59-67 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-06.

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 631.432.3:004.85

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОСНОВНОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЧВ МЕТОДОМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ: СРАВНЕНИЕ С МЕТОДОМ КОСУГИ И МОДЕЛЬЮ ВАН ГЕНУХТЕНА

¹Мелихова Е. В., доктор технических наук, доцент

²Салугин А. Н., доктор сельскохозяйственных наук, доцент

¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

²Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН
г. Волгоград, Российская Федерация

Работа выполнена по теме Государственного задания ФНЦ Агроэкологии РАН (№ FNFE-2024-0007) "Управление процессами опустынивания засушливых территорий на основе данных мониторинга климатических, биофизических и социально-экономических показателей методами математического моделирования".

Актуальность. Определение основной гидрофизической характеристики (ОГХ) почв является критически важной задачей для моделирования влагопереноса в зоне аэрации и оптимизации режимов орошения. Традиционные методы лабораторного определения ОГХ требуют значительных временных и материальных затрат, при этом полужемпирические модели (ван Генухтена, Косуги) имеют ограничения по точности и интерпретируемости параметров. Разработать и валидировать комплексный подход, объединяющий методы машинного обучения (нейронные сети), классический метод К. Косуги и модель ван Генухтена для быстрого и точного определения ОГХ по гранулометрическому составу почвы.

В условиях глобального изменения климата и дефицита водных ресурсов необходимы эффективные инструменты для управления орошением, особенно в аридных регионах (юг России). Интеграция искусственного интеллекта с физико-основанными подходами может значительно ускорить процесс определения почвенных гидрофизических свойств. **Материалы и методы.** Проведено комплексное сравнение трех методов на одних и тех же данных с количественной оценкой связи параметров модели Косуги с гранулометрическим составом ($R^2 = 0.93$). Предложена гибридная модель, объединяющая преимущества ИНС (скорость) и метода Косуги (физическая интерпретация). Объекты исследования. Изучены четыре типа почв из верхнего горизонта (0-0,5 м) с различным гранулометрическим составом: песок (песчаная: 96,7 % > 0,05 мм); супесь (промежуточная: 60,6 % > 0,05 мм, 14,6 % < 0,001 мм); суглинок (сбалансированная: 40,7 % > 0,05 мм, 21,2 % < 0,01 мм); глина (глинистая: 3,4 % > 0,05 мм, 37,4 % < 0,001 мм). Методология включала метод Косуги, модель ван Генухтена, искусственную нейронную сеть (ИНС), а также статистическую обработку результатов. **Результаты и выводы.** Метод Косуги обеспечивает приемлемое качество описания ОГХ ($R^2 = 0.956$) с физической интерпретацией параметров. Установлена тесная количественная связь параметров Косуги с гранулометрическим составом ($R^2 = 0.93$, $p < 0.001$), позволяющая быстро оценить ОГХ. ИНС успешно восстановила параметры ОГХ ($R^2 = 0.948$) с ускорением в 50-100 раз по сравнению с классическими методами. Гибридный подход, объединяющий ИНС и метод Косуги, обеспечивает оптимальное сочетание скорости вычислений и физической интерпретируемости. Рекомендовано использовать полученные значения доступной влаги для оптимизации режимов орошения в южных регионах России (Ростовская, Волгоградская области).

Ключевые слова: основные гидрофизические характеристики, нейронные сети, метод Косуги, модель ван Генухтена, состав почв, характеристики почв, управление орошением.

Цитирование. Мелихова Е. В., Салугин А. Н. Восстановление основной гидрофизической характеристики почв методом машинного обучения: сравнение с методом Косуги и моделью ван Генухтена. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 59-67. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-06.

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. Основная гидрофизическая характеристика (ОГХ) почвы, отражающая зависимость между капиллярно-сорбционным давлением и влажностью, является доминирующим параметром в моделях влагопереноса в зоне аэрации [1, 2, 3]. Традиционные методы её лабораторного получения и определения полуэмпирическим моделированием ван Генухтена и Косуги требуют значительных трудовых и временных затрат. Современные вызовы агроэкологии включают оптимизацию орошения, сохраняющую водные ресурсы и требующую более точных и быстрых методов определения ОГХ [2, 4, 5]. Традиционная практика определения ОГХ включает три основных подхода: прямые лабораторные методы – применение установок для измерения влагоудержания (керамические напорные пластины, тензиометры, мембранные камеры), требующих больших затрат времени и специального оборудования; полуэмпирические модели – метод ван Генухтена, основанный на эмпирической подгонке параметров, и метод Косуги, основанный на логнормальном распределении размеров пор; педотрансферные функции – эмпирические соотношения, связывающие параметры ОГХ с базовыми свойствами почвы. При разработке ИНС в данной работе использовались современные библиотеки машинного обучения: TensorFlow, Keras и PyTorch, активно применяющиеся российскими и зарубежными исследователями [7-10].

Основными преимуществами нейросетевого подхода являются: способность анализировать сложные нелинейные зависимости между механическими свойствами почвы (гранулометрический состав) и её гидрофизическими характеристиками [11]; универсальность – единая модель может обрабатывать все типы почв без переобучения; высокая скорость расчетов – от миллисекунд до секунд на одной выборке и возможность интеграции с системами реального времени (датчики влажности, IoT), а также способность обнаруживать скрытые закономерности в данных.

Целью работы является разработка и валидация нейросетевого метода восстановления параметров ОГХ по гранулометрическому составу почвы с сравнением результатов с методом Косуги и моделью ван Генухтена.

Материалы и методы. В качестве входных параметров ИНС использованы данные гранулометрического состава 4 образцов почв из верхнего горизонта (0-0,5 м) с различным содержанием песчаных, илистых и глинистых фракций (таблица 1).

Таблица 1 – Гранулометрический состав почв в слое 0-0,5 м для исследуемых образцов почв

Table 1 – Particle-size distribution of soils in the 0-0.5 m layer for the studied soil samples

Диапазон частиц (мм) / Particle size range	Песок (%) / Sand (%)	Супесь (%) / Loamy sand (%)	Суглинок (%) / Loam (%)	Глина (%) / Clay (%)
1,00...0,25	24,8	17,1	8,3	1,3
0,25...0,05	71,9	43,5	32,4	2,1
0,05...0,01	1,36	16,3	25,7	36,5
0,01...0,005	0,60	3,7	6,3	12,2
0,005...0,001	0,14	4,8	6,1	10,5
< 0,001	1,2	14	21,2	37,4
Сумма / Amount	100	100	100	100

Суммарные группировки фракций для входа ИНС: песчаная фракция (> 0,05 мм): 96,7 % (песок), 60,6 % (супесь), 40,7 % (суглинок), 3,4 % (глина); пылеватая фракция (0,05-0,001 мм): 2,1 % (песок), 24,8 % (супесь), 38,1 % (суглинок), 59,2 % (глина); глинистая фракция (< 0,001 мм): 1,2 % (песок), 14,6 % (супесь), 21,2 % (суглинок), 37,4 % (глина).

Классическим методом определения параметров ОГХ является модель ван Генухтена в которой эти параметры определялись нелинейной регрессией к эмпирическому уравнению.

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha|h|)^n]^m} \quad (1)$$

где: $\theta(h)$ – влажность почвы при капиллярно-сорбционном давлении h , см³/см³; θ_r – остаточная (гигроскопическая) влажность (влажность, которая не участвует в движении); θ_s – влажность насыщения (максимальная влажность при полном насыщении); α 1/см – параметр давления входа воздуха; n и m – безразмерные коэффициенты, определяющие форму кривой ($m = 1 - 1/n$).

Формула (1) широко применяется в гидрологии почв и почвоведении при моделировании влагопереноса в ненасыщенных дисперсных средах.

Значение θ_s , θ_1 , θ_2 и θ_r – экспериментальные данные и изменялись в пределах: для песка $\theta_r = 0,02 \dots 0,05$, $\theta_s = 0,35 \dots 0,45$, для глины: $\theta_r = 0,06 \dots 0,08$, $\theta_s = 0,36 \dots 0,42$. Чем выше значение параметра α , тем ниже наименьшая влажность почвы (НВ). С повышением капиллярно-сорбционного давления h влагосодержание в почве уменьшается. Для глинистых почв величина α меньше, чем для песчаных. Параметр n влияет на наклон кривой ОГХ. При больших значениях n наблюдается резкий переход к остаточной влажности.

Таблица 2 – Значения θ_s , θ_r , α и n для разных типов почв

Table 2 – Values of θ_s , θ_r , α and n for different soil types

Тип почвы / Soil type	θ_r	θ_s	α [1/см]	n
Песок / Sand	0,045	0,43	0,145	2,68
Супесь / Loamy sand	0,055	0,43	0,221	1,75
Суглинок / Loam	0,078	0,43	0,036	1,56
Глина / Clay	0,068	0,38	0,008	1,09

Параметры α и n в модели ван Генухтена не имеют реального физического смысла. Альтернативным методом является метод К. Косуги (Kosugi, 1996), основанный на физически более обоснованной концепции, связывающей гранулометрический состав с распределением пор по размерам:

$$\theta(h) = 0.5 \cdot \operatorname{erfc}((h - h_m)/1.414\sigma) \quad (2)$$

где: h_m – логарифм характеристического размера пор; σ – стандартное отклонение логарифма размера пор; $\operatorname{erfc}()$ – дополнительная функция ошибок.

Параметры h_m и σ рассчитывались по формуле (3), (4):

$$h_m = \sum_{i=1}^n f_i \ln(d_i) \quad (3)$$

где f_i – доля фракции, d_i – средний диаметр частиц фракции.

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n f_i (\ln(d_i) - \ln(h_m))^2} \quad (4)$$

Таблица 3 – Результаты аппроксимации ОГХ методом Косуги

(регрессия нелинейным методом наименьших квадратов)

Table 3 – The results of WRC approximation using the Kosugi method (nonlinear least squares regression)

№ образца / Sample №	Тип почвы / Soil type	h_m (см)	σ	R^2	SSE	RMSE (см ³ /см ³)	MAPE (%)
1	Песок / Sand	-1,5262	0,9661	0,9575	0,06649	0,1053	3,2
2	Супесь / Loamy sand	-3,0133	2,3938	0,9693	0,03542	0,07684	4,8
3	Суглинок / Loam	-3,8399	2,4897	0,9553	0,04826	0,08969	6,1
4	Глина / Clay	-5,4957	2,1421	0,9423	0,05676	0,09726	8,7
Среднее / Average				0,9561			

Статистический анализ связи параметров Косуги с гранулометрическим составом: линейная регрессия h_m на содержание фракции < 0,001 мм имеет вид:

$$h_m = -1.84 - 0.109 \cdot f_i$$

Высокая статистическая значимость коэффициент детерминации $R^2 = 0,96$ показывает адекватность математической модели, а коэффициент корреляции $r = -0,978$ – сильную обратную связь.

Эти результаты демонстрируют физическую обоснованность параметров модели Косуги и их прямую связь с гранулометрическим составом. Параметры α , n (h_m и σ) использовались при разработке ИНС для ОГХ с различными ГС. Нейроны выходного слоя определяют эти параметры для уравнения (1). Архитектура НС представлена на рисунке 1.

```
# Нормализация
scaler_X = MinMaxScaler()
scaler_y = MinMaxScaler()
X = scaler_X.fit_transform(data[['Песок (%)', 'Ил (%)', 'Глина (%)', 'Пористость (%)', 'Плотность (г/см³)', 'НВ (%)']])
y = scaler_y.fit_transform(data[['α (1/см)', 'n']])

[ ] # Разделение данных
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2, random_state=42)

[ ] # Создание модели
model = Sequential()
model.add(Input(shape=(X_train.shape[1],)))
model.add(Dense(64, activation='relu'))
model.add(Dropout(0.3))
model.add(Dense(32, activation='relu'))
model.add(Dense(16, activation='relu'))
model.add(Dense(2))
model.compile(optimizer='adam', loss='mse')

[ ] # Обучение
history = model.fit(X_train, y_train, epochs=300, batch_size=8, validation_split=0.1, verbose=0)
```

Рисунок 1 – Архитектура НС
Figure 1 – Neural network architecture

Многослойная архитектура ИНС является полносвязной с прямым распространением ошибки. ИНС имеет восемь входов и два выхода (рисунок 1). На нейроны входного слоя подаются данные о гидрофизических свойствах почв в виде ГС (содержание фракций). Для повышения скорости обучения сети была выбрана функция активации ReLU.

Обучение осуществлялось на 80 % исходных данных с оптимизатором Adam и функцией потерь MSE. Для предотвращения переобучения применялась регуляризация L2. Точность приближения оценивалась по коэффициенту детерминации (R^2) и среднеквадратичной ошибке (MSE) на тестовой выборке (20 % исходных данных). Сводная таблица точности нейронной модели представлена на рисунке 2.

СВОДНАЯ ТАБЛИЦА ТОЧНОСТИ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ SUMMARY TABLE OF NEURAL NETWORK ACCURACY		
Метрика Metric	α (1/см) α (1/cm)	n n
Коэффициент R^2 R-squared	0.992	0.968
Среднеквадратичная ошибка Mean squared error	0.000023	0.011616
Средняя абсолютная ошибка Mean absolute error	0.003416	0.091045
Относительная ошибка (%) Relative error (%)	5.0	4.9

Рисунок 2 – Вывод значений точности нейронной модели
Figure 2 – Output of neural model accuracy values

Значения погрешности фактических и предсказанных значений α и n в процессе обучения ИНС показаны на рисунке 3.

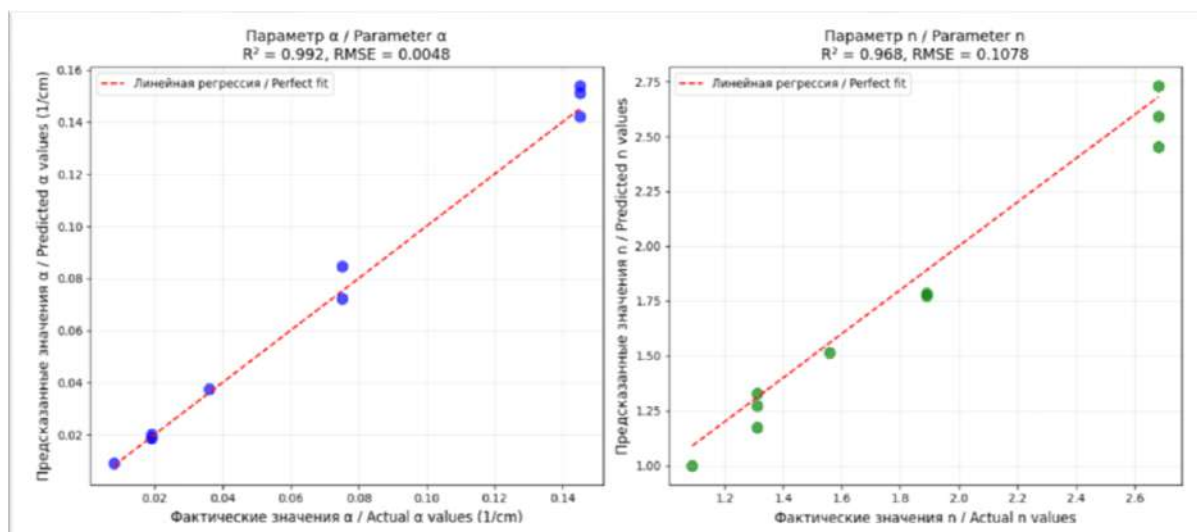


Рисунок 3 – График погрешности линейной регрессии
Figure 3 – Graph of linear regression error (residuals)

Сравнение с полуэмпирическими методами (таблица 2) показало, что нейросетевое моделирование уменьшает погрешность аппроксимации. На рисунке 4 представлен график восстановленных кривых ОГХ для всех почв с использованием формулы (2).

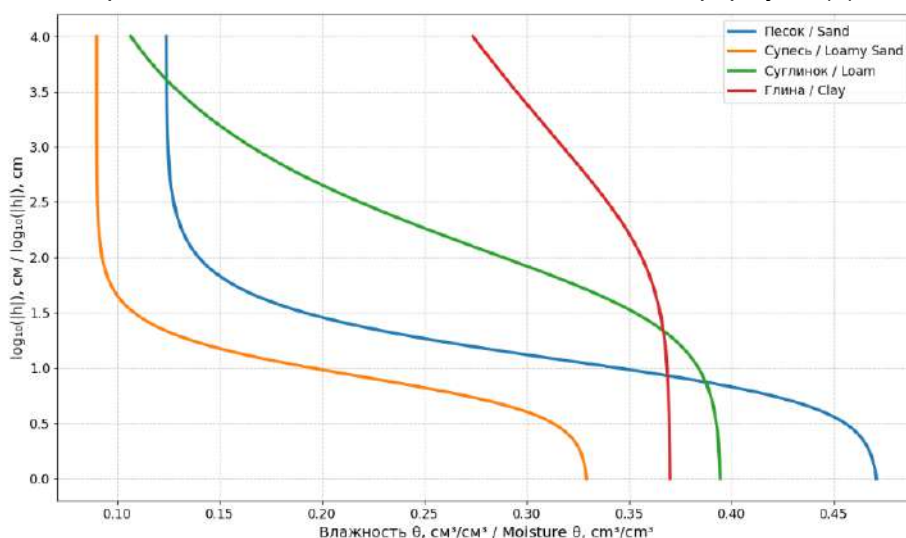


Рисунок 4 – Кривые ОГХ, полученные с помощью ИНС
Figure 4 – Soil Water Retention Curves

ИНС-модель адекватно воспроизводит ОГХ для всех типов почв, включая резкий спад влажности при $h > 100$ см. Максимальное отклонение от экспериментальных данных – $0,005 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ наблюдается в зоне $h = 500-1000$ см.

В результате исследований на разработанной ИНС установлена способность нейросетей восстанавливать ОГХ почв по гранулометрическому составу. Для повышения точности необходимо расширить вектор входящих параметров, включая данные о влагопроводности при насыщении (K_s). Разработанная ИНС может быть использована для изучения динамики водного баланса и оптимального использования водных ресурсов.

Влияние микропористой структуры глины на водоудержание эффективно моделируется скрытыми слоями НС. Анализ результатов проведенных исследований позволил выявить положительные стороны. К ним можно отнести: автоматизацию обработки ГС и возможную интеграцию ИНС с гидрологическими моделями влагопереноса.

В продолжение исследований с целью повышения эффективности определения параметров ОГХ авторы предполагают расширение выборки обучающих массивов с изменением архитектуры ИНС и методов предобработки входных данных (масштабирование, нормализация). Применение нейросетевой концепции в моделировании гидродинамических процессов не предполагает физического обоснования объяснения результатов, как у авторов (Косуги, Pollac), поэтому создание комбинированных моделей, сочетающих ИНС и гидродинамические уравнения, весьма актуально.

Результаты и обсуждение. Параметры α , n (h_m и σ) использовались при разработке ИНС для ОГХ с различными ГС. Нейроны выходного слоя определяют эти параметры для уравнения (1). ИНС восстановила параметры ван Генухтена (α , n) с высокой точностью, представленной в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры модели ван Генухтена
Table 4 – Parameters of the van Genuchten model

Параметр / Parameter	R^2	MSE	RMSE	MAPE, %
α (давление капиллярное) / capillary pressure	0,94	0,002	0,0447	2,1
n (параметр модели) / model parameter	0,91	0,005	0,0707	3,8

Результаты указывают на высокое качество аппроксимации и возможность использования ИНС для прямого определения параметров ван Генухтена по данным гранулометрического состава без промежуточных регрессионных процедур. ИНС также успешно восстановила параметры модели Косуги (таблица 5).

Таблица 5 – Параметры модели Косуги
Table 5 – Kosugi Model Parameters

Параметр / Parameter	R^2	MSE	RMSE	MAPE, %
h_m (характеристический потенциал) / characteristic potential	0,96	0,0008	0,0283	1,4
σ (стандартное отклонение) / standard deviation	0,93	0,0041	0,0640	2,6

Точность восстановления параметров Косуги оказалась выше, чем для параметров ван Генухтена. Это связано, по-видимому, с физически обоснованной связью параметров Косуги с механическим строением почвенной структуры, описываемой гранулометрическим составом.

Численное сравнение методов определения ОГХ представлено в таблице 6.

Таблица 6 – Сравнение методов восстановления параметров ОГХ
Table 6 – Comparison of methods for restoring CCH parameters

Метод / Method	R^2 (среднее)	RMSE (среднее)	MAPE (%)	Время расчета / Calculation time	Физическая интерпретация / Physical interpretation	Сложность / Complexity
Метод Косуги (регрессия) / Kosugi Method (Regression)	0,956	0,0895	5,7	5-10 мин	Высокая / High	Средняя / Medium
ван Генухтена (регрессия) / Van Genuchten (regression)	0,92	0,1050	6,4	3-5 мин	Низкая / Low	Средняя / Medium
ИНС / ANN	0,948	0,0693	2,5	0,05-0,1 мс	Отсутствует / Absent	Низкая (после обучения) / Low (after training)
Гибридный подход (ИНС + Косуги) / Hybrid approach (ANN + Kosugi)	0,962	0,0782	3,1	0,1-1 мс	Средняя / Medium	Средняя / Medium

Заключение. Метод Косуги обеспечивает высокое качество описания ОГХ с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,956$ и физически осмысленной интерпретацией параметров. Установлена количественная связь параметров Косуги с гранулометрическим составом: $h_m = -1,84 - 0,109 \times f_i$ ($R^2 = 0,93$, $p < 0,001$), что позволяет быстро восстановить ОГХ без сложного оборудования.

ИНС успешно восстановила параметры ОГХ с $R^2 = 0,94 - 0,96$ для всех параметров, при этом обеспечивая скорость вычислений в 50-100 раз выше, чем классические методы регрессии.

Гибридный подход, объединяющий ИНС и метод Косуги, демонстрирует оптимальное сочетание скорости расчетов с физическим осмыслением результатов.

Рекомендуемая методология для практического применения:

- ИНС для быстрого получения параметров в системах реального времени.
- Метод Косуги для валидации и физической интерпретации.
- Гибридный подход для разработки моделей оптимального управления орошением.

Conclusion. The Kosugi model provides high-quality description of the SWRC (soil water retention curve) with a determination coefficient $R^2 = 0.956$ and physically meaningful interpretation of its parameters. A quantitative relationship has been established between the Kosugi model parameters and soil texture: $h_m = -1.84 - 0.109 \times f_i$ ($R^2 = 0.93$, $p < 0.001$), enabling rapid estimation of the SWRC without complex equipment.

The ANN successfully retrieved SWRC parameters with $R^2 = 0.94 - 0.96$ for all parameters, while achieving computation speeds 50-100 times faster than classical regression methods.

The hybrid approach, combining the ANN and the Kosugi model, demonstrates an optimal balance between computational speed and physical interpretability of the results.

The recommended methodology for practical application is:

- ANN for rapid parameter estimation in real-time systems.
- The Kosugi model for validation and physical interpretation.
- The hybrid approach for developing optimal irrigation management models.

Библиографический список

1. Микаил Р. Ф., Хазар Е. А., Шейн Е. В., Микаилсой Ф. Д. Определение теплофизических параметров почвы по динамическим данным о ее температуре. Почвоведение. 2024. № 2. С. 237-249.
2. Панкова Т. А., Кравчук А. В., Орлова С. С. и др. Суммарное водопотребление люцерны в зависимости от активной поверхности почвы и биоклиматических коэффициентов. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2024. Т. 18. № 4. С. 49-54.
3. Рогачев А. Ф., Мелихова Е. В. Оптимизация параметров агрофизических систем при орошении светло-каштановых почв. Методы математического моделирования в физике и технических приложениях: монография. Волгоград: Издательство ВолГУ, 2022. С. 176-185.
4. Рыжова Т. А., Мелихова Е. В., Рогачев А. Ф. Компьютерное моделирование и определение основной гидрофизической характеристики на примере светло-каштановых почв Нижнего Поволжья. Известия Нижневолжского аграрного университета. 2019. № 3 (55). С. 397-406.
5. Салугин А. Н. Нейросетевые методы в почвоведении. Почвоведение. 2023. Т. 5. С. 45-52.
6. Салугин А. Н., Балкушкин Р. Н. Исследование вертикального переноса влаги в лизиметрах. Почвоведение. 2023. № 12. С. 1644-1653.
7. Смагин А. В. Машинное обучение для гидрофизики почв. Известия Волгоградского государственного аграрного университета. 2024. Т. 1 (65). С. 12-28.
8. Смагин А. В. Физически обоснованная термодинамическая модель основной гидрофизической характеристики почв для всего диапазона влажности. Почвоведение. 2024. № 9. С. 1191-1206.
9. Смагин А. В. Фундаментальная модель водоудерживания на основе теории расклинивающего давления почвенной влаги. Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2024. Т. 79. № 4. С. 26-40.
10. Lavrukhin E. V., Gerke K. M., Romanenko K. A., Abrosimov K. N., Karsanina M. V. Assessing the fidelity of neural network-based segmentation of soil XCT images based on pore-scale modelling of saturated flow properties. Soil and Tillage Research. 2021. Art. 104942.
11. Mady A. Y., Shein E. V. Optimizing Pedotransfer Functions for Predicting Soil Moisture of Wetting Curve Based on the Effective Degree of Saturation. Eurasian Soil Science. 2021. Vol. 54. No. 3. Pp. 399-408.

References

1. Mikail R. F., Hazar E. A., Shane E. A., Mikailsoy F. D. Definition of teplophysical parameter soil. Soil science. 2024. № 2. Pp. 237-249.
2. Pankova T. A., Kravchuk A. V., Orlova S. S. et al. The total water consumption of alfalfa depends on the active soil surface and bioclimatic coefficients. Agricultural machinery and technology. 2024. V. 18. No 4. Pp. 49-54.
3. Rogachev A. F., Melikhova E. V. Optimization of agrophysical systems parameters during irrigation of light chestnut soils. Methods of mathematical modeling in physics and technical applications: monograph. Volgograd: Publishing House, 2022. Pp. 176-185.
4. Ryzhova T. A., Melikhova E. V., Rogachev A. F. Computerized modeling and definition of the main hydro-physical characteristics of the light chestnut paragliding soil of the lower Volga region. Nizhnevolzhsky Agricultural University. 2019. № 3 (55). Pp. 397-406.
5. Salugin A. N. Neural network methods in soil science. Soil science. 2023. V. 5. Pp. 45-52.
6. Salugin A. N., Balkushkin R. N. Research of Vertical Moisture Transfer in lysimeters. Soil Science. 2023. No 12. Pp. 1644-1653.

7. Smagin A. V. Machine Learning for Soil Hydrophysics. Proceedings of the Volgograd State Agrarian University. 2024. Vol. 1 (65). Pp. 12-28.
8. Smagin A. V. Physically grounded thermodynamic model of the basic hydrophysical characteristic of soils for the entire range of humidity. Soil Science. 2024. No 9. Pp. 1191-1206.
9. Smagin A. V. Fundamental model of water retention based on the theory of soil moisture wedging pressure. Bulletin of Moscow University. Series 17: Soil Science. 2024. Vol. 79. No 4. Pp. 26-40.
10. Lavrukhin E. V., Gerke K. M., Romanenko K. A., Abrosimov K. N., Karsanina M. V. Assessing the fidelity of neural network-based segmentation of soil XCT images based on pore-scale modelling of saturated flow properties. Soil and Tillage Research. 2021. Art. 104942.
11. Mady A. Y., Shein E. V. Optimizing Pedotransfer Functions for Predicting Soil Moisture of Wetting Curve Based on the Effective Degree of Saturation. Eurasian Soil Science. 2021. Vol. 54. No 3. Pp. 399-408.

Информация об авторах

Мелихова Елена Валентиновна, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: mel-v07@mail.ru

Салугин Александр Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник ФНЦ Агроэкологии РАН (Российская Федерация, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), e-mail: saluginan@mail.ru

Authors' Information

Melikhova Elena Valentinovna, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitsky Ave., 26), <https://orcid.org/0000-0002-4041-4270>, e-mail: mel-v07@mail.ru

Salugin Aleksandr Nikolaevich Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Federal Scientific Center for Agroecology and Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation, Russian Academy of Sciences (Russian Federation, Volgograd, Universitsky Ave., 97), <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>, e-mail: saluginan@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-07

THE ASSESSMENT OF THE SOIL WATER REGIMES AND PLANT GROWTH REGULATORS INFLUENCE ON THE POTATO TUBERS ANTHOCYANIN CONTENT WITHIN THE IRRIGATION IN THE LOWER VOLGA REGION

Novikov A. A., Rodin K. A., Melnik S. V., Kazgaliev A. S.

*The All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture is the branch of the A. N. Kostyakov Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: rodin.ka@yandex.ru

Received 16.12.2025

Submitted 18.02.2026

The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation and the budget of the Volgograd region for the project 25-26-20185 on the topic: "The establishment of new dependencies of the accumulation of phenolic compounds (anthocyanins) in potato tubers on agricultural techniques during irrigation."

Abstract

Introduction. The aim of the research is to determine the influence of regulated environmental factors (soil water regime and growth regulators) on the creation of favorable conditions for the accumulation of phenolic compounds (anthocyanins) in tubers of pigmented potatoes. The study of the effect of plant protection products together with various water conditions of the soil on the growth and development of potatoes.

Object. The study of the influence of the water regime of the soil and growth preparations on the content of anthocyanins in potato club varieties. **Materials and methods.** In 2025, at the experimental field of VNIIOZ, there will be a branch of the Federal "FNC VNIIGiM named after A. N. Kostyakov", located in the Sovetsky district of Volgograd near Vodny village, conducted research studying the influence of regulated environmental factors (soil water regime and growth regulators) on the creation of favorable conditions for the accumulation of phenolic compounds (anthocyanins) in tubers of pigmented potatoes (*Solanum Tuberosum* L.) cultivated in arid climates. The field experiment was organized taking into account three key factors presented in different variations. The first factor (A) determined the pre-watering soil moisture level. During the entire growing season, the water regime was maintained at least 80 % HB in the soil layer of 0.6 m (A1). Maintaining the water regime of 80 % HB in a similar layer until the maturation phase, and then 60 % HB (A2). The second factor (B) included potato varieties selected by the Institution of the A.G. Fitz of Potatoes. Lorch: Sadon with light yellow flesh (control) (B1), Northern Lights with purple flesh (B2) and Surprise with red flesh (B3). In the third factor (C), growth regulators were studied: Chlorella (C1) in the form of a suspension with a flow rate of 3 l/ha, Geostim Phit W (C2) – 2 l/ha, Aminoazol (C3) – 3 l/ha, Alavite (C4) – 1 l/ha. The control was the treatment of the leaf surface with water. **Results and conclusions.** The largest above-ground mass was formed in plants of the Sadon variety when treating the leaf surface with Aminoazol, and depending on the water regime of the soil, they varied from 881 to 915 g. The highest tuberous productivity was observed in plantings of the Sadon variety with a combination of 80 % soil water regime and leaf treatment with Aminoazol and amounted to 35.68 t/ha. The highest content of anthocyanins, 249.6 mg/kg, was observed in the water regime variants of 80 and 60 % HB in a 0.6 m layer of the Northern Lights variety when treating the foliage surface with AlaVit. A high coefficient of variation was noted – 42.3 %.

Keywords: cultivation of potatoes, *Solanum tuberosum* L., potato cultivation technologies, plant growth regulators, soil water regimes, potato yields.

Citation. Novikov A. A., Rodin K. A., Melnik S. V., Kazgaliev A. S. The assessment of the soil water regimes and plant growth regulators influence on the potato tubers anthocyanin content within the irrigation in the Lower Volga region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 67-75 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-07.

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 631.671:635.21

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВОДНЫХ РЕЖИМОВ ПОЧВЫ И РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ АНТОЦИАНОВ В КЛУБНЯХ КАРТОФЕЛЯ ПРИ ОРОШЕНИИ В УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Новиков А. А., доктор сельскохозяйственных наук, заместитель директора
Родин К. А., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
Мельник С. В., старший лаборант-исследователь
Кажгалиев А. С., аспирант

ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ имени А. Н. Костякова»
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследование выполнено за счёт гранта РНФ и бюджета Волгоградской области по проекту 25-26-20185 по теме: «Установление новых зависимостей накопления фенольных соединений (антоцианов) в клубнях картофеля от приемов агротехники при орошении».

Актуальность. Цель исследований – определить влияние регулируемых факторов внешней среды (водный режим почвы и регуляторы роста) на создание благоприятных условий для накопления фенольных соединений (антоцианов) в клубнях пигментированного картофеля. **Объект.** Изучение влияния водного режима почвы и ростовых препаратов на содержание антоцианов в клубнях сортов картофеля. **Материалы и методы.** В 2025 году на опытном поле ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» расположенном в Советском районе г. Волгограда рядом с п. Водный были проведены изыскания, изучающие влияние регулируемых факторов внешней среды (водный режим почвы и регуляторы роста) на создание благоприятных условий для накопления фенольных соединений (антоцианов) в клубнях пигментированного картофеля (*Solanum Tuberosum* L.) возделываемого в условиях засушливого климата. Эксперимент в полевых условиях был организован с учетом трех ключевых факторов, представленных в разных вариациях. Первый фактор (А) определял предположительный уровень влажности почвы. В течение всего периода вегетации поддерживался водный режим не ниже 80 % НВ в почвенном слое 0,6 м (А1). Поддержание водного режима 80 % НВ в аналогичном слое до фазы созревания, а затем 60 % НВ (А2). Второй фактор (В) включал сорта картофеля селекции ФГБНУ ФИЦ Картофеля имени А. Г. Лорха: Садон со светло-жёлтой мякотью (контроль) (В1), Северное сияние с фиолетовой мякотью (В2) и Сюрприз с красной мякотью (В3). В третьем факторе (С) изучались регуляторы роста: Хлорелла (*Chlorella*) (С1) в виде суспензии с нормой расхода 3 л/га, Геостим Фит Ж (С2) – 2 л/га, Аминозол (С3) – 3 л/га, АлаВит (С4) – 1 л/га, контролем служила обработка листовой поверхности водой. **Результаты и выводы.** Наибольшая надземная масса была сформирована у растений сорта Садон при обработке листовой поверхности препаратом Аминозол и в зависимости от водного режима почвы изменялись от 881 до 915 г. Наибольшая клубневая продуктивность наблюдалась в посадках сорта Садон при сочетании водного режима почвы 80 % НВ и листовой обработке препаратом Аминозол и составила 35,68 т/га. Наибольшее содержание антоцианов, 249,6 мг/кг, отмечено в варианте водного режима 80 и 60 % НВ в слое 0,6 м у сорта Северное сияние при обработке листовой поверхности препаратом АлаВит. Отмечен высокий коэффициент вариации – 42,3 %.

Ключевые слова: возделывание картофеля, *Solanum tuberosum* L., технологии возделывания картофеля, регуляторы роста растений, водные режимы почвы, урожайность картофеля.

Цитирование. Новиков А. А., Родин К. А., Мельник С. В., Кажгалиев А. С. Оценка влияния водных режимов почвы и регуляторов роста растений на содержание антоцианов в клубнях картофеля при орошении в условиях Нижнего Поволжья. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 67-75. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-07.

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. На основании анализа работ отечественных и зарубежных ученых о влиянии различных регуляторов роста на урожайность и содержание фенольных соединений в растениях, наиболее эффективными являются препараты аминокислот, клеточная суспензия *Chlorella vulgaris* и препараты на основе живых микроорганизмов.

Препарат «Аминозол» (АО Фирма «Август», Россия) – жидкое органическое удобрение с полным комплексом аминокислот, которое производят из продуктов животного происхождения [6]. В опыте [2] было установлено положительное влияние органических удобрений РостОВИТ, ОМЭК-7 и Аминазол на развитие и урожайность ранних сортов картофеля Ривьера, Ред Скарлетт, Коломбо. Обработка семян и некорневая подкормка препаратам «Аминозол» способствовал увеличению урожайности плодов сладкого перца на 0,2-0,4 кг/м² [3].

Действующим веществом препарата «АлаВит» является 5-аминолевулиновая кислота (5-АЛК). Это биогенная аминокислота, являющаяся биосинтетическим предшественником хлорофилла у растений. Согласно исследованию [5], 5-АЛК способствовала накоплению фенольных соединений в растениях картофеля при низкотемпературном стрессе. В работе, проведенной Wang Y. с соавторами внекорневое внесение 5-АЛК или диэтиламиноэтилгексаноат (ДТА-6) улучшали морфологию рисовых саженцев в условиях NaCl-стресса, и стимулировали фотосинтез. В результате снижалось повреждение растений от осмотического стресса, что позволило повысить урожайность возделываемой культуры [9].

Гестим Фит Ж (ООО «Биотехагро», Россия) – это микробиологическое удобрение с фунгицидными и стимулирующими свойствами. Согласно работе, проведенной Волковой А. С., Полидон Био Кукуруза, ПРК Белый Жемчуг Кукуруза + Zn хелат и Геостим Фит Ж повысили урожайность початков сахарной кукурузы. На вариантах опыта с применением Геостим Фит Ж в чистом виде и на фоне Ruscote, а также ПРК Белый Жемчуг Кукуруза + Zn хелат на фоне аммиачной селитры урожайность в среднем была выше на 37,5 % в сравнении с контролем [1]. В исследовании, проведенном [4], для внекорневой обработки растений сои использовали препараты Геостим Фит Ж, БФТИМ, Импровер, Гумэл Люкс, Гелиос БорМолибден. Согласно полученным результатам, прибавка урожая была статистически достоверной по сравнению с контролем.

Клеточная суспензия зеленой микроводоросли *Chlorella vulgaris* содержит комплекс аминокислот, гормонов, витаминов, макро- и микроэлементов. Обработка *Chlorella vulgaris* способствовала увеличению урожайности сортов картофеля в условиях Магаданской области [7]. Работа, проведенная сотрудниками кафедры ботаники и микробиологии факультета естественных наук Хелуанского университета в Египте, заключалась в изучении влияния экстрактов микроводорослей *Chlorella vulgaris*, *Nannochloropsis salina* и *Arthrospira platensis* на растения фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris*) сорта «Бронко». По результатам исследования авторы пришли к выводу о том, что все три вида микроводоросли способствовали усилению работы антиоксидантной системы, за счет чего в растениях опытной группы по сравнению с контролем увеличилось содержание общих фенольных соединений и флавоноидов [8].

Цель исследований – определить влияние регулируемых факторов внешней среды (водный режим почвы и регуляторы роста) на создание благоприятных условий для накопления фенольных соединений (антоцианов) в клубнях пигментированного картофеля.

Условия, материалы и методы. В 2025 году на опытном поле ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» расположенном в Советском районе г. Волгограда рядом с п. Водный были проведены изыскания, изучающие влияние регулируемых факторов внешней среды (водный режим почвы и регуляторы роста) на создание благоприятных условий для накопления фенольных соединений (антоцианов) в клубнях пигментированного картофеля (*Solanum Tuberosum* L.) возделываемого в условиях засушливого климата. Эксперимент в полевых условиях был организован с учетом трех ключевых факторов, представленных в разных вариациях.

Первый фактор (А) определял предполивной уровень влажности почвы. В течение всего периода вегетации поддерживался водный режим не ниже 80 % НВ в почвенном слое 0,6 м (А₁). Поддержание водного режима 80 % НВ в аналогичном слое до фазы созревания, а затем 60 % НВ (А₂).

Второй фактор (В) включал сорта картофеля селекции ФГБНУ ФИЦ Картофеля имени А. Г. Лорха: Садон с светло-жёлтой мякотью (контроль) (B_1), Северное сияние с фиолетовой мякотью (B_2) и Сюрприз с красной мякотью (B_3).

В третьем факторе (С) изучались регуляторы роста: Хлорелла (*Chlorella*) (C_1) в виде суспензии с нормой расхода 3 л/га, Геостим Фит Ж (C_2) – 2 л/га, Аминозол (C_3) – 3 л/га, АлаВит (C_4) – 1 л/га, контролем служило обработка листовой поверхности водой.

Осеннюю пахоту проводили на глубину 0,25-0,27 м. В третьей декаде марта почву бороновали в два прохода. Во второй-третьей декаде мая вносили химические удобрения нитроаммофоску $N_{150}P_{60}K_{130}$, дозировка которой была рассчитана, исходя из урожайности 30 т/га клубней, с использованием разбрасывателя РУМ-500 (рисунок 1), участок обрабатывали доминатором Румпстад (рисунок 2), затем на тяге трактора МТЗ-82 подготавливали гребни фрезерным культиватором RF-4 (рисунок 3). Картофель высаживали 19 июня сажалкой СН-4Б при густоте 60 тыс. шт./га (рисунок 4). Способ полива – дождевание машинной шланго-барабанного типа Rainstar.

Опыт был заложен с систематическим размещением вариантов в трехкратной повторности. Площадь опытных делянок для режима орошения 1440,0 м², сортов – 480 м², а для применения ростовых препаратов – 96 м². Нормы внесения ростовых препаратов пересчитывали на площадь опытной делянки растворяли в 10 литрах воды и вносили ранцевым опрыскивателем.

На опытном поле преобладает светло-каштановая почва, относящаяся к тяжелосуглинистому типу. Глубина гумусового слоя достигает 0,25 м, а содержание гумуса не превышает 1,19 %. Анализ почвы показал следующее: содержание гидролизующего азота (определено по методу Шмелевой и Тютерева) составляет 31,0 мг/кг, что характеризуется как низкий показатель. Количество подвижного фосфора (P_2O_5), измеренное по методу Мачигина, равно 44,0 мг/кг, что соответствует среднему уровню. Содержание калия (K_2O), измеренное на пламенном фотометре, составляет 316,0 мг/кг, что свидетельствует о его повышенном содержании. Реакция почвенного раствора (рН) составляла 7,4, сумма обменных оснований – 42,1 мг-экв/100 г (по Каппену).

Общее содержание полифенолов определяли колориметрическим методом с использованием реактива Фолина – Чокальтеу по модифицированной методике Синглтона и Росси (1965). Для экстракции 0,2 г лиофилизированного порошка (кожица + мякоть) смешивали с 2 мл метанола (80 % по объёму) и встряхивали в течение 1 минуты. Затем экстракты фильтровали через фильтровальную бумагу Whatman № 5. Для количественного определения 100 мкл супернатанта смешивали с 750 мкл реактива Фолина – Чокальтеу на 1 минуту и инкубировали при температуре 22 °С в течение 90 минут на водяной бане. Оптическую плотность измеряли при длине волны 750 нм, а ТПК определяли по стандартной кривой галловой кислоты.

Общее содержание антоцианов определяли, как описано ранее (Abdel-Aal and Hucl, 1999). Образцы лиофилизировали, 1 г порошка гомогенизировали в 25 мл подкисленного этанола (рН 1), инкубировали в течение 30 минут при температуре 50 °С и центрифугировали при 5400 g в течение 15 минут при температуре 4 °С. Оптическую плотность надосадочной жидкости измеряли при длинах волн 530 и 700 нм.

Наблюдения, учет и измерения проводились согласно рекомендованным методикам, Б. А. Доспехова (1979 г.), В. Н. Плешакова (1983 г.) и других авторов.

Результаты и обсуждение. При водном режиме почвы 80 % НВ в увлажняемом слое 0,6 м было проведено 8 поливов нормой 300 м³/га при оросительной норме 2400 м³/га. В варианте водного режима 80 % НВ в слое почвы 0,6 м от посадки до фазы созревания картофеля, а затем 60 % НВ до отмирания ботвы было проведено 5 поливов по 300 м³/га и 1 полив 600 м³/га, а оросительная норма составила 2100 м³/га (таблица 1).

Таблица 1 – Число поливов, поливные и оросительные нормы
Table 1 – Number of irrigations, irrigation and irrigation standards

Водный режим почвы / Water regime of the soil	Количество поливов, шт. / Number of irrigations, pcs	Поливная норма, м ³ /га / Irrigation rate, m ³ /ha	Оросительная норма, м ³ /га / Irrigation rate, m ³ /ha
80 % НВ, h=0,6 м	8	300	2400
80 и 60 % НВ, h=0,6 м	5 и 1	300 и 600	2100

Результаты биометрических наблюдений показывают (таблица 2), что высота и масса ботвы растений сортов картофеля в варианте водного режима почвы 80 % НВ в слое 0,6 м и сочетании с изучаемыми ростовыми препаратами были на 2,29-6,01 % и 3,72-17,44 % выше, чем в варианте водного режима почвы 80 и 60 % НВ в слое 0,6.

Максимальные приросты биомассы были отмечены в посадках сорта Садон при опрыскивании листовой поверхности препаратом Аминозол и в зависимости от водного режима почвы изменялись от 881 до 915 г. В посадках сортов Сюрприз и Северное сияние этот показатель был ниже и составил 230 (80 % НВ) и 202 г. (80 и 60 % НВ) и 500 г. (80 % НВ) и 472 г (80 и 60 % НВ).

При опрыскивании листовой поверхности препаратом Геостим Фит Ж приросты биомассы у сорта Садон были ниже и в вариантах водных режимов он составил 719 и 753 г, а в посадках сортов Сюрприз и Северное сияние 203 (80 % НВ) и 172 г. (80 и 60 % НВ) и 375 г. (80 % НВ) и 342 г (80 и 60 % НВ).

Наименьшая сформированная биомасса получена в контрольном варианте и в зависимости от водного режима и сорта варьировала от 153 до 188 г.

Таблица 2 – Биометрические показатели различных сортов в межфазный период «цветение-созревание» в среднем с 1 м²

Table 2 – Biometric indicators of various varieties in the interphase period "flowering-ripening" on average from 1 m²

Водный режим почвы / Water regime of the soil	Сорта / Varieties	Ростовые препараты / Growth preparations	Высота растений, м / Height of plants, m	Кол-во стеблей, шт. / Number of stems, pcs	Масса ботвы, г / Weight of tops, g
80 % НВ, h = 0,6 м	Садон / Sadon	Хлорелла / Chlorella	62,4	4,4	660
		Геостим Фит Ж / Geostim Fit W	70,4	6,1	753
		АлаВит / Alawite	68,2	5,1	686
		Аминозол / Aminoazol	73,1	9,2	915
		Контроль / Control	55,6	3,4	335
	Сюрприз / Surpris	Хлорелла / Chlorella	37,4	3,1	195
		Геостим Фит Ж / Geostim Fit W	39,3	4,2	203
		АлаВит / Alawite	38,2	3,6	220
		Аминозол / Aminoazol	43,1	4,7	230
		Контроль / Control	36,6	2,5	188
	Северное сияние / Severnoe siyanie	Хлорелла / Chlorella	48,2	4,6	320
		Геостим Фит Ж / Geostim Fit W	52,1	5,4	375
		АлаВит / Alawite	50,4	5,4	342
		Аминозол / Aminoazol	55,2	6,6	500
		Контроль / Control	44,3	3,5	288
80 и 60 % НВ, h = 0,6 м	Садон / Sadon	Хлорелла / Chlorella	60,3	4,1	627
		Геостим Фит Ж / Geostim Fit W	67,1	5,4	719
		АлаВит / Alawite	66,6	4,9	651
		Аминозол / Aminoazol	71,2	8,9	881
		Контроль / Control	53,3	3,1	301
	Сюрприз / Surpris	Хлорелла / Chlorella	35,2	2,7	161
		Геостим Фит Ж / Geostim Fit W	38,4	3,7	172
		АлаВит / Alawite	37,1	3,2	199
		Аминозол / Aminoazol	41,6	4,3	202
		Контроль / Control	34,4	2,1	153
	Северное сияние / Severnoe siyanie	Хлорелла / Chlorella	45,9	4,2	291
		Геостим Фит Ж / Geostim Fit W	50,1	5,1	342
		АлаВит / Alawite	48,0	4,9	311
		Аминозол / Aminoazol	52,9	6,3	472
		Контроль / Control	41,8	3,2	255

Мякоть клубней картофеля – кладезь углеводов, витаминов и антиоксидантов. Это основная часть растения, которая употребляется в пищу. В настоящее время разнообразие окраски мякоти варьирует от белой до красной и фиолетовой. Сортообразцы с цветной мякотью обладают особой ценностью, так как считаются источниками антиоксидантов, в том числе антоцианов. Так, в варианте водного режима 80 % НВ в слое 0,6 м самое низкое общее содержание антоцианов отмечено у сорта Садон, которое в зависимости от обработки по листу препаратами варьировало от 0,9 до 2,1 мг/кг (таблица 2). Наибольшее количество антоцианов, 249,6 мг/кг, отмечено в варианте водного режима 80 и 60 % НВ в слое 0,6 м у сорта Северное сияние при обработке листовой поверхности препаратом АлаВит. Отмечен высокий коэффициент вариации – 42,3 %.

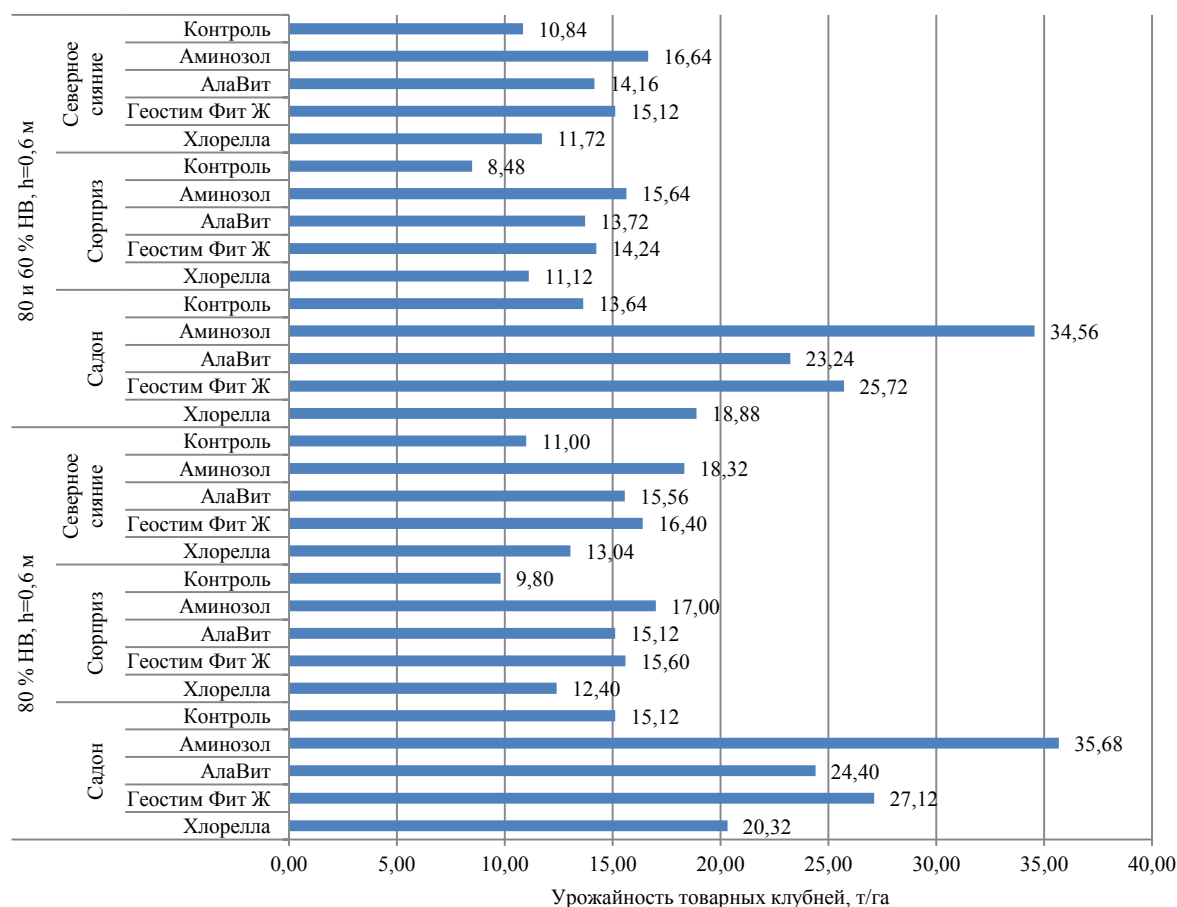
Таблица 3 – Общее содержание антоцианов в клубнях картофеля

Table 3 – Total anthocyanin content in potato tubers

Table 6 – Total anthocyanin content in potato tubers			
Водный режим почвы / Water regime of the soil	Сорта / Varieties	Ростовые препараты / Growth preparations	Общее содержание антоцианов, мг/кг / Total anthocyanin content, mg/kg
80 % НВ, h=0,6 м	Садон / Sadon	Хлорелла / Chlorella	1,2 ± 0,1
		Геостим Фит Ж / Geostim Fit W	1,6 ± 0,1
		АлаВит / Alawite	2,1 ± 0,1
		Аминозол / Aminoazol	1,9 ± 0,1
		Контроль / Control	0,9 ± 0,1
	Сюрприз / Surpris	Хлорелла / Chlorella	154,6 ± 0,2
		Геостим Фит Ж / Geostim Fit W	169,3 ± 0,2
		АлаВит / Alawite	203,5 ± 0,4
		Аминозол / Aminoazol	189,2 ± 0,3
		Контроль / Control	144,2 ± 0,2
	Северное сияние /	Хлорелла / Chlorella	171,2 ± 0,2
		Геостим Фит Ж / Geostim Fit W	184,1 ± 0,3
		АлаВит / Alawite	224,3 ± 0,4
		Аминозол / Aminoazol	201,8 ± 0,4
		Контроль / Control	154,3 ± 0,2
80 и 60 % НВ, h=0,6 м	Садон / Sadon	Хлорелла / Chlorella	1,5 ± 0,1
		Геостим Фит Ж / Geostim Fit W	1,9 ± 0,1
		АлаВит / Alawite	2,5 ± 0,1
		Аминозол / Aminoazol	2,2 ± 0,1
		Контроль / Control	1,1 ± 0,1
	Сюрприз / Surprise	Хлорелла / Chlorella	169,5 ± 0,2
		Геостим Фит Ж / Geostim Fit W	184,7 ± 0,3
		АлаВит / Alawite	218,9 ± 0,4
		Аминозол / Aminoazol	202,8 ± 0,4
		Контроль / Control	156,2 ± 0,2
	Северное сияние / Severnoe siyanie	Хлорелла / Chlorella	187,4 ± 0,3
		Геостим Фит Ж / Geostim Fit W	197,6 ± 0,3
		АлаВит / Alawite	249,6 ± 0,4
		Аминозол / Aminoazol	217,2 ± 0,4
		Контроль / Control	168,9 ± 0,2
C _v , %			42,3

Определение биологической урожайности показало, что наименьшая продуктивность, 9,80 т/га, получена в посадках сорта Сюрприз в варианте водного режима почвы 80 и 60 % НВ в сочетании с листовой обработкой водой (рисунок 1). Обработка ростовыми препаратами Аминозол, 5-АЛК, Геостим Фит Ж и Хлорелла способствовали увеличению урожайности сорта Сюрприз до 17,00, 15,12, 15,60 и 12,40 т/га товарных клубней. Такая же тенденция прослеживается и на других сортах и водном режиме.

Наибольшая урожайность товарных клубней, 35,68 т/га, сформировалась в посадках сорта Садон при сочетании водного режима почвы 80 % НВ и листовой обработке препаратом Аминозол.



НСР₀₅ А – 1,9 т/га; В – 1,2 т/га; С – 0,9 т/га; ABC – 2,8 т/га
 NSR₀₅ а – 1,9 т/га; В – 1,2 т/га; С – 0,9 т/га; ABC – 2,8 т/га

Рисунок 1 – Урожайность сортов картофеля в зависимости от факторов опыта

Figure 1 – Potato variety yields depending on experience factors

Заключение. Результаты приведённых в первый год реализации проекта исследований позволяют говорить о наблюдаемом влиянии различных водных режимов почвы и применяемых регуляторов роста на рост, развитие и продуктивность растений и качественный состав клубней картофеля.

1. Водные режимы почвы оказали существенное влияние на продуктивность и накопление антоцианов в картофеле с пигментированной мякотью. Снижение водообеспеченности посадок картофеля с пигментированной мякотью после фазы цветения позволило накопить большее количество антоцианов в клубнях. При этом уровень урожайности оставался относительно стабильным.

2. Достоверное влияние на накопление антоцианов наибольшее содержание антоцианов в клубнях картофеля наблюдалось при применении препаратов АлаВит и Аминозол.

3. Наибольшая надземная масса была сформирована у растений сорта Садон при обработке листовой поверхности препаратом Аминозол и в зависимости от водного режима почвы изменялись от 881 до 915 г.

4. Наибольшая клубневая продуктивность наблюдалась в посадках сорта Садон при сочетании водного режима почвы 80 % НВ и листовой обработке препаратом Аминозол и составила 35,68 т/га.

5. Наибольшее содержание антоцианов, 249,6 мг/кг, отмечено в варианте водного режима 80 и 60 % НВ в слое 0,6 м у сорта Северное сияние после обработки по листу препаратом АлаВит. Отмечен высокий коэффициент вариации – 42,3 %.

Conclusion. The results of the research conducted in the first year of the project allow us to talk about the observed effect of various water regimes of the soil and applied growth regulators on the growth, development and productivity of plants and the qualitative composition of potato tubers.

1. Soil water regimes had a significant impact on productivity and accumulation of anthocyanins in potatoes with pigmented flesh. A decrease in the water availability of potato plants with pigmented flesh after the phase of the beginning of the death of the tops allowed the accumulation of more anthocyanins in the tubers. At the same time, the yield level remained relatively stable.

2. Significant effect on the accumulation of anthocyanins the highest content of anthocyanins in potato tubers was observed with the use of drugs AlaVit and Aminoazol.

3. The largest aboveground mass was formed in plants of the Sadon variety when treating the leaf surface with Aminoazol, and depending on the water regime of the soil, they varied from 881 to 915 g.

4. The highest tuberous productivity was observed in the planting of the Sadon variety with a combination of 80 % soil water regime and leaf treatment with Aminoazol and amounted to 35.68 t/ha.

5. The highest content of anthocyanins, 249.6 mg/kg, was observed in the water regime variants of 80 and 60 % HB in a 0.6 m layer of the Northern Lights variety when treating the foliage surface with AlaVit. A high coefficient of variation was noted – 42.3 %.

Библиографический список

1. Волкова А. С. Совершенствование элементов технологии возделывания сахарной кукурузы в условиях центральной зоны Краснодарского края. Журнал биологических наук и сельского хозяйства. 2025. Т. 1. № 1. С. 1-12.
2. Дыйканова М. Е. Эффективность органических удобрений на урожайность картофеля раннего в условиях Нечерноземной зоны. Редакционная коллегия. 2024. С. 163.
3. Кислов Д. А., Пьяных А. В., Зинкевич Е. П. Влияние органо-минерального удобрения аминоксолом на продуктивность перца сладкого. Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблемы. 2022. С. 459-465.
4. Москвичев А. Ю., Агапова С. А. Отработка отдельных приемов в технологии возделывания зернобобовых культур в условиях Нижней Волги. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 3 (67). С. 96-103.
5. Павлючкова С. М., Спивак Е. А., Вершиловская И. В., Недведь Е. Л., Шкраба Е. В. Влияние экзогенной 5-аминолевулиновой кислоты на функционирование антиоксидантной системы растений картофеля (*Solanum tuberosum*) при низкотемпературном стрессе. Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук. 2014. № 3. С. 46-51.
6. Сафина Р. Р., Окунев Р. В., Рахманова Г. Ф., Гарафутдинова К. Р. Содержание аминокислот в растениях томата при применении препаратов «Глутамат натрия» и «Аминоксол» в условиях солевого стресса. Аграрная наука. 2023. № 12. С. 124-128.
7. Чмулев И. С. Исследования по изучению влияния суспензии микроводоросли *Chlorella vulgaris* bin на сорта и сортообразцы картофеля, выполненные впервые в условиях магаданской области. Международный научно-исследовательский журнал. 2023. № 1 (127). С. 26.
8. Gharib, F. A. E. L., Osama, K., Sattar, A. M. A. E., Ahmed, E. Z. Impact of *Chlorella vulgaris*, *Nannochloropsis salina*, and *Arthrospira platensis* as bio-stimulants on common bean plant growth, yield and antioxidant capacity. Scientific Reports. 2024. V. 14. No 1. Art. 1398.
9. Wang Y., Tan C., Li Y., Meng F., Du Y., Zhang S. Jiang W., Feng N., Zhao L., Zheng D. 5-ALA, DTA-6, and nitrogen mitigate NaCl stress by promoting photosynthesis and carbon metabolism in rice seedlings. Metabolites. 2024. V. 14. No 3. Art. 142.

References

1. Volkova A. S. Improvement of the elements of sugar corn cultivation technology in the conditions of the central zone of the Krasnodar Territory. Journal of Biological Sciences and Agriculture. 2025. V. 1. No 1. Pp. 1-12.
2. Dyikanova M. E. The Effect of Organic Fertilizers on the Yield of Early Potatoes in the Non-Chernozem Zone. Editorial Board. 2024. P. 163.
3. Kislov D. A., Pyanikh A. V., Zinkevich E. P. Influence of organic mineral fertilizer Aminoazol on productivity of sweet pepper. Actual scientific and technical means and agricultural problems. 2022. P. 459-465.
4. Moskvichev A. Yu., Agapova S. A. Working out of separate techniques in technology of cultivation of leguminous crops in the conditions of the Lower Volga. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex. 2022. No 3 (67). Pp. 96-103.
5. Pavlyuchkova S. M., Spivak E. A., Vershilovskaya I. V., Nedved' E. L., Shkraba E. V. Influence of exogenous 5-aminolevulinic acid on the functioning of the antioxidant system of potato plants (*Solanum tuberosum*) under low-temperature stress. Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of Biological Sciences. 2014. No 3. Pp. 46-51.
6. Safina R. R., Okunev R. V., Rakhmanova G. F., Garafutdinova K. R. The content of amino acids in tomato plants when using sodium glutamate and Aminoazol under conditions of salt stress. Agrarian Science. 2023. No 12. Pp. 124-128.
7. Chmulev I. S. Research on the effect of the microalgae suspension *Chlorella vulgaris* bin on potato varieties and cultivars, performed for the first time in the Magadan region. International Research Journal. 2023. No 1 (127). P. 26.
8. Gharib, F. A. E. L., Osama, K., Sattar, A. M. A. E., Ahmed, E. Z. Impact of *Chlorella vulgaris*, *Nannochloropsis salina*, and *Arthrospira platensis* as bio-stimulants on common bean plant growth, yield and antioxidant capacity. Scientific Reports. 2024. V. 14. No 1. Art. 1398.
9. Wang Y., Tan C., Li Y., Meng F., Du Y., Zhang S. Jiang W., Feng N., Zhao L., Zheng D. 5-ALA, DTA-6, and nitrogen mitigate NaCl stress by promoting photosynthesis and carbon metabolism in rice seedlings. Metabolites. 2024. V. 14. No 3. Art. 142.

Информация об авторах

Новиков А. А., доктор сельскохозяйственных наук, заместитель директора, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова» (Российская Федерация, Волгоград), e-mail: alexeynovikov@inbox.ru

Родин К. А., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова» (Российская Федерация, Волгоград), <https://orcid.org/0000-0003-3808-2729>, e-mail: rodin.ka@yandex.ru

Мельник С. В., старший лаборант-исследователь, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова» (Российская Федерация, Волгоград).

Кажгалиев А. С., аспирант, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова» (Российская Федерация, Волгоград).

Authors' Information

Novikov A. A., Doctor of Agricultural Sciences, Deputy Director, All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture, branch of the Federal Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, Volgograd), e-mail: alexeynovikov@inbox.ru

Rodin K. A., Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture, branch of the Federal Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, Volgograd). <https://orcid.org/0000-0003-3808-2729>. e-mail: rodin.ka@yandex.ru

Melnik S. V., Senior Research Laboratory Assistant, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – branch of the Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, Volgograd).

Kazhgaliyev A. S., Postgraduate Student, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov" (Russian Federation, Volgograd).

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-08

THE ANALYSIS OF THE VOLGOGRAD REGION LANDS FUND CURRENT TRENDS AND PROSPECTS**Petrov N. Yu., Zvereva G. N., Podlegaeva A. G.***Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: npetrov60@list.ru

Received 22.01.2026

Submitted 24.03.2026

Abstract

Introduction. In recent decades, the management of land resources in the Volgograd region has undergone significant transformations due to the complex interaction of socio-economic, legal, and environmental factors. This article aims to systematically analyze the key trends in this area and identify the main challenges and promising solutions. As one of the largest agrarian and industrial regions in the Russian Federation, the Volgograd region has unique natural and climatic conditions, making effective land management crucial. In the context of growing anthropogenic impact and climate change, the issue of sustainable land use is becoming increasingly important. **Materials and methods.** The theoretical basis of the study was the works of modern scientists and experts dealing with the issues of land resources in the Russian Federation and the region. The research evidence base included scientific works indexed in the RSCI and RSCI citation and analytical databases on land resources. **Results and conclusions.** The article discusses current problems in the land use system of agricultural lands in the region. To overcome existing problems and improve the efficiency of land management, it is necessary to develop and implement a set of measures aimed at optimizing the structure of land use, improving soil quality, and increasing environmental safety. In particular, it is advisable to consider the possibility of introducing innovative technologies in agriculture, such as precision farming and the use of biotechnology, which will increase the productivity of land and reduce the negative impact on the environment. Another important aspect is to raise awareness among agricultural producers and the general public about modern methods of land management and their benefits. Therefore, the development of the land resources in the Volgograd region is a complex and multifaceted issue that requires a comprehensive approach and coordination among various stakeholders. Only through scientific analysis and the implementation of modern management practices can we ensure the sustainable development of the region and preserve its natural resources for future generations.

Keywords: land resources, land funds, agricultural land, land categories, land management, and land use.

Citation. Petrov N. Yu., Zvereva G. N., Podlegaeva A. G. The analysis of the Volgograd region lands fund current trends and prospects. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 75-84 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-08.

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 submitted.

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

УДК 332.334(470.45)

**АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕНДЕНЦИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЗЕМЕЛЬНОГО
ФОНДА ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ****Петров Н. Ю., доктор сельскохозяйственных наук, профессор****Зверева Г. Н., кандидат экономических наук, доцент****Подлегаева А. Г., магистр**ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. В последние десятилетия управление земельными ресурсами Волгоградской области претерпело значительные трансформации, обусловленные комплексным взаимодействием социально-экономических, правовых и экологических факторов. Данная статья посвящена систематическому исследованию ключевых тенденций в данной сфере, а также выявлению основных проблем и перспективных направлений их решения. Волгоградская область, являясь одним из крупнейших аграрно-индустриальных регионов Российской Федерации, обладает уникальными природно-климатическими условиями, что обуславливает высокую значимость эффективного управления земельными ресурсами. В условиях растущего антропогенного воздействия и климатических изменений, вопросы рационального использования земельных угодий приобретают особую актуальность.

Материалы и методы. Теоретической основой исследования послужили работы современных учёных и экспертов, занимающиеся вопросами земельных ресурсов в РФ и регионе. В доказательную базу исследования вошли научные труды индексируемые в цитатно-аналитических базах РИНЦ, RSCI по земельным ресурсам. **Результаты и выводы.** Рассмотрены актуальные проблемы в системе землепользования сельхозугодий региона. Для преодоления существующих проблем и повышения эффективности управления земельными ресурсами необходимо разработать и внедрить комплекс мер, направленных на оптимизацию структуры землепользования, улучшение качества почв и повышение уровня экологической безопасности. В частности, целесообразно рассмотреть возможность внедрения инновационных технологий в сельское хозяйство, таких как точное земледелие и использование биотехнологий, что позволит повысить продуктивность земельных угодий и снизить негативное воздействие на окружающую среду.

Важным аспектом также является повышение уровня информированности сельскохозяйственных производителей и населения о современных методах управления земельными ресурсами и их преимуществах. Таким образом, развитие земельного фонда Волгоградской области представляет собой сложную и многоаспектную проблему, требующую комплексного подхода и координации усилий различных заинтересованных сторон. Только на основе научного анализа и внедрения современных методов управления можно обеспечить устойчивое развитие региона и сохранение его природных богатств для будущих поколений.

Ключевые слова: земельные ресурсы, земельные фонды, сельскохозяйственные земли, категории земель, управление земельными ресурсами, землепользование.

Цитирование. Петров Н. Ю., Зверева Г. Н., Подлегаева А. Г. Анализ современных тенденций и перспективы развития земельного фонда Волгоградской области. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 75-84. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-08.

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. В современных условиях развития агропромышленного комплекса Российской Федерации эффективное управление земельными ресурсами приобретает стратегическое значение, особенно для регионов с высокой долей сельскохозяйственных угодий. Волгоградская область, являясь одним из ведущих аграрных регионов РФ, обладает значительным земельным потенциалом, так по площади посевов сельскохозяйственных культур в 2025 году субъект находится на шестом месте в РФ и на третьем в ЮФО, однако его использование сопровождается рядом системных проблем, обусловленных как природно-климатическими, так и социально-экономическими факторами. Для достижения этого необходимо грамотное государственное управление, неотъемлемой составляющей которого выступает эффективное правовое регулирование происходящих процессов [1].

Несмотря на устойчивое преобладание сельскохозяйственных земель в структуре земельного фонда Волгоградской области, сохраняются негативные процессы, связанные с деградацией почвенного покрова. Существенные площади земель подвержены водной и ветровой эрозии, засолению и снижению уровня плодородия, что особенно обостряется в

условиях учащающихся засух и климатической нестабильности. Данные процессы приводят к снижению продуктивности земель, что негативно отражается на продовольственной безопасности региона. Негативные последствия нерешенности ряда проблем организации рационального использования и охраны земель сельскохозяйственного назначения создают весомые риски для обеспечения продовольственной безопасности страны и сохранения её земельного потенциала для будущих поколений россиян [2]. Также стоит отметить, что отечественные ученые, обозначают в своих исследованиях крайнюю заинтересованность в разработке собственных технологий селекции, семеноводства и выращивания зерновых культур [3], что является важным аспектом для повышения эффективности использования земель сельхозназначения Волгоградского региона как одного из лидеров страны по производству зерновых.

Дополнительной проблемой является наличие неиспользуемых и зарастающих сельскохозяйственных земель, вовлечение которых в хозяйственный оборот осуществляется недостаточно равномерно, не все имеющиеся земельные ресурсы сельскохозяйственного назначения используются в сельскохозяйственном производстве. Данная тенденция характерна не только для Волгоградской области, но и других регионов РФ, так Борисова Т. Ю. в своём исследовании отмечает, что не все имеющиеся земельные ресурсы сельскохозяйственного назначения используются в сельскохозяйственном производстве, существует необходимость вовлечения в сельскохозяйственный оборот неиспользуемых земель [4]. Несмотря на усиление государственного земельного контроля и внедрение цифровых инструментов мониторинга, сохраняются сложности в обеспечении рационального распределения земельных ресурсов, а также в предотвращении их концентрации у ограниченного круга крупных аграрных структур. Рост доли арендованных земель, с одной стороны, способствует повышению эффективности землепользования, а с другой – усиливает риски монополизации и снижает устойчивость мелких и средних сельскохозяйственных производителей. Однако нельзя не согласиться с Романовым А. Н., что на сегодняшний день восстановление и популяризация сельского уклада жизни становится актуальным и одновременно востребованным для большинства регионов нашей огромной страны [5]. Также в этом контексте заслуживают внимания исследования учёных Волгоградского аграрного университета, занимающиеся исследованиями экономического развития сельских территорий и пространственным развитием экономики сельского хозяйства региона [6, 7].

Существенным ограничением эффективного управления земельными ресурсами остаётся недостаточная адаптация традиционных моделей земледела к современным климатическим вызовам. Хотя в регионе реализуются программы мелиорации и почвосберегающих технологий, их охват пока не в полной мере соответствует масштабам деградационных процессов. В отдельных случаях наблюдается несоответствие между объёмами финансирования и фактическими результатами восстановления земель, что снижает отдачу от бюджетных вложений.

В этой связи возникает объективная необходимость комплексной оценки современного состояния земель сельхозназначения Волгоградской области, выявления ключевых тенденций его использования и определения направлений повышения эффективности управления земельными ресурсами. Ряд других ученых отмечает, что для системного управления земельными ресурсами в сельском хозяйстве выделены способы регулирования нормативно-правового, организационно-экономического, административного, структурного, социального воздействия обратной связи в институциональной, функциональной, оперативной, обеспечивающей подсистемах управления, которые повышают оперативность и эффективность принятия управленческих решений [8]. Особую актуальность данная проблема приобретает на уровне конкретных сельскохозяйственных организаций, в том числе типичных хозяйств региона, где результаты землепользования напрямую зависят от качества управленческих решений и степени адаптации к природно-климатическим рискам.

Материалы и методы. Теоретической базой исследования послужили работы современных учёных и экспертов, занимающихся вопросами земельных ресурсов в РФ и регионе. В качестве информационной базы исследования выступили официальные материалы Федеральной службы государственной статистики, Территориального органа федеральной службы государственной статистики, Администрации Волгоградской области, Министерства сельского хозяйства Российской Федерации и Комитета по сельскому хозяйству Вол-

гоградской области, Росреестра, нормативно-правовые акты, публикации в журналах и в сети Интернет. Для оценки влияния использования земельного потенциала на уровень развития агропромышленного комплекса Волгоградской области использовались методы экономического и статистического анализа, что позволило выявить масштабы, особенности и тенденции.

Результаты. Как ранее отмечалось, Волгоградская область относится к числу ведущих аграрных регионов Южного федерального округа, в которых земельные ресурсы выступают базовым фактором обеспечения продовольственной безопасности и устойчивого социально-экономического развития.

Земельный фонд Волгоградской области характеризуется выраженным преобладанием сельскохозяйственных земель, что обусловлено природно-климатическими условиями степной зоны и высоким уровнем естественного плодородия почв. По состоянию на 1 января 2025 года совокупная площадь земельного фонда региона составляет 11 287,7 тыс. га. При этом сельскохозяйственные земли занимают 9 117,2 тыс. га, что эквивалентно 80,77 % (рисунок 1).

Данная особенность позволяет отнести Волгоградскую область к числу регионов-лидеров РФ и по доле пашни.

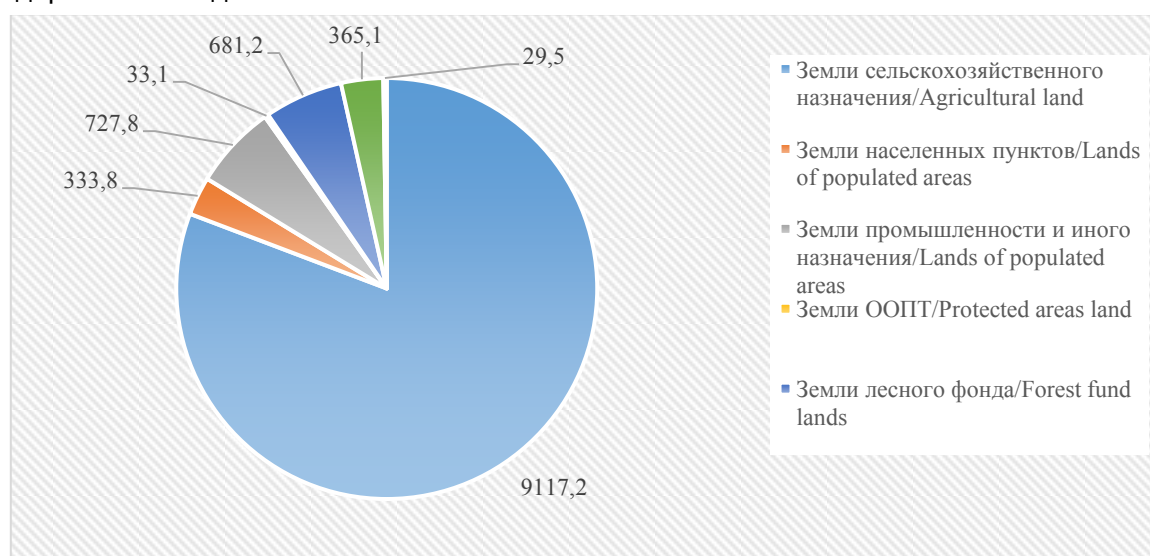


Рисунок 1 – Структура земельного фонда Волгоградской области на 01.01.2025 года, тыс. га.
Figure 1 – The structure of the land fund of the Volgograd region of 01.01.2025, thousand hectares

Система управления земельными ресурсами региона ориентирована на рациональное и устойчивое использование чернозёмных и каштановых почв, реализацию мер по снижению процессов водной и ветровой эрозии, предотвращение засоления, а также на активное внедрение цифровых инструментов мониторинга земель, в частности применение ГИС-технологий. Геоинформационные системы активно применяются для решения различных задач, связанных с экологическим мониторингом, оптимизацией использования природных ресурсов и оказанием помощи в чрезвычайных ситуациях [9]. Анализ динамики за 2019-2025 годы свидетельствует о формировании риск-ориентированной модели управления землепользованием, что обусловлено усилением климатических колебаний и экономической нестабильности. Актуальности применения данного подхода при управлении земельными ресурсами посвящено исследование Дубровского А. В. [10]. Существенное внимание уделяется реализации государственных программ мелиорации и вовлечению в хозяйственный оборот ранее неиспользуемых земельных участков. Мелиорация почв обеспечивает решение задач по созданию условий для гарантированного получения урожаев сельскохозяйственных культур независимо от погодных условий путем орошения и обводнения земель, ликвидации водоемкости в южных регионах страны и избыточного переувлажнения на почвах, защите населения, объектов экономики и сельскохозяйственных угодий от вредного воздействия вод.

Учитывая вышеизложенное, можно отметить, что роль орошаемой мелиорации – это не просто инструмент повышения урожайности, а долгосрочная стратегия развития земельных ресурсов Волгоградской области. В условиях континентального климата, характеризующегося засушливостью и неравномерным распределением осадков, ставка на орошение становится безальтернативным решением для обеспечения продовольственной безопасности региона и формирования его устойчивого аграрного сектора. Это требует комплексного подхода, включающего в себя как строительство и модернизацию оросительных систем, так и внедрение современных технологий полива, способствующих экономии водных ресурсов.

Применение орошаемой мелиорации открывает перед Волгоградской областью новые горизонты в диверсификации сельскохозяйственного производства. Возможность контролировать водный режим почвы позволяет успешно развивать высокодоходные культуры, такие как овощи, фрукты, ягоды, а также кормовые культуры для животноводства. Это, в свою очередь, способствует увеличению экспорта продукции, созданию новых рабочих мест и повышению инвестиционной привлекательности региона. Инвестиции в мелиорацию – это инвестиции в будущее, способные трансформировать Волгоградскую область в один из ведущих аграрных центров России.

По площади ввода объектов мелиорации Волгоградская область входит в первую пятерку в России. За последние десять лет показатели увеличились более чем в 2,5 раза. Отметим, что с 2019 года область участвует в федеральном проекте «Экспорт продукции АПК», мелиорация – главный инструмент для создания новой товарной массы. Увеличение орошаемых площадей к 2024 году до 95,6 тысяч гектаров, к 2030 году – более 100 тысяч гектаров, повышение урожайности сельскохозяйственных культур является важной задачей для областного АПК [11]. Волгоградская область относится к зоне рискованного земледелия, продуктивных осадков недостаточно.

Согласно данным Росреестра, по состоянию на 1 января 2025 года структура земельного фонда в целом сохраняет стабильность по сравнению с 2019 годом (таблица 1).

Таблица 1 – Структура земель Волгоградской области по категориям и динамика их изменения в 2019-2025 гг., (тыс. га, на 1 января)

Table 1 – Land structure of the Volgograd region by category and the dynamics of their change in 2019-2025, thousand hectares (thousand hectares, as of January 1)

Категория земель / Lands category	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	Изменение 2025/2019, тыс. га / Changes 2025/2019, thousand ha
Земли сельскохозяйственного назначения / Agricultural lands	9121,6	9121,2	9121,2	9122	9119,3	9119,3	9117,2	-4,4
Земли населённых пунктов / Lands of populated areas	328,9	328,9	328,9	328,8	331,4	331,4	333,8	+4,9
Земли промышленности и иного назначения / Industrial and other purpose lands	728,6	728,6	728,6	727,9	728,1	728,1	727,8	-0,8
Земли ООПТ / Protected areas lands	33,1	33,1	33,1	33,1	33,1	33,1	33,1	0,0
Лесной фонд / Forest fund	680,8	681,3	681,3	681,3	681,2	681,2	681,2	+0,4
Водный фонд / Water fund	365,1	365,1	365,1	365,1	365,1	365,1	365,1	0,0
Земли запаса / Reserve lands	29,6	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	-0,1
Итого земельный фонд / Total: lands fund	11287,7	11287,7	11287,7	11287,7	11287,7	11287,7	11287,7	0,0

Площадь земель сельскохозяйственного назначения на протяжении исследуемых лет демонстрирует тенденцию к сокращению, в 2025 году по сравнению с 2019 годом на 4,4 тыс. га., при этом значительная часть земель в категории земель сельскохозяйственного назначения находится в собственности граждан – 6 141,8 тыс. га (67,37 %), в государственной и муниципальной собственности – 2 272,3 тыс. га (24,92 %), в собственности юридических лиц 703,1 тыс. га (7,71 %).

В то же время отмечается умеренное увеличение площади земель населённых пунктов (на 4,9 тыс. га за анализируемый период), что обусловлено активизацией жилищного строительства и развитием транспортной и инженерной инфраструктуры в рамках федеральной программы «Жильё и городская среда». Вместе с тем наблюдается тенденция к оптимизации использования земельных ресурсов, выражающаяся в последовательном вовлечении в оборот неиспользуемых земель (в среднем 50-100 тыс. га ежегодно) и проведении мероприятий по рекультивации деградированных территорий.

Сельскохозяйственные угодья формируют основу земельного фонда региона. В 2025 году их площадь составила 9 117, 2 тыс. га, что на 0,05 % меньше уровня 2019 года (таблица 2).

Таблица 2 – Структура сельскохозяйственных угодий Волгоградской области в 2019-2024 гг.
(тыс. га, на 1 января)

Table 2 – Structure of agricultural lands in the Volgograd region in 2019-2024
(thousand hectares, as of January 1)

Тип угодий / Type of lands	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Изменение 2024/ 2019, % / Change 2024/2019, %
Пашня / Arable land	8760	8750	8740	8730	8720	8761	+0,01
Залежи / Fallow lands	58,5	59,0	59,5	60,0	60,5	58,5	0,0
Многолетние насаждения / Perennial plantings	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	0,0
Сенокосы / Haymaking	42,8	42,8	42,8	42,8	42,8	42,8	0,0
Пастбища / Pastures	206,9	206,9	206,9	206,9	206,9	206,9	0,0
Итого: Сельхозугодий / Total: agricultural lands	9073	9063	9054	9045	9035	9073,9	+0,01

В структуре угодий доминирует пашня, доля которой достигает 96 %, что является характерной чертой региона с развитым зерновым земледелием. Динамика показателей свидетельствует о стремлении сохранить площади пашни за счёт реализации мелиоративных мероприятий, на которые в 2024 году было направлено 423,2 млн руб. Одновременно фиксируется увеличение площади залежных земель, используемых в системе ротации севооборотов с целью восстановления почвенного плодородия.

В последние годы в Волгоградской области наблюдается активизация оборота сельскохозяйственных земель (таблица 3).

Таблица 3 – Динамика оборота сельскохозяйственных земель в 2019-2024 гг. (на 1 января)
Table 3 – Agricultural land turnover dynamics in 2019-2024 (as of January 1)

Показатель / Indicator	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Общая площадь сельхозземель, тыс. га / Total area of agricultural lands, thousand ha	9121,6	9121,2	9121,2	9122	9119,3	9119,3
В аренде (доля, %) / In rent (share, %)	75	78	80	82	84	85
Неиспользуемые (зарастающие), тыс. га / Unused (overgrown), thousand hectares	300	280	260	240	220	200
Рекультивированные, тыс. га / Reclaimed, thousand ha	20	30	40	50	60	50

Доля земель, находящихся в аренде, увеличилась с 75 % в 2019 году до 85 % в 2024 году, что связано с процессами укрупнения сельскохозяйственных предприятий. Крупные агрохолдинги в настоящее время контролируют около 45 % площади пашни региона.

Одновременно усилился государственный земельный надзор. Государственный земельный надзор – фундаментальный механизм контроля за соблюдением земельного законодательства. Он осуществляется в целях профилактики, фиксации и пресечения нарушений в сфере землепользования [12]. Так, в 2023-2024 годах было выявлено порядка 2,5 млн га неиспользуемых земель, из которых около 200 тыс. га вовлечено в хозяйственный оборот. Существенную роль играет цифровизация системы управления, в том числе внедрение ФГИС «Единый реестр земель сельскохозяйственного назначения», охватившей к 2024 году около 90 % земель. Внедрение современных информационных технологий, таких как геоинформационные системы, спутниковый мониторинг, автоматизированные базы данных и аналитические платформы, позволяет значительно сократить время проведения проверок, снизить риск ошибок, а также обеспечить более объективное и системное управление земельными ресурсами. Положительная динамика устойчивого роста аграрного сектора региональной экономики напрямую зависит от уровня цифровизации и инновационности производства сельскохозяйственной продукции [13, 14].

Сокращение площади неиспользуемых земель на 33,3 % за анализируемый период стало результатом усиления контрольных мероприятий, включая применение штрафных санкций за зарастание земель в размере 100-500 тыс. руб. за гектар. Рост доли арендованных земель способствовал повышению эффективности землепользования, что выразилось, в частности, в увеличении урожайности пшеницы на 15 %, однако одновременно усилились риски концентрации земельных ресурсов. Здесь интересен опыт ученых Казахского агротехнического университета, которые предлагают систематизировать критерии, используемые при проведении земельных конкурсов на предоставление неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения для коммерческого производства [15].

Управление земельными ресурсами Волгоградской области осуществляется в рамках реализации федеральных программ «Развитие сельского хозяйства» и «Сохранение плодородия почв». В 2024 году объем субсидий в рамках первой программы составил 3,2 млрд руб. Приоритетным направлением остаётся развитие мелиорации: площадь орошаемых земель увеличилась до 1,2 млн га, что на 10 % выше уровня 2019 года (таблица 4).

Таблица 4 – Динамика мелиорации и субсидий на земельные работы в 2019-2024 гг.

(млн руб. на 1 января)

Table 4 – Dynamics of land reclamation and subsidies for earthworks in 2019-2024

(million rubles as of January 1)

Показатель / Indicator	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Изменение 2024/ 2019, %/ Change 2024/ 2019, %
Субсидии на мелиорацию / Subsidies for land reclamation	300	350	400	450	500	423,2	+41,1
Площадь орошаемых земель (тыс. га) / Irrigated lands area (thousand ha)	1100	1120	1140	1160	1180	1200	+9,1
Рекультивированные земли (тыс. га) / Reclaimed lands (thousand hectares)	40	45	50	55	60	50	+25,0

Значительное внимание уделяется мерам по снижению эрозионных процессов, включая внедрение покровных культур, которые в 2024 году применялись на 20 % пашни. Цифровые технологии мониторинга охватили до 95 % земель региона. Однако, необходимо отметить, что эффективное развитие орошаемой мелиорации невозможно без грамотного управления земельными ресурсами и водными объектами. Необходима разработка четких правил землепользования, включающих ограничения на застройку водоохраных зон, а также стимулирование рационального использования сельскохозяйственных угодий. Внедрение современных систем мониторинга состояния почв и водных ресурсов позволит оперативно реагировать на изменения и предотвращать негативные последствия, связанные с неправильным использованием орошаемых земель [16].

Согласно данным таблицы 4, объем субсидий на мелиорацию за 2019-2024 годы увеличился на 41,1 %, несмотря на сокращение финансирования в 2024 году на 15 % по сравнению с 2023 годом в рамках бюджетной оптимизации.

К числу ключевых рисков землепользования в регионе относятся засухи, зафиксированные, в частности, в 2021 и 2023 годах, приведшие к потере до 20 % урожая, а также деградация почв, охватывающая около 30 % земель (таблица 5).

Таблица 5 – Динамика рисков и мер минимизации в 2019-2024 гг. (тыс. га под риском)
Table 5 – Dynamics of risks and mitigation measures in 2019-2024 (thousand hectares at risk)

Риск / Мера / Risk / Measure	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Изменение 2024/2019, % / Change 2024/2019 %
Земли под эрозией /засолением / Lands affected by erosion/ salination	2500	2600	2700	2650	2600	2550	+2,0
Застрахованные посевы (доля, %) / Insured crops (share, %)	50	55	60	65	70	70	+40,0
Мониторинг ГИС (охват, %) / GIS Monitoring (coverage, %)	60	65	70	75	85	95	+58,3

В ответ на данные угрозы активно развивается система агрострахования: в 2024 году страховым покрытием было охвачено 70 % посевных площадей. Дополнительным направлением адаптации является диверсификация сельскохозяйственного производства, в том числе расширение садоводства, объемы которого увеличились на 5 %.

Перспективы развития управления земельными ресурсами Волгоградской области связаны с вовлечением в хозяйственный оборот до 500 тыс. га земель запаса с применением мелиоративных мероприятий, а также с дальнейшим развитием цифровых технологий, включая использование беспилотных летательных аппаратов для мониторинга до 80 % сельскохозяйственных угодий к 2025 году.

Успех орошаемой мелиорации во многом зависит от государственной поддержки и развития научно-технического потенциала. Финансовые вливания в модернизацию существующих и создание новых оросительных систем, субсидирование внедрения водосберегающих технологий, а также поддержка научных исследований в области агроинженерии и мелиорации – все это необходимые условия для реализации поставленных задач. Важно также уделять внимание повышению квалификации специалистов, работающих в сфере мелиорации, и популяризации знаний об эффективном водопользовании среди сельхозпроизводителей [17].

Закключение. Управление земельными ресурсами Волгоградской области представляет собой сложную и многоаспектную проблему, требующую комплексного подхода и координации усилий различных заинтересованных сторон. Только на основе научного анализа и внедрения современных методов управления можно обеспечить устойчивое развитие региона и сохранение его природных богатств для будущих поколений. По результатам исследования ясно, что ключевыми тенденциями управления земельными ресурсами Волгоградской области являются стабилизация земельного фонда, масштабная цифровизация мониторинга и расширение мелиоративных мероприятий, что в совокупности способствует повышению устойчивости агропромышленного комплекса региона. В связи с этим, орошаемая мелиорация является ключевым фактором, способным кардинально изменить ландшафт агропромышленного комплекса Волгоградской области, обеспечив его устойчивое развитие, повышение конкурентоспособности и значительный вклад в экономику региона. Это стратегическое направление, требующее консолидации усилий всех заинтересованных сторон – государства, бизнеса и научного сообщества.

Conclusion. Land management in the Volgograd Region is a complex and multifaceted issue requiring an integrated approach and coordinated efforts from various stakeholders. Only through scientific analysis and the implementation of modern management methods can we ensure the region's sustainable development and the preservation of its natural resources for future generations. The study's results indicate that key trends in land management in the Volgograd Region include land stabilization, large-scale digitalization of monitoring, and expanded land reclamation, which together contribute to the sustainability of the region's agro-industrial complex. Therefore, irrigated reclamation is a key factor capable of radically transforming the landscape of the Volgograd Region's agro-industrial complex, ensuring its sustainable development, increased competitiveness, and a significant contribution to the region's economy. This strategic direction requires the consolidated efforts of all stakeholders – the government, business, and the scientific community.

Библиографический список

1. Королев С. Ю. Управление земельными ресурсами Российской Федерации в контексте современных вызовов: правовые аспекты. Правовая политика и правовая жизнь. 2024. № 2. С. 49-58.
2. Хлыстун В. Н., Алакоз В. В. О стратегии рационального использования сельскохозяйственных земель и особенностях ее реализации в регионах России. Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2024. Т. 19. № 5 (232). С. 266-275.
3. Капранов В. Н., Зеленов А. В., Киселев Е. Ф. 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. Борисова Т. Ю. Эффективность использования и воспроизводства земельных ресурсов сельскохозяйственного назначения. Вестник НГИЭИ. 2022. № 6 (133). С. 121-133.
5. Романов А. Н. Земельные ресурсы сельскохозяйственного назначения Поволжского района вчера, сегодня и завтра. Экономика сельского хозяйства России. 2024. № 3. С. 19-26.
6. Колпакова Е. А. Взаимосвязь процессов пространственной трансформации системы расселения и экономического развития сельских территорий. Экономика и управление: проблемы, решения. 2021. Т. 5. № 10 (118). С. 72-77.
7. Коробельников И. С. Состояние и приоритеты пространственного развития экономики сельского хозяйства региона. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 3. С. 127-135.
8. Заворотин Е. Ф., Тюрина Н. С., Гордолова А. А. Типологизация управляющего воздействия обратной связи в подсистемах управления земельными ресурсами в сельском хозяйстве. Экономика сельского хозяйства России. 2025. № 4. С. 85-93.
9. Цораева Э. Н., Шевкетова И. Е., Легенький А. С. Применение ГИС-технологий в управлении земельными ресурсами. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2025. № 209. С. 563-573.
10. Дубровский А. В. Анализ угроз и рисков в сфере землепользования: ключевые аспекты и стратегия устранения негативных последствий. Интерэкспо Гео-Сибирь. 2024. Т. 3. С. 18-26.
11. Зверева Г. Н. Влияние проектного управления на развитие агропромышленного комплекса РФ. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1 (69). С. 191-200.
12. Корбылева Е. Е., Вартаванян А. А., Коломыцев А. А. и др. Автоматизация процесса государственного земельного надзора. Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2025. № 2. С. 305-310.
13. Попова Л. В., Лата М. С., Мелихов П. А. Диффузия аграрных инноваций в условиях трансформации региональной экономики к новому технологическому укладу. Естественно-гуманитарные исследования. 2023. № 4 (48). С. 283-290.
14. Попова Л. В., Лата М. С., Мелихов П. А. Цифровизация как драйвер устойчивого развития аграрной экономики региона. Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 5: Экономика. 2022. № 1 (295). С. 31-45.
15. Kurmanova G., Daniyarova M. The role of information support in the withdrawal of unused lands. Problems of AgriMarket. 2024. Pp. 163-173.
16. Ахмедов А. Д., Галиуллина Е. Ю., Саушкина Н. В. Анализ состояния и использования земельного фонда Волгоградской области. Естественные и технические науки. 2019. № 12 (138). С. 197-200.
17. Akhmedov A. D., Borovoy E. P., Khodiakov E. A. Water-saving technologies for vegetables in the south of Russia. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science: Conference on Innovations in Agricultural and Rural development. 2019. V. 341. Art. 012105.

References

1. Korolev S. Yu. Management of Land Resources of the Russian Federation in the Context of Modern Challenges: Legal Aspects. Legal Policy and Legal Life. 2024. No. 2. Pp. 49-58.
2. Khlystun V. N., Alakoz V. V. On the Strategy of Rational Use of Agricultural Lands and the Peculiarities of Its Implementation in the Regions of Russia. Land Management, Cadaster and Land Monitoring. 2024. Vol. 19. No. 5 (232). Pp. 266-275.
3. Kapranov V. N., Zelenev A. V., Kiselev E. F. et al. The Role of Technologies of Different Levels of Intensity in the Formation of Yield and Quality of Grain of New Winter Wheat Varieties. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No. 1 (79). Pp. 32-43.
4. Borisova T. Yu. Efficiency of Use and Reproduction of Agricultural Land Resources. Bulletin of the NGIEI. 2022. No. 6 (133). Pp. 121-133.
5. Romanov A. N. Agricultural Land Resources of the Volga Region: Yesterday, Today, and Tomorrow. Russian Agricultural Economics. 2024. No. 3. Pp. 19-26.
6. Kolpakova E. A. Interrelation of the processes of spatial transformation of the settlement system and economic development of rural areas. Economics and Management: Problems, Solutions. 2021. Vol. 5. No. 10 (118). Pp. 72-77.
7. Korabelnikov I. S. The state and priorities of spatial development of the regional agricultural economy. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2022. No. 3. Pp. 127-135.
8. Zavorotin E. F., Tyurina N. S., Gordopolova A. A. Typologization of the Control Effect of Feedback in Subsystems of Land Resource Management in Agriculture. Russian Agricultural Economics. 2025. No. 4. Pp. 85-93.
9. Tsoaraeva E. N., Shevketova I. E., Legenkiy A. S. Application of GIS Technologies in Land Resources Management. Politematic Network Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University. 2025. No. 209. Pp. 563-573.
10. Dubrovskiy A. V. Analysis of Threats and Risks in Land Use: Key Aspects and Strategy for Eliminating Negative Consequences. Interexpo Geo-Siberia. 2024. Vol. 3. Pp. 18-26.
11. Zvereva G. N. The impact of project management on the development of the agro-industrial complex of the Russian Federation. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: science and higher professional education. 2023. No. 1 (69). Pp. 191-200.
12. Korbyleva E. E., Vartavanyan A. A., Kolomytsev A. A. et al. Automation of the state land supervision process. Science. Technique. Technologies (Polytechnic Bulletin). 2025. No. 2. Pp. 305-310.

13. Popova L. V., Lata M. S., Melikhov P. A. Diffusion of Agrarian Innovations in the Context of the Transformation of the Regional Economy to a New Technological Paradigm. *Natural and Humanitarian Research*. 2023. No. 4 (48). Pp. 283-290.
14. Popova L. V., Lata M. S., Melikhov P. A. Digitalization as a Driver of Sustainable Development of the Region's Agrarian Economy. *Bulletin of Adygea State University. Series 5: Economics*. 2022. No. 1 (295). Pp. 31-45.
15. Kurmanova G., Daniyarova M. The role of information support in the withdrawal of unused lands. *Problems of AgriMarket*. 2024. Pp. 163-173.
16. Akhmedov A. D., Galiullina E. Yu., Saushkina N. V. Analysis of the State and Use of the Land Fund in the Volgograd Region. *Natural and Technical Sciences*. 2019. No. 12 (138). Pp. 197-200.
17. Akhmedov A. D., Borovoy E. P., Khodiakov E. A. Water-saving technologies for vegetables in the south of Russia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science: Conference on Innovations in Agricultural and Rural development*. 2019. V. 341. Art. 012105.

Информация об авторах

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

Зверева Галина Николаевна, кандидат экономических наук, доцент кафедры, профессор РАЕ, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: gzvereva@list.ru

Подлегаева Анастасия Геннадьевна, магистр, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: nastasia-2021@mail.ru

Authors' Information

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

Zvereva Galina Nikolaevna, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: gzvereva@list.ru

Podlegayeva Anastasia Gennadiyevna, Master's degree student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: nastasia-2021@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-09

THE IMPROVING OF THE TECHNOLOGY OF LEAFLESS CALLIGONUM SEEDLINGS GROWING IN THE ASTRACHAN REGION DRY CONDITIONS

¹Ryadnov A. I., ¹Sharipov R. V., ²Babakova A. S., ²Baykeeva S.H.

¹*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

²*Astrakhan State University named after V. N. Tatishchev
Astrakhan, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: alex.rjadnov@mail.ru

Received 01.03.2026

Submitted 24.03.2026

Summary

An assessment of the biometric parameters of *Calligonum aphyllum* seedlings and their survival under arid conditions in the Astrakhan Region from germination to digging was conducted. The seedlings were grown from control seeds – non-stratified and those encapsulated in a nutrient mixture, both stratified and non-stratified. It was found that seedlings grown from non-stratified seeds and those encapsulated in a nutrient mixture using the proposed technology, according to the standard, reached an average height of 0.98 meters, which is 25.6 % and 66.1 % greater than the height of seedlings grown from stratified seeds and those encapsulated in nutrient mixtures, and control seeds – not stratified and not encapsulated, respectively. Such seedlings have maximum growth intensity and are less dependent on soil moisture in a layer up to 1 meter deep, have greater mass and thickness of the stem at the root collar, an increased number of first- and second-order shoots and better survival in field conditions.

Abstract

Introduction. One of the significant features of the Astrakhan region's climate is its high aridity. This climate contributes to desertification, which negatively impacts crop yields and other indicators of agricultural production. It should be noted that the main cause of desertification in the Astrakhan region is wind erosion. To slow the rate of land degradation, it is proposed to use agroforestry with shrub plantings. *Calligonum aphyllum* is a shrub that adapts well to arid conditions and is widely used to protect lands from desertification. In the wild, *Calligonum aphyllum* reproduces by seed and vegetatively. The seeds, after being released from the ripe fruit, are easily dispersed by the wind, as they are winged and covered with bristles. Sowing pubescent seeds of *Calligonum aphyllum* is associated with certain difficulties, leading to a significant increase in seed consumption. To reduce seed consumption and improve their field germination, staff from Volgograd State Agricultural University and V.N. Tatishchev Astrakhan State University proposed a technology for sowing pubescent seeds in capsules made from a nutrient mixture. However, an assessment of the biometric indicators of *Calligonum aphyllum* seedlings grown in the arid conditions of the Astrakhan region from control seeds and seeds encapsulated in a nutrient mixture, stratified and non-stratified, as well as the safety of seedlings before digging, has not been carried out to date. **Object.** The aim of the work is to conduct a comparative analysis of the main biometric indicators and the survival rate of leafless *Calligonum* seedlings grown from seeds of three varieties in the arid climatic conditions of the Astrakhan region. **Materials and methods.** The article's materials are based on a summary of the latest scientific research

aimed at preventing desertification of agricultural lands and restoring degraded agrarian ecological systems, and are a continuation of the work of the authors of this article. The object of the study – *Calligonum aphyllum* seedlings grown from control seeds and those encapsulated in a nutrient mixture. Seed encapsulation was carried out using a specially prepared nutrient mixture on a custom-designed and manufactured production line. The research was conducted in a test field at the Department of Agricultural Technology at V. N. Tatishchev Astrakhan State University using a proven methodology and three replicates. The soil in the test plots was light chestnut, moderately solonchic. The humus content in the arable layer was 1.5-1.9 %. In our experimental studies, we compared the height of seedlings grown from seeds of three treatments: 1) unstratified (which we termed the control); 2) stratified and encapsulated in a nutrient mixture; and 3) unstratified and encapsulated in a nutrient mixture. We also assessed the seedling weight and survival rate over the specified period, the number of first- and second-order shoots, and the thickness of the seedling stems at the root collar. The growth time from germination to removal was identical for all seedlings. During the study, data from the Astrakhan meteorological station was used to record the average monthly air temperature and humidity in the experimental plot from seedling emergence to digging. Soil moisture in the 1-meter-thick layer was also measured, using the thermostat-weight method. **Results and discussion.** The experimental results showed that seedlings grown from unstratified seeds encapsulated in a nutrient mixture had an average height of 0.98 m, which is 25.6 % and 66.1 % greater than the heights of seedlings grown from stratified and encapsulated seeds in a nutrient mixture, respectively, and the control seeds (neither stratified nor encapsulated). The third variant of seedlings had a greater number of first- and second-order shoots, and these seedlings had a thicker stem at the root collar. It should be noted that the stem thickness at the root collar of all seedlings complied with the industry standard. Seedlings grown from the third seed treatment had an average weight of 0.537 kg, which is 6.3 % and 87.1 % heavier than seedlings grown from seeds stratified and encapsulated in a nutrient mixture and control seeds (neither stratified nor encapsulated), respectively. Heavier seedlings with more shoots had a better root system and, as their examinations during the following year showed, established themselves better in the field. The results of studying the height of seedlings during their growth showed that the growth intensity is maximum in the first month after germination: 0.013 m/day for seedlings grown from control seeds, 0.016 m/day for seed variant 2, and 0.018 m/day for seed variant 3. Over the next 4 months of seedling growth, the growth intensity significantly decreased: 0.0016 m/day for the control variant, 0.0026 m/day for variant 2, and 0.0035 m/day for variant 3. The obtained data indicate that the use of leafless *Calligonum* seeds without stratification, but encapsulated in a nutrient mixture, is less dependent on soil moisture in the layer up to 1 meter. To improve the quality of *Calligonum aphyllum* seedlings in arid regions of the Astrakhan region, they should be grown from seeds without stratification, but pre-encapsulated in a special nutrient mixture. This approach ensures optimal conditions for germination and plant development, even in the region's unfavorable climatic conditions. **Conclusions.** Experimental studies have shown that in the arid climate of the Astrakhan region, *Calligonum aphyllum* seedlings grown from unstratified seeds in capsules made from a specially prepared nutrient mixture, produced using the developed technology, reach an average height of up to 0.98 meters, which is 25.6 % and 66.1 % greater than the heights of seedlings grown from seeds stratified and encapsulated in a nutrient mixture, respectively, and control seeds (non-stratified and non-encapsulated). These seedlings exhibit maximum growth in the first month after germination and are less dependent on soil moisture in the 1-meter-thick layer. They have greater stem mass and thickness at the root collar, an increased number of first- and second-order shoots, and better survival in the field.

Keywords: *Calligonum aphyllum*, *Calligonum aphyllum* seedlings, biometric indicators of plants, plant safety, encapsulated seeds.

Citation. Ryadnov A. I., Sharipov R. V., Babakova A. S., Baykeeva S. H. The improving of the technology of leafless *Calligonum* seedlings growing in the Astrakhan region dry conditions. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 84-96 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-09.

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 631.5+633.39

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ САЖЕНЦЕВ ДЖУЗГУНА БЕЗЛИСТНОГО В ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЯХ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ

¹**Ряднов А. И.,** доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹**Шарипов Р. В.,** кандидат технических наук, доцент

²**Бабакова А. С.,** кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

²**Байкеева С. Х.,** аспирант

¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева

г. Астрахань, Российская Федерация

Актуальность. Одной из существенных особенностей климата Астраханской области является высокая степень его засушливости. Эта особенность климатических условий данного региона способствует частым случаям опустынивания земель, что отрицательно сказывается на урожайно-

сти и других показателях выращиваемых сельскохозяйственных культур. Следует отметить, что основная причина опустынивания земель Астраханской области – ветровая эрозия. Для замедления темпов деградации земельных ресурсов учеными и специалистами предложено использовать агролесомелиорацию с применением кустарниковых насаждений. К кустарниковым растениям, способным хорошо адаптироваться к засушливым условиям и широко используемым для защиты земель от опустынивания, относится джужгун безлистный. В естественных условиях джужгун безлистный размножается семенами и вегетативным путем. Семена после высвобождения из созревшего плода хорошо переносятся ветром, так как они крылатые и покрыты щетинками. Сев опушенных семян джужгуна безлистного связан с определенными трудностями, что приводит к существенному увеличению расхода семян. Для снижения расхода семян и повышения их полевой всхожести сотрудниками ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ и ФГБОУ ВО Астраханский ГУ им. В. Н. Татищева предложено технологию сева опушенных семян в капсулах из питательной смеси. Однако сравнительная оценка биометрических показателей саженцев джужгуна безлистного, выращенных в засушливых условиях Астраханской области из контрольных семян и семян, капсулированных в питательной смеси, стратифицированных и не стратифицированных, а также сохранности саженцев перед выкопкой до настоящего времени не проводилась. **Цель работы** – провести сравнительный анализ основных биометрических показателей и сохранности саженцев джужгуна безлистного, выращенных из семян трех вариантов в засушливых климатических условиях Астраханской области. **Материалы и методы.** Материалы статьи базируются на обобщении новейших научных изысканий, направленных на предотвращение процессов опустынивания сельскохозяйственных угодий и восстановление деградированных агроэкологических систем, и являются продолжением работ авторов данной статьи. **Объект исследования** – саженцы джужгуна безлистного, выращенные из семян контрольных и капсулированных в питательной смеси. Капсулирование семян осуществлялось специально подготовленной питательной смесью на разработанной и изготовленной технологической линии. Исследования проводились на опытном поле кафедры агротехнологий Астраханского ГУ им. В. Н. Татищева по апробированной методике при трехкратной повторности. Почва на опытных участках – светло-каштановая, среднесолонцовая. Содержание гумуса в пахотном слое составляло 1,5-1,9 %. При экспериментальных исследованиях выполнялось сравнение высоты саженцев, выращенных из семян трех вариантов: 1) не стратифицированные и названные нами контрольными; 2) стратифицированные и капсулированные в питательной смеси; 3) не стратифицированные и капсулированные в питательной смеси. Оценивалась также масса саженцев и их сохранность за указанный период, количество побегов первого и второго порядка и толщина стволиков саженцев у корневой шейки. Продолжительность роста всех саженцев от их всходов до выкопки была равной. В процессе исследований осуществлялся учет среднемесячных температуры и влажности воздуха, а также и влажность почвы в слое до 1 м, которая оценивалась термостатно-весовым методом. **Результаты и обсуждение.** Результаты экспериментальных исследований показали, что саженцы, выращенные из семян без стратификации, но капсулированных в питательной смеси, имеют среднюю высоту, равную 0,98 м, что на 25,6 % и 66,1 % больше, чем высота соответственно саженцев, выращенных из семян, стратифицированных и капсулированных в питательной смеси, и контрольных семян – не стратифицированных и не капсулированных. У третьего варианта саженцев наблюдалось большее количество побегов первого и второго порядка и такие саженцы имели большую толщину стволика у корневой шейки. При этом следует отметить, что толщина стволика у корневой шейки всех саженцев соответствовала отраслевому стандарту. Саженцы, выращенные из третьего варианта семян, имели среднюю массу, равную 0,537 кг, что на 6,3 % и 87,1 % больше, чем соответственно саженцы из семян, стратифицированных и капсулированных в питательной смеси и контрольных семян – не стратифицированных и не капсулированных. Более тяжелые саженцы и с большим количеством побегов имели лучшую корневую систему и, как показали их осмотры в течение последующего года, лучше прижились в полевых условиях. Результаты исследований высоты саженцев в течение их роста показали, что интенсивность роста максимальная в первый месяц после всходов: 0,013 м/сутки у саженцев, выращенных из контрольных семян, 0,016 м/сутки – вариант семян 2 и 0,018 м/сутки – вариант семян 3. В последующие 4 месяца роста саженцев интенсивность их роста существенно снизилась: на варианте «контроль» – 0,0016 м/сутки, на варианте 2 – 0,0026 м/сутки и на варианте 3 – 0,0035 м/сутки. Из полученных данных следует, что использование семян джужгуна безлистного без их стратификации, но капсулированные в питательной смеси в меньшей степени зависят от влажности почвы в слое до 1 метра. Для повышения качества саженцев джужгуна безлистного в засушливых регионах Астраханской области следует их выращивать из семян без их стратификации, но предварительно капсулированных в специальной питательной смеси. Этот подход позволяет обеспечить оптимальные условия для прорастания и развития растений даже в неблагоприятных климатических условиях региона. **Выводы.** Экспериментальные исследования показали, что в засушливом климате Астраханской области саженцы джужгуна безлистного, выращенные из нестратифицированных семян в капсулах из специально подготовленной питательной смеси, изготовленных по разработанной технологии, достигают средней высоты до 0,98 метра, что на 25,6 % и 66,1 % больше, чем высота соответственно саженцев, выращенных из семян, стратифицированных и капсулированных в питательной смеси, и контрольных семян – не стратифицированных и не капсулированных. Такие саженцы обладают максимальной интенсивностью роста в первый месяц после всходов и в меньшей степени зависят от влажности почвы в слое до 1 метра, имеют большую массу и толщину стволика у корневой шейки, увеличенное количество побегов первого и второго порядка и лучшую приживаемость в полевых условиях.

Ключевые слова: джужгун безлистный, саженцы джужгуна, биометрические показатели растений джужгуна, сохранность растений джужгуна, капсулированные семена джужгуна.

Цитирование. Ряднов А. И., Шарипов Р. В., Бабакова А. С., Байкеева С. Х. Совершенствование технологии выращивания саженцев джужгуна безлистного в засушливых условиях Астраханской области. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 84-96. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-09.

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. Климат Астраханской области, расположенной на юге России, отличается от климата других регионов значительной степенью засушливости. Эта особенность климатических условий данного региона способствует частым случаям опустынивания земель [1], что отрицательно сказывается на урожайности и других показателях выращиваемых сельскохозяйственных культур. Следует отметить, что основная причина опустынивания земель Астраханской области – ветровая эрозия, воздействию которой подвержено более 2077 тыс. га региона [2]. Для замедления темпов деградации земельных ресурсов учеными и специалистами предложено использовать агролесомелиорацию с применением кустарниковых насаждений [3, 4, 5, 6]. Среди кустарниковых растений, которые способны хорошо адаптироваться к засушливым условиям и широко используются для защиты земель от опустынивания, можно отметить следующие: жёлтую акацию (*Caragana arborescens*), тамарикс (*Tamarix spp.*), шиповник (*Rosa spp.*), чубушник (*Philadelphus coronarius*), эфедру (*Ephedra sinica*), а также джужгун безлистный (*Calligonum aphyllum*), терескен серый (*Ceratoides papposa Botsch. et Ikonn.; Eurotia ceratoides (L.) C. A. Mey.*) и прутняк простертый (*Bassia prostrata*) [7]. Из отмеченных выше кустарниковых культур наиболее перспективных для использования в борьбе с опустыниванием земель является джужгун безлистный [2], который относится к семейству гречишных (рисунок 1).



Рисунок 1 – Фотография куста джужгуна безлистного
Figure 1 – Photograph of a leafless *Calligonum* bush

Данный вид кустарника эффективно задерживает снег, способствуя уменьшению глубины промерзания почвы и повышению уровня ее влажности [8, 9, 10]. Мощная корневая система и плотная крона, достигающая высоты более 2 м [7], способствуют также сохранению влаги, что свидетельствует об уникальной способности данной культуры адаптироваться к условиям засушливого региона.

Молодые плоды джужгуна безлистного – важнейший источник энергонасыщенного и высокопротеинового корма для животных [11, 12, 13] и птиц, обитающих в условиях пустыни и полупустыни. Он используется для приготовления лекарств, широко применяемых в ветеринарии [14].

В естественных условиях джужгун безлистный размножается семенами и вегетативным путем. Семена после высвобождения из созревшего плода хорошо переносятся ветром, так как они крылатые и покрыты щетинками.

Сев опушенных семян таких культур, как джужгун безлистный, хлопок и др., связан с определенными трудностями, что приводит к существенному увеличению расхода семян. Для снижения расхода семян и повышения их полевой всхожести сотрудниками ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ и ФГБОУ ВО Астраханский ГУ им. В. Н. Татищева предложили технологию сева опушенных семян в капсулах (Ряднов А. И., Айтмуратов М. Т., Шарипов Р. В.

Установка для дражирования семян: патент на изобретение RU2620015 С1, 22.05.2017. Заявка № 2016104677 от 11.02.2016; Ряднов А. И., Шарипов Р. В., Байкеева С. Х. Линия для капсулирования несypучих семян: патент на изобретение RU2812971 С1, 06.02.2024. Заявка № 2023105877 от 13.03.2023).



Рисунок 2 – Семя джyзгуна безлистного
Figure 2 – The seed of the leafless Calligonum

Вегетативное размножение растений джyзгуна безлистного осуществляется за счет корневой системы, способной формировать побеги.

Для размножения джyзгуна безлистного применяется посадочный материал в виде черенков и саженцев. При этом, «посадка джyзгуна саженцами является наиболее эффективным способом» [15]. Следует отметить, что в настоящее время при выращивании саженцев применяются технологии, одной из основных технологических операций которых является посев семян. При этом используются стратифицированные семена или семена без стратификации. Их высевают на богаре или при использовании полива, с различной нормой высева семян. Однако при использовании существующих технологий расход семян значительный, при этом их полевая всхожесть весьма низкая (25-26 %) [5]. Кроме того, при использовании существующих технологий приживаемость саженцев в первый год их роста не превышает 72 % [6]. Отмеченные факты свидетельствуют о необходимости корректировки технологии выращивания саженцев джyзгуна безлистного.

Таким образом, «кустарниковое растение – джyзгун безлистный является одной из важнейших культур, применяемых для снижения степени опустынивания земель, ценным кормом для животных, а также исходным материалом для приготовления препарата для лекарств, используемых в ветеринарии» [16].

Цель работы – провести сравнительный анализ основных биометрических показателей и сохранности саженцев джyзгуна безлистного, выращенных из семян трех вариантов в засушливых климатических условиях Астраханской области.

Материалы и методы. Материалы статьи базируются на обобщении новейших научных изысканий, направленных на предотвращение процессов опустынивания сельскохозяйственных угодий и восстановление деградированных агроэкологических систем [2, 17], и являются продолжением работ [16, 18] авторов данной статьи.

Объект исследования – саженцы джyзгуна безлистного, выращенные из семян контрольных и капсулированных в питательной смеси.

Капсулы для семян готовили из питательной смеси, состоящей «из биокомпоста, полученного путем ферментационной обработки смеси навоза, торфа и очеса льна, карбоксимелицеллюлозы, активатора роста и вспученного перлита. При этом очес льна и карбоксимелицеллюлоза являются армирующим компонентом капсулы, а вспученный перлит – наполнителем. Масса биокомпоста в массе капсулы должна составлять не менее 80-85 %. Покрытие семян джyзгуна безлистного питательной смесью осуществлялось на специально изготовленной технологической линии.» [18] (рисунок 3).

«Технологическая линия включает следующие конструктивные элементы: 1 – транспортер ленточный, 2 – бункер для питательной смеси, 3 – бункер для семян, 4 – актуаторы, 5 и 6 – пуансоны, 7 – желоб, 8 и 9 – соответственно распылители жидкости клеящей и порошка, 10 – выталкиватель капсул, 11 – камера для подогрева капсул, 12 – нагревательный элемент, 13 – сетка, 14 – бункер для готовых капсул, 15 – столы, 16 – матрицы, 17 – двигатель шаговый, 18 – опора, 19 – механизм щеточный, 20 – лента дозирующая, 21 – емкость для клеящей жидкости, 22 – вентилятор, 23 – емкость для порошка, 24 – вибратор, 25 и 26 – двигатели шаговые, 27 – заслонка-дозатор, 28 – блок управления.» [18].

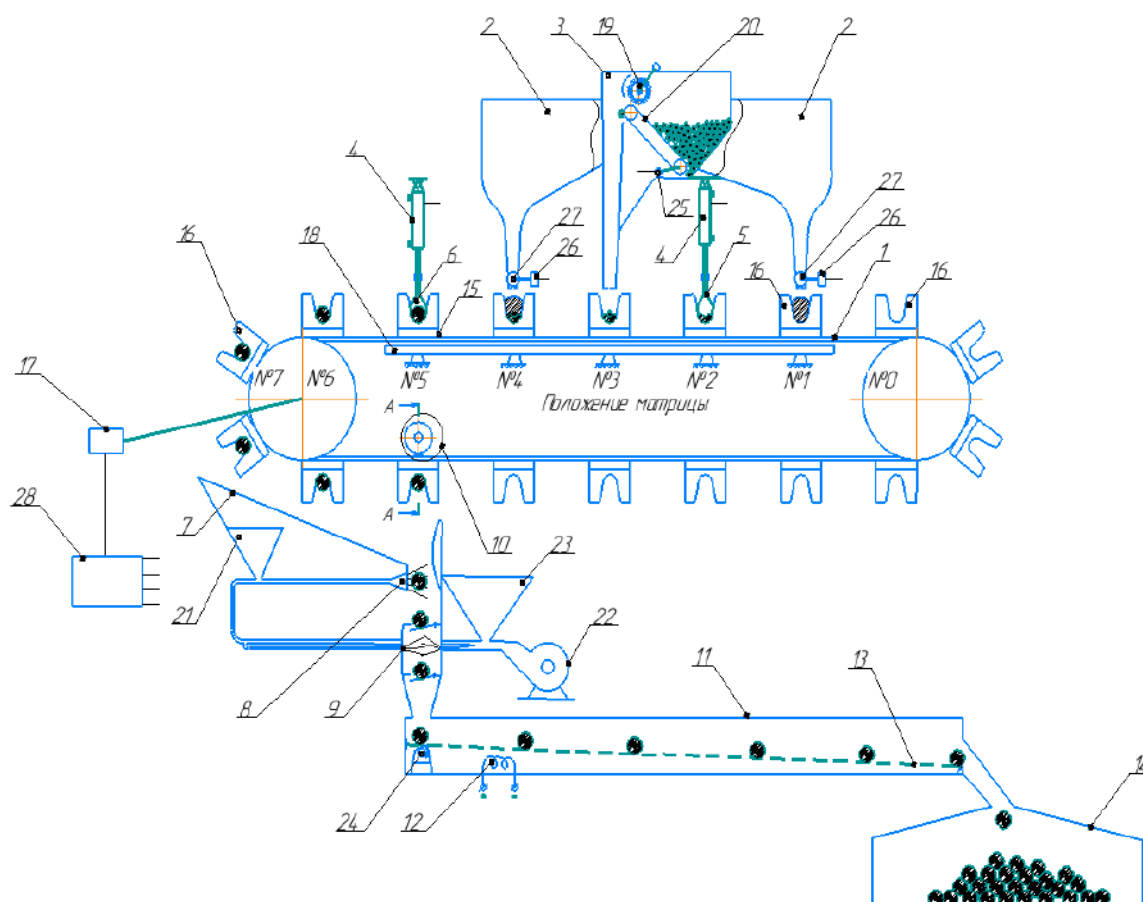


Рисунок 3 – Технологическая линия для капсулирования семян
Figure 3 – Seed encapsulation production line

Процесс покрытия семян питательной смесью осуществлялся последовательно. При этом каждая операция выполняется после передвигения транспортера на один шаг. Сначала в первую матрицу подается питательная смесь. Затем смесь уплотняется с образованием ложки для семени, в которое подается семя. Далее семя засыпается питательной смесью и уплотняется. Полученная капсула из питательной смеси с семенем внутри покрывается клеящей жидкостью и посыпается порошком, а затем подсушивается. Готовые капсулы подаются в бункер.

Исследования проводились «на опытном поле кафедры агротехнологий Астраханского ГУ им. В. Н. Татищева по апробированной методике» [16] при трехкратной повторности.

При экспериментальных исследованиях выполнялось сравнение высоты саженцев, выращенных из семян трех вариантов: 1) не стратифицированные и названные нами контрольными; 2) стратифицированные и капсулированные в питательной смеси; 3) не стратифицированные и капсулированные в питательной смеси. Высота саженцев в процессе их роста в период от всходов до выкапывания замерялась с точностью до 0,01 м. Оценивалась также масса саженцев и их сохранность за указанный период, количество побегов первого и второго порядка и толщина стволиков саженцев у корневой шейки.

Почва «на опытных участках – светло-каштановая, среднесолонцовая. Содержание гумуса в пахотном слое» [16] составляло (1,5-1,9) %.

Контрольные семена высевались вручную, а подготовленные семена в капсулах специализированной картофелесажалкой. Каждый вариант семян высевался (высаживался) в три ряда. Некоторые саженцы в рядах после их всходов удалялись. Это выполнялось для того, чтобы саженцы, за которыми предполагалось вести наблюдение, располагались на участке по схеме, близкой к представленной на рисунке 4. В каждом ряду оставляли по 11 саженцев.

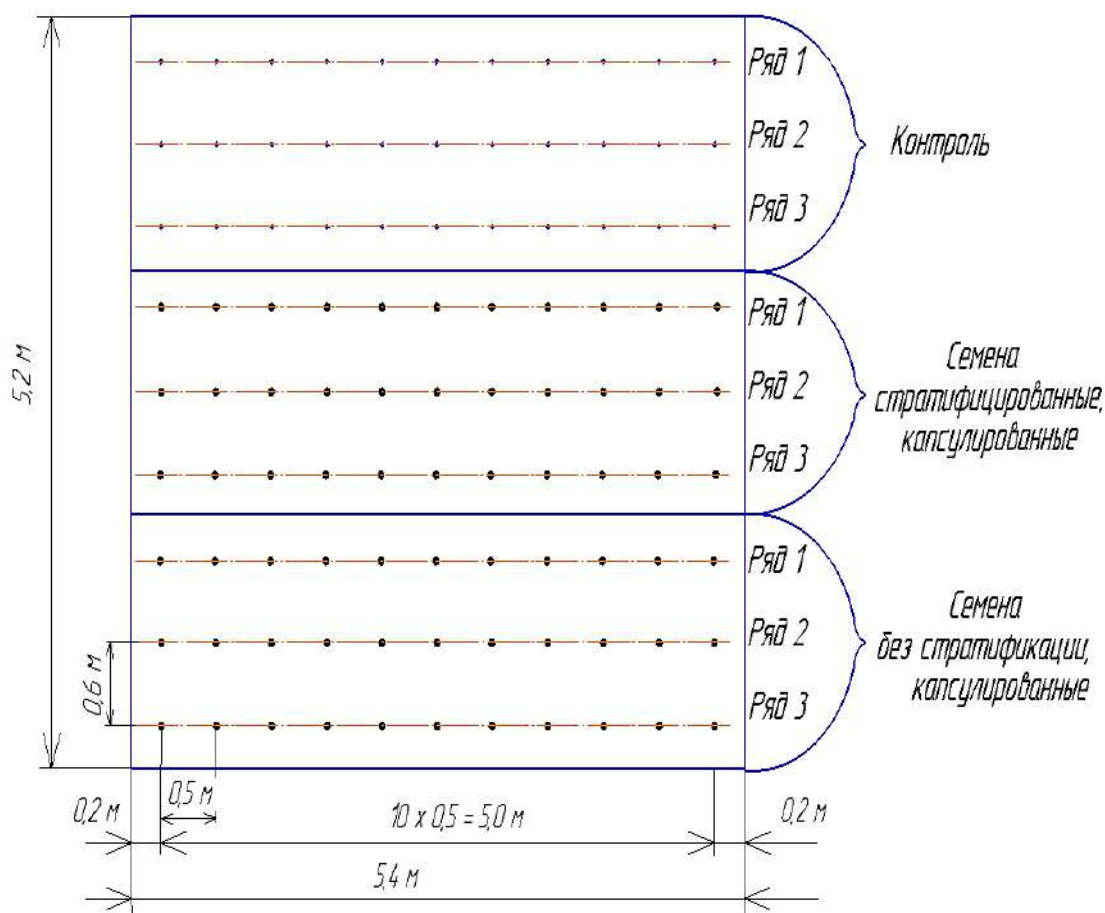


Рисунок 4 – Схема посадочной площадки
Figure 4 – Landing site diagram

По данным «метеорологической станции «Астрахань» за период от всходов саженцев до момента их выкопки велся учет среднемесячной температуры воздуха на территории опытного участка (рисунок 5) и влажности воздуха (рисунок 6). Учитывалась также и влажность почвы в слое до 1 м, которая оценивалась термостатно-весовым методом (ГОСТ 20915-2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. М.: Стандартинформ. 2013. С. 27.)» [16] (рисунок 7).

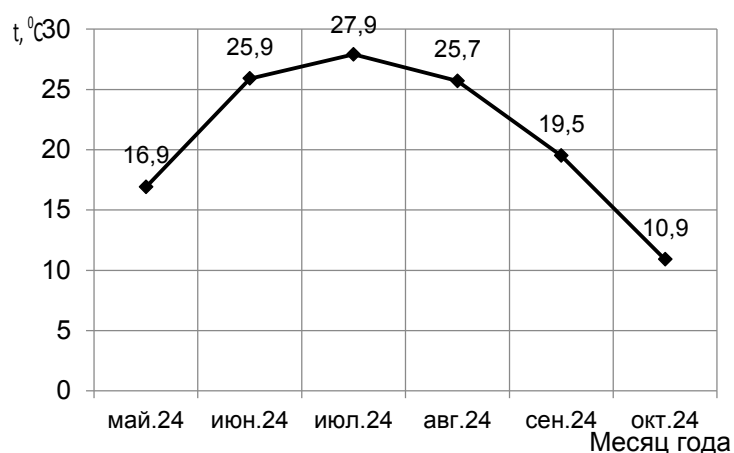


Рисунок 5 – Изменение среднемесячной температуры воздуха на опытном участке поля за период роста саженцев
Figure 5 – Change in average monthly air temperature in the experimental field during the seedling growth period

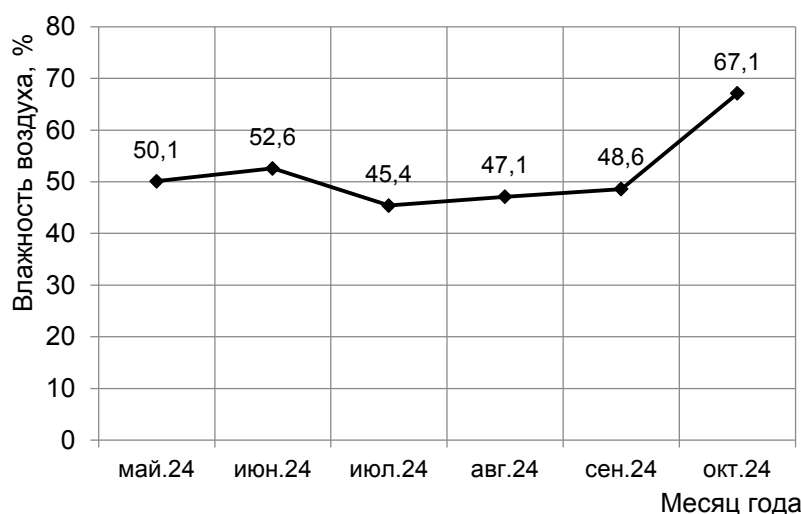


Рисунок 6 – Изменение среднемесячной влажности воздуха за период роста саженцев на опытном участке

Figure 6 – Change in average monthly air humidity during the seedling growth period in the experimental plot

Данные, представленные на рисунках 5 и 6, показали, что за период роста саженцев от всходов до их выкопки среднемесячные значения температуры и влажности воздуха на территории опытного участка составили соответственно 21,1 °С и 51,8 %. При этом следует отметить, что в наблюдаемый период среднемесячная температура воздуха изменялась значительно (от 27,9 °С в июле месяце до 10,9 °С в октябре) с коэффициентом вариации 28,34 %, а среднемесячная влажность воздуха была минимальной в июле месяце, а максимальной в октябре, при этом с мая по сентябрь данный параметр колебался незначительно.

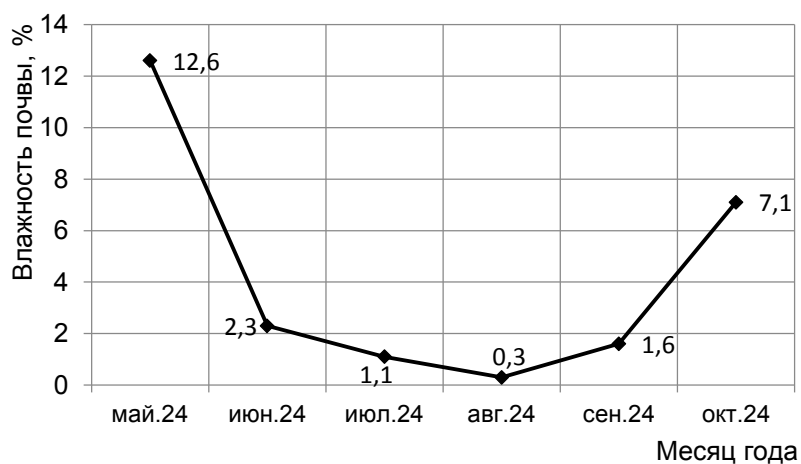


Рисунок 7 – Изменение влажности почвы в слое до 1 м на опытном участке за период роста саженцев

Figure 7 – Change in soil moisture in a layer up to 1 m deep in the experimental plot during the period of seedling growth

За рассматриваемый период влажность почвы в слое до 1 м была максимальной в мае месяце (12,6 %), а минимальной – в августе (0,3 %).

При указанных выше показателях погодных условий на территории проведения экспериментальных исследований проводилась оценка интенсивности роста саженцев джузгуна безлистного и их высоты в момент выкопки, а также сохранности растений в зависимости от варианта посевного материала, используемого для выращивания саженцев.

Результаты и обсуждение. При осмотре опытного участка в конце вегетационного периода было обнаружено три сломанных растения, по одному растению на каждой деланке. Суммарная сохранность саженцев, выращенных из трех вариантов семян, представле-

на в таблице 1. Из полученных результатов следует, что сохранность растений джугуна безлистного не зависит от того, были семена стратифицированы и капсулированы в питательной смеси или нет.

Наряду с оценкой сохранности саженцев джугуна безлистного проводились замеры высоты саженцев за период от их всходов до выкопки, проводился подсчет количества побегов первого и второго порядка на каждом саженце, определялась масса саженцев после выкопки и толщина их стволиков у корневой шейки. При этом, продолжительность роста всех саженцев от их всходов до выкопки была равной. Результаты оценки сохранности и замеров биометрических показателей саженцев за период их роста по каждому ряду всех трех рассматриваемых вариантов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты оценки сохранности саженцев джугуна безлистного и их биометрических показателей
Table 1 – Results of assessing the survival rate of leafless Calligonum seedlings and their biometric indicators

Показатель / Indicator		Контроль / Control	Семена стратифицированные и капсулированные в питательной смеси / Seeds stratified and encapsulated in a nutrient mixture	Семена без стратификации, капсулированные в питательной смеси / Seeds without stratification, encapsulated in a nutrient mixture
Дата посева семян / Date of sowing seeds		11 ноября 2023 г. / November 11, 2023		
Дата всходов семян / Seed germination date	1 ряд / line 1	06 мая / May 6	28 мая / May 28	17 мая / May 17
	2 ряд / line 2	06 мая / May 6	26 мая / May 26	16 мая / May 16
	3 ряд / line 3	08 мая / May 8	31 мая / May 31	16 мая / May 16
Сохранность растений в конце вегетационного периода, % / Plant survival at the end of the growing season, %	1 ряд / line 1	91	100	91
	2 ряд / line 2	100	91	100
	3 ряд / line 3	100	100	100
	Среднее значение / Average value	97	97	97
Высота растений в конце вегетационного периода, м / Plant height at the end of the growing season, m	1 ряд / line 1	0,53	0,72	0,88
	2 ряд / line 2	0,61	0,85	1,02
	3 ряд / line 3	0,64	0,78	1,05
	Среднее значение / Average value	0,59	0,78	0,98
Количество побегов 1 и 2 порядка, шт. / Number of shoots of 1st and 2nd order, pcs.	1 ряд / line 1	1,93	2,24	2,31
	2 ряд / line 2	1,61	2,06	2,48
	3 ряд / line 3	1,84	2,51	2,42
	Среднее значение / Average value	1,79	2,27	2,40
Толщина стволика у корневой шейки, мм / Thickness of the trunk at the root collar, mm	1 ряд / line 1	4,2	7,9	8,1
	2 ряд / line 2	4,6	7,6	7,9
	3 ряд / line 3	4,5	7,8	8,3
	Среднее значение / Average value	4,4	7,8	8,1
Масса саженца, кг / Weight of seedling, kg	1 ряд / line 1	0,312	0,492	0,524
	2 ряд / line 2	0,261	0,501	0,538
	3 ряд / line 3	0,288	0,522	0,550
	Среднее значение / Average value	0,287	0,505	0,537

Ранее нами установлено, «что лучшую полевую всхожесть (до 73 %) имеют семена без стратификации и капсулированные в питательной смеси, что в 3 раза выше, чем у контрольных семян, т. е. таких, которые используются до настоящего времени при выращивании джугуна безлистного, без применения питательных элементов. Следует отметить, что семена без стратификации и капсулированные в питательной смеси всходят на 10-15 дней раньше, чем семена, стратифицированные и капсулированные в питательной смеси.» [16]. Этот факт учитывался для выполнения условия равной продолжительности роста саженцев всех трех вариантов от их всходов до выкопки.

Результаты исследований показали, что саженцы, выращенные из семян без стратификации, но капсулированные в питательной смеси, имеют среднюю высоту, равную 0,98 м, что на 25,6 % и 66,1 % больше, чем высота соответственно саженцев, выращенных из семян, стратифицированных и капсулированных в питательной смеси, и контрольных семян – не стратифицированных и не капсулированных. У третьего варианта саженцев наблюдалось большее количество побегов первого и второго порядка и такие саженцы имели большую толщину стволика у корневой шейки. При этом следует отметить, что толщина стволика у корневой шейки всех саженцев соответствовала отраслевому стандарту («ОСТ 56-98-93. Отраслевой стандарт. Сеянцы и саженцы основных древесных и кустарниковых пород. Технические условия»). Саженцы, выращенные из третьего варианта семян, имели среднюю массу, равную 0,537 кг, что на 6,3 % и 87,1 % больше, чем соответственно саженцы из семян, стратифицированных и капсулированных в питательной смеси и контрольных семян – не стратифицированных и не капсулированных. Безусловно, более тяжелые саженцы и с большим количеством побегов менее удобны для их транспортировки [2], однако такие саженцы имели лучшую корневую систему и, как показали их осмотры в течение последующего года, лучше прижились в полевых условиях.

Экспериментальные данные позволили построить графики изменения средней высоты саженцев в процессе их роста (рисунок 8).

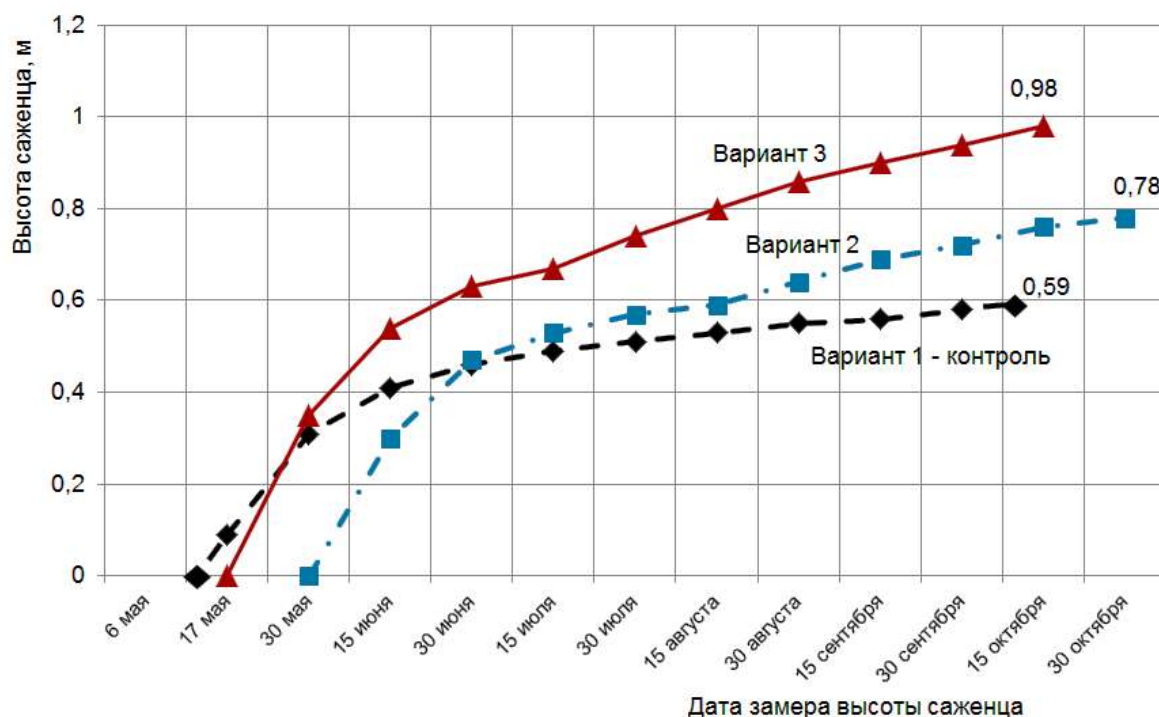


Рисунок 8 – Изменение высоты саженцев джугуна безлистного за период их роста
Figure 8 – Change in the height of leafless *Calligonum* seedlings during their growth period

Результаты исследований высоты саженцев в течение их роста показали, что интенсивность роста максимальная в первый месяц после всходов: 0,013 м/сутки у саженцев, выращенных из контрольных семян, 0,016 м/сутки – вариант семян 2 и 0,018 м/сутки – вариант семян 3. В последующие 4 месяца роста саженцев интенсивность их роста существенно снизилась: на варианте «контроль» – 0,0016 м/сутки, на варианте 2 – 0,0026 м/сутки и на варианте 3

– 0,0035 м/сутки. Из полученных данных следует, что рассматриваемые показатели саженцев из семян без стратификации, но капсулированных в питательной смеси, в меньшей степени зависят от влажности почвы в слое до 1 метра.

Таким образом, для повышения качества саженцев джужгуна безлистного в засушливых регионах Астраханской области следует их выращивать из семян без стратификации, но предварительно капсулированных в специальной питательной смеси. Этот подход позволяет обеспечить оптимальные условия для прорастания и развития растений даже в неблагоприятных климатических условиях региона.

Выводы. Экспериментальные исследования показали, что в засушливом климате Астраханской области саженцы джужгуна безлистного, выращенные из нестратифицированных семян в капсулах из специально подготовленной питательной смеси, изготовленных по разработанной технологии, достигают средней высоты до 0,98 метра, что на 25,6 % и 66,1 % больше, чем высота соответственно саженцев, выращенных из семян, стратифицированных и капсулированных в питательной смеси, и контрольных семян – не стратифицированных и не капсулированных. Такие саженцы обладают максимальной интенсивностью роста в первый месяц после всходов и в меньшей степени зависят от влажности почвы в слое до 1 метра, имеют большую массу и толщину стволика у корневой шейки, увеличенное количество побегов первого и второго порядка и лучшую приживаемость в полевых условиях.

Conclusions. Experimental studies have shown that in the arid climate of the Astrakhan region, seedlings of the leafless jujube grown from unstratified seeds in capsules made of a specially prepared nutrient mixture using the developed technology reach an average height of up to 0.98 meters, which is 25.6 % and 66.1 % higher than the height of seedlings grown from seeds that were stratified and encapsulated in a nutrient mixture, and control seeds that were not stratified or encapsulated. Such seedlings have maximum growth intensity in the first month after germination and are less dependent on soil moisture in the layer up to 1 meter. They have a larger mass and thicker stem at the root collar, an increased number of first- and second-order shoots, and better survival rates in the field.

Библиографический список

1. Подопрigorov Ю. Н., Хюпинин А. А. Джужгун безлистный (*Calligonum aphyllum* (Pall.) Gürke) – эффективный фитомелиорант в засушливых условиях Северного Прикаспия. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 2 (70). С. 288-298.
2. Подопрigorov Ю. Н., Хюпинин А. А. Выращивание посадочного материала джужгуна безлистного в Астраханской области. Аграрный научный журнал. 2022. № 7. С. 32-36.
3. Дубенок Н. Н., Танюкевич В. В., Михин В. И., Кулик А. В., Хмелева Д. В., Кваша А. А. К вопросу о проведении инвентаризации защитных лесных насаждений на землях сельскохозяйственного назначения (на примере Ростовской области). Лесохозяйственная информация: электронный сетевой журнал. 2020. № 4. С. 61-71.
4. 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. С. 8-13.
5. Булахтина Г. К. Изучение адаптивного потенциала кормовых кустарниковых растений для использования в восстановлении деградированных полупустынных пастбищных экосистем. Аграрный вестник Урала. 2022. № 01 (216). С. 2-11.
6. Шевченко В. А., Дедова Э. Б., Дедова А. А., Широкова В. А., Шабанов Р. М. Агрофитомелиорация в борьбе с опустыниванием и деградацией земель аридных территорий. Плодородие. 2024. № 3. С. 95-99.
7. Барабанов А. Т., Кулик А. В. Эффективность применения кулис из сельскохозяйственных растений в системе стокорегулирующих лесополос. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 1 (53). С. 41-47.
8. Адамова Р. М., Казиев М.-Р. А. Эколого-биологические аспекты формирования защитных лесных насаждений в аридных регионах. Аридные экосистемы. 2021. Т. 27. № 2 (87). С. 26-32.
9. Тютюма Н. В., Булахтина Г. К., Кудряшов А. В., Кудряшова Н. И. Мелиоративная эффективность кустарниковых кулис на аридных пастбищах юга России. Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 1 (82). С. 62-68.
10. Zhang S. T., Zhang J. Z., Liu Y. Effects of farmland vegetation row direction on overland flow hydraulic characteristics. Hydrology research. 2018. V. 49. I. 6. Pp. 1991-2001.
11. Ибрагимов К. М., Умаханов М. А., Мусаев М. Р. Питательная ценность основных растений полупустынных пастбищ. Проблемы развития АПК региона. 2021. № 2 (46). С. 45-50.
12. Ибрагимов К. М., Умаханов М. А., Теймуров С. А. Питательная и энергетическая ценность аридных кормовых культур в условиях западного Прикаспия. Кормопроизводство. 2022. № 1. С. 3-6.
13. Бородичев В. В., Власенко М. В., Кулик А. К. Сезонные изменения кормовой продуктивности аридных пастбищ. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1 (61). С. 14-24.
14. Есжанова Г. Т., Рахимжанова Д. Т. Технология получения биологически активных препаратов на основе *Calligonum Leucocladum* Bunge. Актуальная биотехнология. 2019. № 3. С. 644-646.
15. Тютюма Н. В., Булахтина Г. К., Подопрigorov Ю. Н. Разработка элементов технологии выращивания посадочного материала джужгуна безлистного в Астраханской области. Аридные экосистемы. 2024. Том 30. № 3 (100). С. 125-131.
16. Ряднов А. И., Бабакова А. С., Байкеева С. Х. Оценка полевой всхожести семян джужгуна безлистного в засушливых условиях Астраханской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 2 (80). С. 49-58.

17. Дедова Э. Б., Маштыков К. В., Кониева Г. Н., Гольдварг Б. А. Фитомелиоративные приемы реставрации деградированных пастбищных угодий Северо-Западного Прикаспия. Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. Т. 65. № 4 (388). С. 348-350.

18. Ряднов А. И., Шарипов Р. В., Байкеева С. Х. Концептуальные положения технологии подготовки семян джужгуна безлистного к посеву на основе использования автоматизированной технологической линии. Известия НВ АУК. 2024. № 6 (78). С. 348-356.

References

1. Podoprigrorov Yu. N., Khyupinin A. A. Leafless Saligonum aphyllum (Small) Gürke is an effective phytomeliorant in arid conditions of the Northern Caspian Sea. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro University complex: Science and higher professional education. 2023. No. 2 (70). Pp. 288-298.

2. Podoprigrorov Yu. N., Khyupinin A. A. Cultivation of planting material of leafless Saligonum aphyllum in the Astrakhan region. Agrarian Scientific Journal. 2022. No. 7. Pp. 32-36.

3. Dubenok N. N., Tanyukevich V. V., Mikhin V. I., Kulik A. V., Khmeleva D. V., Kvasha A. A. On the issue of conducting an inventory of protective forest plantations on agricultural lands (on the example of the Rostov region). Forestry information: an electronic online journal. 2020. No. 4. Pp. 61-71.

4. Kulik K. N. The current state of protective forest plantations in the Russian Federation and their role in mitigating the effects of droughts and land desertification. Scientific and Agronomic Journal. 2022. No. 3. Pp. 8-13.

5. Bulakhtina G. K. Study of the adaptive potential of forage shrub plants for use in the restoration of degraded semi-desert pasture ecosystems. Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 01 (216). Pp. 2-11.

6. Shevchenko V. A., Dedova E. B., Dedova A. A., Shirokova V. A., Shabanov R. M. Agricultural phyto melioration in the fight against desertification and land degradation of arid territories. Fertility. 2024. No. 3. Pp. 95-99.

7. Barabanov A. T., Kulik A. V. The effectiveness of using curtains from agricultural plants in the system of flow-regulating forest belts. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro University complex: science and higher professional education. 2019. No. 1 (53). Pp. 41-47.

8. Adamova R. M., Kaziev M. R. A. Ecological and biological aspects of the formation of protective forest plantations in arid regions. Arid ecosystems. 2021. Vol. 27. No. 2 (87). Pp. 26-32.

9. Tyutyuma N. V., Bulakhtina G. K., Kudryashov A. V., Kudryashova N. I. Meliorative efficiency of shrubby curtains in arid pastures of southern Russia. Arid ecosystems. 2020. Vol. 26. No. 1 (82). Pp. 62-68.

10. Zhang S. T., Zhang J. Z., Liu Y. Effects of farmland vegetation row direction on overland flow hydraulic characteristics. Hydrology research. 2018. Vol. 49. I. 6. Pp. 1991-2001.

11. Ibragimov K. M., Umakhanov M. A., Musaev M. R. Nutritional value of the main plants of semi-desert pastures. Problems of the development of the agro-industrial complex of the region. 2021. No. 2 (46). Pp. 45-50.

12. Ibragimov K. M., Umakhanov M. A., Teimurov S. A. Nutritional and energy value of arid forage crops in the conditions of the Western Caspian Sea. Fodder production. 2022. No. 1. Pp. 3-6.

13. Borodychev V. V., Vlasenko M. V., Kulik A. K. Seasonal changes in forage productivity of arid pastures. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro University complex: science and higher professional education. 2021. No. 1 (61). Pp. 14-24.

14. Eszhanova G. T., Rakhimzhanova D. T. Technology for the production of biologically active drugs based on Saligonum Leucocladum Bunge. Current biotechnology. 2019. No 3. Pp. 644-646.

15. Tyutyuma N. V., Bulakhtina G. K., Podoprigrorov Yu. N. Development of elements of technology for growing planting material of leafless calligonum in the Astrakhan region. Arid ecosystems. 2024. Vol. 30 No. 3 (100). Pp. 125-131.

16. Ryadnov A. I., Babakova A. S., Baykееva S. H. The evaluation of field germination of leafless Saligonum aphyllum seeds in the arid conditions of the Astrakhan region. Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp. 2025. No 2 (80). Pp. 49-58.

17. Dedova E. B., Mashtykov K. V., Konieva G. N., Goldvarg B. A. Phytomeliorative techniques for restoration of degraded pasture lands of the Northwestern Caspian Sea. International Agricultural Journal. 2022. Vol. 65. No. 4 (388). Pp. 348-350.

18. Ryadnov A. I., Sharipov R. V., Baykееva S. H. Conceptual provisions of the technology of pre-paring leafless Saligonum aphyllum seeds for sowing based on the use of an automated processing line. Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp. 2024. No 6 (78). Pp. 348-356.

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

Шарипов Ренат Вильевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6671-5357>, e-mail: renat_sharipov@mail.ru

Бабакоева Анна Сергеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева (Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а), e-mail: agronomiya@inbox.ru

Байкеева Светлана Хабдуловна, аспирант, ФГБОУ ВО Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева (Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 20а), ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7471-6650>, e-mail: 14ssh1994@mail.ru

Authors' Information

Ryadnov Aleksey Ivanovich, Honored worker of the higher school of the Russian Federation, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2364-4944>, e-mail: alex.rjadnov@mail.ru

Sharipov Renat Vilyevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6671-5357>, e-mail: renat_sharipov@mail.ru

Babakova Anna Sergeevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Astrakhan State University named after V. N. Tatishchev (Russian Federation, 414056, Astrakhan, Tatishchev Str., 20a), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2842-1045>, e-mail: agronomiya@inbox.ru

Baykeeva Svetlana Khabdulovna, Postgraduate Student, Astrakhan State University named after V. N. Tatishchev (Russian Federation, 414056, Astrakhan, Tatishchev Str., 20a), ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7471-6650>, e-mail: 14ssh1994@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-10

THE STUDY OF THE TRITICUM AESTIVUM L. VARIETIES IN THE MODERATELY CONTINENTAL CLIMATE OF THE SAMARA REGION

Solonkin A. V., Guzenko A. Y., Guzenko A. V.

Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences) Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: guzenko-ay@vfanc.ru

Received 29.12.2025

Submitted 30.01.2026

The research was conducted within the framework of the state assignment FNFE-2025-0009 "Creation of new genotypes, varieties, forms of woody, shrubby, cultivated plants with highly valuable traits of productivity, quality, resistance to bio- and abiostressors using classical and modern selection methods, new innovative technologies in nursery and seed production, to solve problems of preventing degradation and desertification of agricultural landscapes in a changing climate".

Abstract

Introduction. Currently, agricultural producers in the Middle Volga region have significantly changed the technological paradigm of agricultural production towards increasing yields and preserving fertility without polluting the soil with pesticides. The priority of quantitative indicators fades into the background. However, an increase in the amount of grain has led to a drop in the marginality of grain production. A possible solution at the moment may be non-root fertilization with nitrogen fertilizers during the phase of the beginning of tillering and the flag leaf development of winter wheat. **Object.** The research was carried out on new varieties of winter wheat from two breeding centers: the Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences and Shchelkovo Agrochem, using modern preparations of plant origin based on amino acids. **Materials and methods.** The research was carried out at a pilot site in the branch (FNC Agroecology of the Russian Academy of Sciences) Volga agro-industrial complex of the Samara region during 2022-2024. We selected new different biological preparations of Shchelkovo Agrochem to find out how different varieties respond to the additional use of nutrient elements. All records and observations were carried out according to generally accepted methods: according to B. A. Dospekhov and the methodology of the state variety testing of agricultural crops. **Results and conclusions.** Using the Infralume FT-12 device, a large variability in protein quality was recorded. During the experiment for 2022-2024, the air temperature averaged +20-22 °C, and the period of winter fluctuations was in the range of 13-15 °C. Throughout the entire period, the air humidity averaged 73 %. And the total amount of precipitation was 317 mm. The height of the snow cover in this area was 21-35 cm during the winter period. The yield on the site according to the variants largely depended on the treatment with leaf preparations and the genetic suitability of cultivating the variety, which made it possible to fully form a quantitative dependence of the increase in winter soft wheat varieties. During the experiment, the maximum increase in yield was shown by varieties with super intensive top dressing with leaf preparations.: Sistema, Ermolovka, Kamyshanka 9 and Elanskaya – an average of 5.7 t/ha.

This study found that the quality indicators of winter wheat grains (protein, gluten) primarily depend on the variety. However, the best results in protein and gluten were shown by the varieties Sistema, Volodya, Kamyshanka 4, Kamyshanka 6 and Elanskaya in the range of 14-15 %. This percentage puts these varieties in the 2nd class and above.

Favorable climatic conditions at the pilot site of the Volga Agro-industrial Complex of the Samara region during the growing season made it possible to evaluate winter wheat varieties in terms of productivity, as well as to obtain a positive effect from the use of additional leaf fertilizers.

Keywords: winter wheat, winter wheat yield, wheat grain quality, macro fertilizers, micro fertilizers.

Citation. Solonkin A. V., Guzenko A. Yu., Guzenko A. V. The study of the *Triticum aestivum* L. varieties in the moderately continental climate of the Samara region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 96-105 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-10.

Author's 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 633.11"324":631.84(470.43)

**ИЗУЧЕНИЕ СОРТОВ TRITICUM AESTIVUM L. В УСЛОВИЯХ
УМЕРЕННО КОНТИНЕНТАЛЬНОГО КЛИМАТА САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ****Солонкин А. В., доктор сельскохозяйственных наук****Гузенко А. Ю., младший научный сотрудник****Гузенко А. В., младший научный сотрудник**

ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексной мелиорации
и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Федеральный исследовательский центр
агроэкологии Российской академии наук)
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания FNFE-2025-0009 «Создание новых генотипов, сортов, форм древесных, кустарниковых, культурных растений с высокоценными признаками продуктивности, качества, устойчивостью к био- и абиострессорам с использованием классических и современных методов селекции, новые инновационные технологии в питомниководстве и семеноводстве, для решения задач по предотвращению деградации и опустынивания агроландшафтов в условиях изменяющегося климата».

Актуальность. В настоящее время, сельхозпроизводители Среднего Поволжья существенным образом поменяли технологическую парадигму сельскохозяйственного производства в сторону увеличения урожайности и сохранения плодородия без загрязнения почвы пестицидами. Приоритет количественных показателей отходит на второй план. Однако увеличение количества зерна привело к падению маржинальности зернового производства. Возможным решением на данный момент могут быть некорневые подкормки азотными удобрениями в фазу начала кущения и флага листа развития озимой пшеницы.

Объект. Исследования проводились на новых сортах озимой пшеницы двух селекционных центров: ФНЦ агроэкологии РАН и АО «Щелково Агрохим», с использованием современных препаратов растительного происхождения на основе аминокислот. **Материалы и методы.** Исследования проводились на опытном участке в филиале (ФНЦ агроэкологии РАН) «Поволжская АГЛОС» Самарской области в течение 2022-2024 гг. Был заложен двухфакторный опыт по возделыванию озимой пшеницы. Нами были выбраны новые различные биологические препараты Щелково Агрохим для выяснения, как разные сорта отзываются на дополнительное применение питательных элементов. Все учёт и наблюдения проводились согласно общепринятым методикам: по Доспехову Б. А. и методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. **Результаты и выводы.** С помощью прибора ИнфраЛЮМ ФТ-12 была зафиксирована большая вариабельность в качественных показателях по протеину. За время проведения опыта в 2022-2024 гг. температура воздуха в среднем составляла +20-22 °С, а период зимних перепадов – в пределах -13-15 °С. На протяжении всего периода влажность воздуха была в среднем 73 %. А суммарное количество осадков составило 317 мм. Высота снежного покрова на данном участке составила за зимний период 21-35 см. Урожайность на участке по вариантам во многом зависела от обработки препаратами по листу и генетической принадлежности возделывания сорта, что позволило полностью сформировать количественную зависимость прибавки по сортам озимой мягкой пшеницы. За время проведения опыта максимальную прибавку по урожайности показали сорта по супер интенсивной подкормке листовыми препаратами: Система, Ермоловка, Камышанка 9 и Еланская – в среднем 5,7 т/га.

Данное исследование установило, что качественные показатели зерна озимой пшеницы (белок, клейковина) в первую очередь зависят от сорта. Однако наилучшие результаты по белку и клейковине показали сорта Система, Володя, Камышанка 4, Камышанка 6 и Еланская в пределах 14-15 %. Данное процентное содержание относит эти сорта ко 2-му классу и выше.

Благоприятные климатические условия на опытном участке Поволжская АГЛОС Самарской области в процессе вегетационного периода позволили оценить сорта озимой пшеницы по продуктивности, а также получить положительный эффект от применения дополнительных листовых подкормок удобрениями.

Ключевые слова: озимая пшеница, урожайность озимой пшеницы, качество зерна пшеницы, макроудобрения, микроудобрения.

Цитирование. Солонкин А. В., Гузенко А. Ю., Гузенко А. В. Изучение сортов *Triticum aestivum* L. в условиях умеренно континентального климата Самарской области. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 96-105. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-10.

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 сегодняшний день, согласно информации Министерства науки и высшего образования РФ, выращивание зерновой продукции на 98 % складывается из перво-классных национальных сортов пшеницы [2, 4, 7]. Вновь созданные, обеспечивающие наибольший потенциал продуктивности сорта озимой пшеницы, обязаны оказать ощутимую помощь в урегулировании этой сложной ситуации [3, 8]. Осознанная деятельность селекционных специалистов в направлении усовершенствования настоящей агрокультуры и ее акклиматизация к метеорологическим факторам Среднего Поволжья, реализовывающаяся в течение века, позволила выращивать в условиях субъекта 11-14 т/га отменной зерновой продукции [1, 4, 11, 12].

Биологические добавки, по механизму воздействия, при обработке семенного материала базируется на том, что с инокуляцией осуществляется искусственное занесение на поверхность зерна полезную микрофлору и микоризу [3, 10, 12]. При сравнении с химическими протравителями, механизм воздействия биологических добавок на патогенную микрофлору, происходит значительно медленнее, поэтому подавление таковой происходит на 7-11 сутки после посева [11]. Их целесообразность в значительной степени зависит от дозирования рабочей суспензии, в сравнение с обычно применяемыми протравителями семян, иногда это менее выражено. Но в отличие от химических протравителей, биологические добавки вызывают стимулирующее, пролонгированное действие на ростовые процессы растений, приводящие к росту урожая и получению продукции повышенного качества [5, 9, 11].

Материалы и методы. Опытное поле Поволжской АГЛОС (ФНЦ агроэкологии РАН) Самарской области обладает плодородными черноземными почвами и умеренно-континентальным климатом. На протяжении более полугода здесь господствует влияние антициклона. В летние месяцы 2022-2024 гг. средние температуры воздуха колебались в диапазоне +20-22 °С, а в зимние – -13-15 °С. Средняя относительная влажность воздуха составляла около 73 %, количество осадков составило 317 мм. Высота снега достигала 21-35 см. Абсолютный максимум температуры достигал +38 °С, а абсолютный минимум – -41 °С.

Зима в области длится около четырех месяцев. Первый снег выпадает в конце октября, а устойчивый снежный покров и ледостав – в двадцатых числах ноября. В долине р. Волги снежный покров устанавливается на 15 дней позже, а разрушается на 5 дней раньше, чем на возвышенностях. Самый холодный месяц в Самаре – январь, когда средняя температура воздуха составляла -16 °С. Погода в Самарской области менялась с зимней на летнюю только со 2-5 апреля.

Условия проведения опыта: посев – 8 сентября 2022 года и 4 сентября 2023 года, глубина заделки семян – 4-5 см, норма высева – 3,5 млн всхожих семян на 1 га, сеялка СЗП – 6,0 (ширина 6 м), предшественник – черный пар.

Перед закладкой полевого опыта на участке, выбранном для посева, были проведены работы по определению содержания питательных элементов в почве.

Таблица 1 – Содержание NPK в 0-30 слое опытного участка Поволжская АГЛОС Самарской области за 2022-2024 гг., среднее

Table 1 – The NPK content in the 0-30 layer of the experimental section of the Volga AGLC of the Samara region for 2022-2024, average

Объект / Object	Слой почвы, см / Soil layer, cm	Гумус, % / Organic matter, %	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Поволжская АГЛОС / Povolgskay AGLOS	0-30	3,2	31	29	318

При проведении полевого эксперимента на территории Поволжской АГЛОС (ФНЦ агроэкологии РАН), полевая всхожесть, в целом по участку испытаний находилась в пределах 54-67 %. Что можно признать удовлетворительным, так как озимая пшеница имеет мощный компенсаторный механизм – продуктивное кущение. Коэффициент кущения в начале вегетации весны по всем сортам составил – 1,8-2,3. В связи с этим, для увеличения потенциала новообразования новых органов двух-трех боковых стеблей были проведены разные варианты обработки.

Опыт двухфакторный:

Фактор А сорта озимой пшеницы разных климатипов, двух селекционных центров: ФНЦ (агроэкологии РАН) и ОА «Щелково Агрохим».

Фактор В специальные препараты и регуляторы роста в виде листовых подкормок.

Данные препараты являются многокомпонентными микроудобрениями нового поколения со сбалансированным составом микро- и макроэлементов в долевого составе с аминокислотами растительного происхождения до 5-11 %.

Исследования проводятся на опытном участке в Поволжской АГЛОС-филиал ФНЦ агроэкологии РАН, Самарская область. Почвы опытного участка представлены черноземами обыкновенными, климат умеренно-континентальный.

Для решения поставленных целей и задач была выбрана следующая схема закладки опыта:

Вариант 2 (супер интенсивный) – предпосевное удобрение ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{KCl}$ в дозе 80 кг/га), ранневесеннее удобрение ($\text{NH}_4\text{NO}_3 - 100$ кг/га), листовая обработка:

- в фазу кущения (возобновление вегетации) (Ультрамаг Фосфор Супер (2 л/га) + Гумат Калия Суфлер (0,5 л/га)+Биостим Рост (1 л/га) + Ультрамаг Сера 900 (2,0 л/га) + Азафок (3 л/га) + Ультрамаг Хелат Cu-15 (1,0 л/га);

- в фазу флаг лист (Ультрамаг Бор (0,5 л/га) + Ультрамаг Фосфор Актив (2 л/га).

Вариант 3 (интенсивный) – предпосевное удобрение ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{KCl}$ в дозе 80 кг/га), ранневесеннее удобрение ($\text{NH}_4\text{NO}_3 - 100$ кг/га), листовая обработка:

- в фазу кущения (возобновление вегетации) (Ультрамаг Фосфор Супер (2 л/га)+Гумат Калия Суфлер (0,5 л/га)+Биостим Рост (1 л/га),

- в фазу флаг лист Ультрамаг Комби для зерновых (2,0 л/га) + (Ультрамаг Бор (0,5 л/га) + Ультрамаг Фосфор Актив (2 л/га)+Ультрамаг Медь (1 л/га).

Схемы и варианты обработок посевов озимой пшеницы Поволжская АГЛОС, ФНЦ агроэкологии РАН,
2020 - 2022 год



Рисунок 1 – Варианты обработки биологическими препаратами на опытном участке Поволжская АГЛОС Самарской области за 2022-2024 гг.

Figure 1 – Treatment options with biological products at the Povolzhskaya AGLOS experimental site in the Samara region in 2022-2024

Данные препараты являются многокомпонентными микроудобрениями нового поколения со сбалансированным составом микро- и макроэлементов в долевого составе с аминокислотами растительного происхождения до 5-11 %.

Наблюдения и учет на опытном участке проводился согласно разработанным и общепринятым методикам: по Доспехову Б. А. и методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [5].

Для проведения полной проверки и достоверности проведенных опытов за 2022-2024 гг. была проведена обработка и анализ математических данных.

Результаты и выводы. При проведении полевого эксперимента на территории Поволжской АГЛОС (ФНЦ агроэкологии РАН), полевая всхожесть, в целом по участку испытаний находилась в пределах 54-67 %. Что можно признать удовлетворительным, так

как озимая пшеница имеет мощный компенсаторный механизм – продуктивное кушение. Коэффициент кушения в начале весенней вегетации по всем сортам составил – 1,8-2,3. Для раскрытия потенциала дополнительных двух-трех боковых стеблей и обеспечения их питания были проведены разные варианты обработки.

Одной из важных характеристик продуктивности озимой пшеницы, по которой можно делать предварительные выводы о потенциале сорта, является продуктивный стеблестой или количество продуктивных стеблей на единицу площади. Изучение данного параметра показало его существенное варьирование, как между разными сортами, так и в зависимости от обработки удобрениями в пределах одного сорта (рисунок 2).

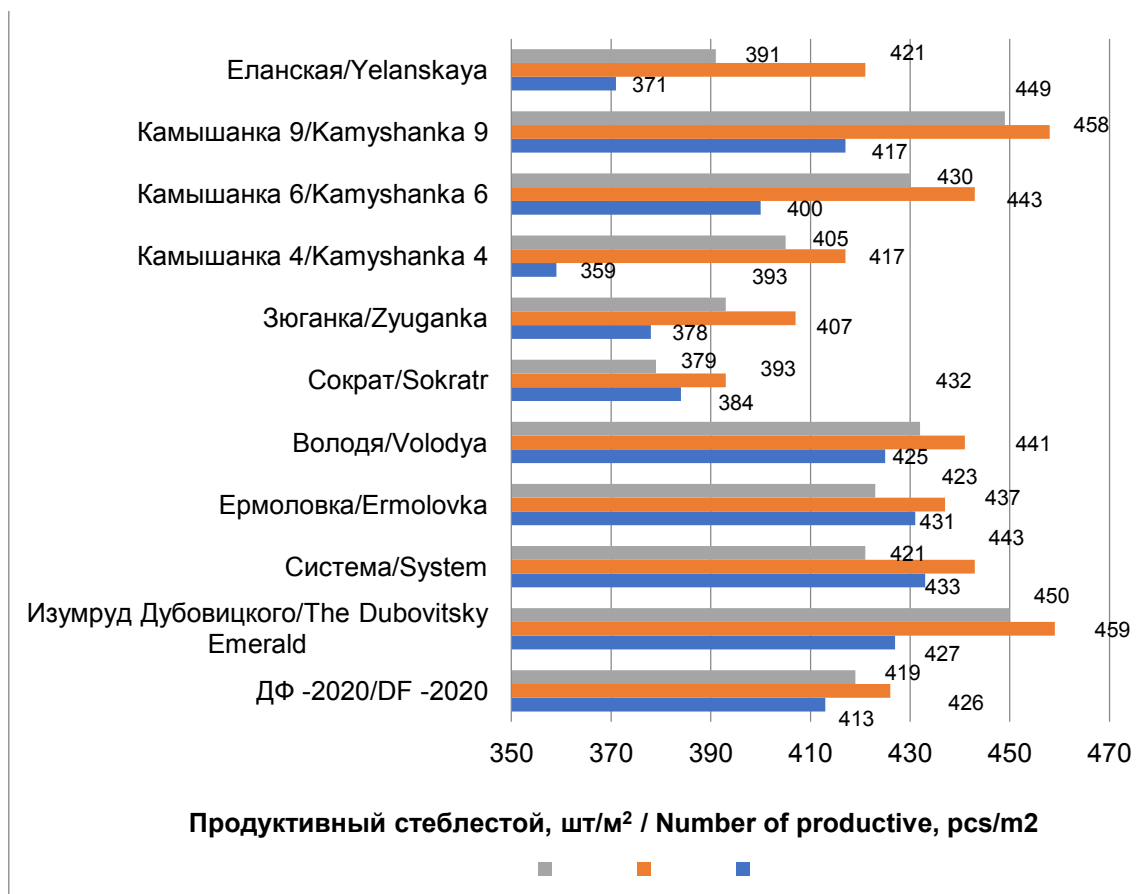


Рисунок 2 – Количество продуктивных стеблей в зависимости от варианта обработки макро- и микроудобрениями 2022-2024 гг., среднее

Figure 2 – The number of productive stems depending on the level of intensification in 2022-2024, average

Исходя из полученных данных за 2 года исследований, продуктивный стеблестой, в среднем по варианту В1 (контроль, без обработки), варьировал от 359 шт./м² у сорта Камышанка 4 и 371 шт./м² у сорта Еланская до 437 шт./м² у сорта Ермоловка, 433 шт./м² у сорта Система, 427 шт./м² у сорта Изумруд Дубовицкого и 417 шт./м² у сорта Камышанка 9. На варианте В2 (супер интенсивный агрофон, максимальное количество обработок удобрениями) отмечено существенное увеличение продуктивных стеблей по всем сортам: от 393 и 407 шт./м² у сортов Сократ и Зюгановка соответственно, до 458 и 459 шт./м², у сортов Камышанка 9 и Изумруд Дубовицкого соответственно. По варианту В3 (интенсивный агрофон, среднее количество листовых подкормок) показатели варьировали не значительно относительно, как первого, так и второго варианта обработок. При этом по сортам Сократ, Система и Ермоловка на третьем варианте отмечено даже снижение количества продуктивных стеблей в сравнении с вариантом без обработок (рисунок 2).

Таким образом, разница в продуктивном стеблестое в зависимости от применяемых обработок была тем значительнее, чем более интенсивным был агрофон:

- В3 в среднем от В1 (контроля) на 5,9 %.

- В2 в среднем от В1 (контроля) на 6,3 %.

- В3 в среднем от В2 на 3,1 %.

Увеличения эффективности препаратов особенно заметно при обработке сортов озимой пшеницы в фазу весеннего кущения и начала выхода в трубку.

Максимальное увеличение количества продуктивных стеблей на супер интенсивном агрофоне (вариант В2) объясняется тем, что применение препаратов Ультрамаг Сера 900 (2,0 л/га) + Азафок (3 л/га) + Ультрамаг Хелат Си-15 (1,0 л/га) в комплексе с другими биологическими препаратами повысило темп роста кустистости боковых побегов и способствовало активированию ускорения процесса фотосинтеза растений. При этом нормированное использование препаратов, как на варианте В3 дает незначительную прибавку продуктивности кущения от контрольного варианта, так как отсутствовал Гумат Калия Суфлер (0,5 л/га), который необходим для увеличения иммунитета растений, а также Ультрамаг Хелат Си-15, который стимулирует рост и способствует развитию мощной корневой системы (рисунок 2).

Из результатов исследований по урожайности можно судить, что в среднем относительно контрольного варианта все сорта на оставшихся двух вариантах обработки дали значительную прибавку. На варианте 2 прибавка по урожайности варьировалась относительно контроля 0,26-0,62 т/га. На третьем данный показатель колебались в пределах варианте 0,3-0,89 т/га (таблица 2).

Таблица 2 – Урожайность от уровня интенсификации 2022-2024 гг., среднее

Table 2 – Yield from the level of intensification in 2022-2024, average

Сорт / Variety	Урожайность, т/га / Yield, t/ha								
	В1 (к)			В2			В3		
	2023	2024	Ср. / average	2023	2024	Ср. / average	2023	2024	Ср. / average
ДФ-2020 / DF-2020	5,3	3,2	4,3	6,7	4,7	4,8	4,5	4,5	4,7
Изумруд Дубовицкого / Izumrud Dubovitskogo	4,4	5,3	4,9	4,9	6,4	5,2	6,2	5,2	5,3
Система / Systema	3,9	4,7	6,2	5,1	5,8	5,9	5	5,2	5,7
Ермоловка / Ermolovka	5,7	5,3	5,5	7,3	5,8	5,9	5,6	5,2	5,8
Володя / Volodya	3,9	5,3	4,6	4,7	5,8	4,9	5,3	5,9	5
Сократ / Sokrat	5,7	4,2	4,9	5,9	5,8	5,3	4,5	5,9	5,2
Зюганка / Zyuganka	5,5	3,1	4,3	5,9	5,8	4,9	6,1	5,9	5,1
Камышанка 4 / Kamyshanka 4	3,5	5,3	4,4	4,8	5,3	4,7	5,3	5,9	4,8
Камышанка 6 / Kamyshanka 6	4,2	5,3	4,8	5,5	5,3	5	6,1	5,2	5,1
Камышанка 9 / Kamyshanka 9	5,7	7,3	6,5	6,3	5,8	6,3	6,1	5,2	6,1
Еланская / Yelanskaya	4,8	7,3	6,1	4,9	5,8	5,8	6,3	5,2	5,7
Среднее / Average	4,7	5,1	5,1	5,6	5,8	5,7	5,5	5,3	5,3
НСР ₀₅	0,26	0,26	0,26	0,28	0,28	0,27	0,28	0,27	0,3

Анализируя полученные данные по урожайности сортов озимой пшеницы, можно установить разницу в зависимости от варианта обработки, что говорит нам о том, что сорта хорошо реагируют на внесённые препараты. Так лидером на втором и третьем варианте стал сорт Зюганка с прибавкой относительно контроля на 0,62 и 0,89 т/га. Стоит отметить также сорта ДФ-2020 и Ермоловка на втором варианте они также показали хорошие результаты. На третьем (интенсивном) варианте можно также отметить следующие сорта Камышанка 4 и Камышанка 6, ДФ-2020 Изумруд Дубовицкого и Володя (таблица 2).

Подводя общую картину, прибавка по урожайности при использовании дополнительных обработок микро- и макроудобрениями в флаг-лист на В2 в среднем за 2022-2024 гг. составила 0,6 т/га от контроля, что на 7,1 % выше, чем на В3 – на 3,8 % от контроля.

Исследования, проводимые с применением микроудобрений в условиях Поволжской АГЛОС (ФНЦ агроэкологии РАН) Самарской области, показали, что дополнительное минеральное питание на сортах озимой пшеницы двух селекционных центров на вариантах обработок практически полностью увеличило прирост показателей структуры урожайности.

Погодные условия на протяжении всего вегетационного периода развития озимой пшеницы, а также применение макро- и микроудобрений значительно повысили урожайность пшеницы.

Во время исследования качественных показателей на ИнфроЛюм ФТ-12, было выявлено, что процентное содержание белка напрямую зависит от индивидуальной генетической характеристики сорта. Применение дополнительного питания сортов озимой пшеницы, помимо существенной прибавки по урожайности, также оказывает положительный эффект на качественные показатели зерна, такие как содержание белка и клейковины. Однако, некоторые сорта при внесении дополнительного питания не полностью предрасположены к повышению качественных показателей зерна. Самое высокое содержание белка наблюдается по сортам от 14 % и выше, что соответствует 2 и более классу, формируется у сортов Система, Володя, Камышанка 4 и 6 (рисунок 3).

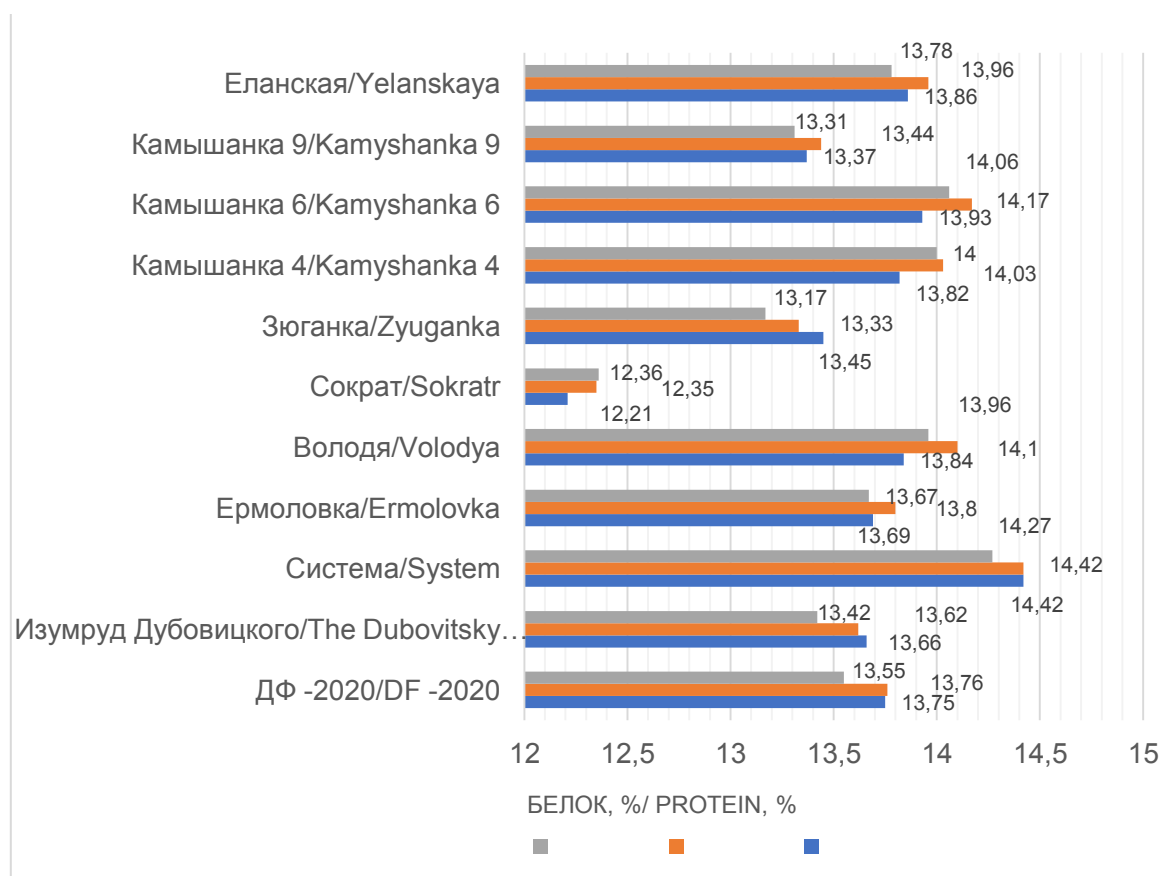


Рисунок 3 – Содержание белка от уровня интенсификации 2022-2024 гг., среднее
Figure 3 – Protein content from the level of intensification in 2022-2024, average

Остальные сорта относятся к сортам мягкой пшеницы и высокие качественные показатели у них являются преимуществом по отношению к другим сортам мягкой пшеницы. Следует отметить, что содержание белка в зерне озимой пшеницы не во всех сортах имело оптимальные значения, при этом применение дополнительного питания также не способствовало повышению качественных показателей, в частности содержанию белка.

Однако Система также показала высокий процент клейковины на контроле – 25,1 %, что обусловлено генетическими характеристиками сорта. Остальные изучаемые сорта по содержанию сырой клейковины имели показатели немного ниже в независимости от вариантов внесения дополнительных удобрений – 21-23 % (рисунок 4).

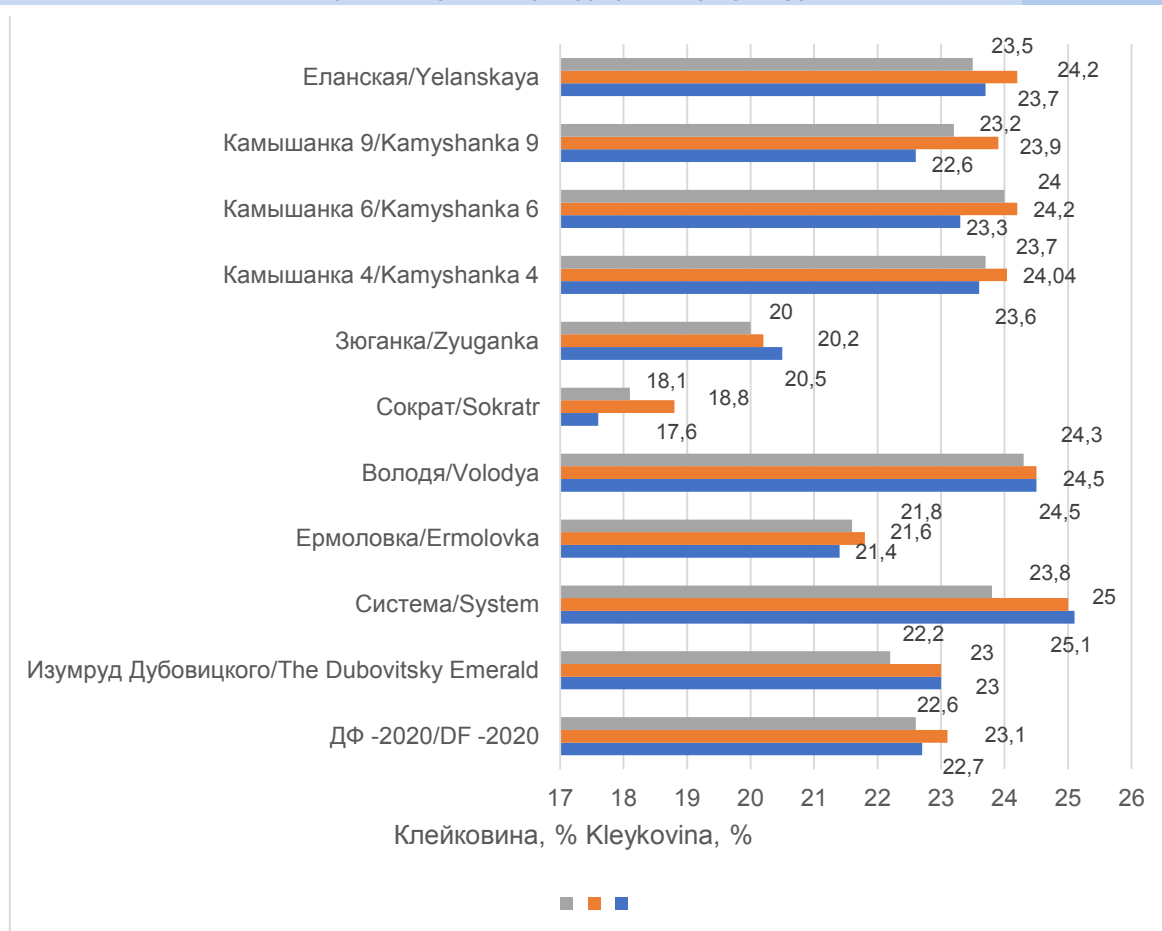


Рисунок 4 – Содержание клейковины от уровня интенсификации 2022-2024 гг., среднее
Figure 4 – Gluten content from the level of intensification in 2022-2024, average

Наименьший результат по качественным показателям принадлежит сорту Сократ – 12-18 % (рисунок 4). Остальные изучаемые сорта по содержанию сырой клейковины имели высокие показатели в независимости от вариантов внесения дополнительных удобрений.

Заключение. При проведении полевого эксперимента на территории Поволжской АГЛОС (ФНЦ агроэкологии РАН) коэффициент кущения в начале вегетации весны по всем сортам был в пределах 1,9. При обработке листовыми препаратами по разным вариантам обработки произошло повышение продуктивного стеблестоя в среднем с 379 до 459 шт./м².

Анализируя урожайность всех сортов озимой пшеницы за 2022-2024 гг. принимавших участие в испытании, лидерами с применением В2 – супер интенсивной обработки в фазу кущения ранней весной стали четыре сорта: Система, Ермоловка, Камышанка 9 и Еланская. Они смогли показать отличный результат более 5,7 т/га.

Однако наилучшие результаты по белку (в среднем 14 %) и клейковине (в среднем 23,5 %) показали сорта Система, Володя, Камышанка 4, Камышанка 9 и Еланская.

Благоприятные климатические условия на опытном участке Поволжской АГЛОС Самарской области в процессе вегетационного периода позволили оценить сорта озимой пшеницы по продуктивности, а также получить положительный эффект от применения дополнительных листовых подкормок удобрениями составить дальнейшие рекомендации применения данной технологии в фермерских хозяйствах.

Conclusion. During the field experiment on the territory of the Volga AGLO (FSB Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences), the tillering coefficient at the beginning of the spring vegetation period for all varieties was within 1.9. When treated with foliar preparations according to different treatment options, the productive stem density increased on average from a minimum of 379 to a maximum of 459 units/m².

Analyzing the yield of all varieties of winter wheat for the 2022-2024 period, four varieties were tested using B2 – a super-intensive treatment: System, Ermolovka, Kamyshanka 9, and Elanskaya. These varieties achieved an excellent yield of over 5.7 t/ha. However, the best results in terms of protein (14 % on

average) and gluten (23.5 % on average) were achieved by the varieties Sistema, Volodya, Kamyshanka 4, Kamyshanka 9, and Elanskaya. The favorable climatic conditions at the experimental site of the Volga AGLOS in the Samara Region during the growing season allowed us to evaluate the productivity of winter wheat varieties and obtain positive results from the use of additional foliar fertilization. This has led to further recommendations for the application of this technology in farms.

Библиографический список

1. Бакаева Н. П., Салтыкова О. Л. Продуктивность озимой пшеницы в зависимости от метеоусловий и обработки почвы при многолетних исследованиях. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2023 № 4. С. 3-10.
2. Беляев А. И., Петров Н. Ю., Кузнецова Е. А., Петров Ю. Н., Некрасова Т. Н., Беляев И. В., Оконов М. М. Минеральное питание в вопросах роста урожайности озимой пшеницы на юге России. Известия НВ АУК. 2025. № 4 (82). С. 13-20.
3. Гузенко А. В. Влияние макро- и микроудобрений на урожайность и качество сортов озимой пшеницы. Агрохимический вестник. 2021. № 3. С. 78-84.
4. Гузенко А. Ю., Сапунков В. Влияние сроков сева и норм высева на урожайность озимой пшеницы в условиях степной зоны черноземных почв в Волгоградской области. Аграрная наука. 2022. № 10. С. 108-114.
5. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник. М.: Альянс, 1985. 351 с.
6. Зеленев А. В., Егоров Н. М., Новокрещенов И. Д. Эффективность приемов основной обработки чисто пара в повышении урожайности сортов озимой пшеницы в условиях каштановых почв Волгоградской области. Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в условиях цифровой трансформации: материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград, 2022. С. 88-95.
7. Каракотов С. Д., Прянишников А. И., Косолапов В. М. и др. Методологические подходы оценки сортов озимой пшеницы в системе экологических испытаний АО «Щелково Агрохим». Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 1. С. 9-15.
8. Маслова Г. Я., Шарапов И. И., Шарапова Ю. А. Урожайность и элементы структуры урожая сортов озимой пшеницы конкурсного сортоиспытания в различные по метеоусловиям годы в условиях Самарской области. Известия НВ АУК. 2021. № 2 (62). С. 240-246.
9. Михальков Д. Е., Мищенко Е. В., Раззаренов С. В. и др. Урожайность озимой пшеницы в зависимости от регуляторов роста и систем применения удобрений. Проблемы развития АПК региона. 2024. № 2 (58). С. 74-79.
10. Петров Н. Ю., Филин В. И., Егорова Г. С., Беляев И. А., Чамурлиев О. Г. Минеральное питание в посевах ярового ячменя на юге России. Известия НВ АУК. 2023. № 4 (72). С. 58-65.
11. Прянишников А. И., Смит И. Н., Мельник А. Ф., Зеленев А. А. Оценка отзывчивости сортов озимой пшеницы на уровень интенсивности их возделывания. Научно-агрономический журнал. 2023. № 2 (121). С. 28-33.
12. Yodgorov N. G. Influence of irrigation and feeding rates on sprouting and wintering of winter wheat. Bulletin of Science and Education. 2021. № 8 (111). Part 1. Pp. 30-34.

References

1. Bakayeva N. P., Saltykova O. L. Productivity of winter wheat depending on weather conditions and soil cultivation during long-term studies. Proceedings of the Samara State Agricultural Academy. 2023 № 4. Pp. 3-10.
2. Belyaev A. I., Petrov N. Yu., Kuznetsova E. A., Petrov Yu. N., Nekrasova T. N., Belyaev I. V., Okonov M. M. Mineral nutrition in the issues of winter wheat yield growth in the south of Russia. Proceedings of the NV AUC. 2025. N 4 (82). Pp. 13-20.
3. Guzenko A. V. The influence of macro- and micro fertilizers on the yield and quality of winter wheat varieties. Agrochemical Bulletin. 2021. No 3. Pp. 78-84.
4. Guzenko A. Yu. Sapunkov V. The influence of sowing dates and seeding rates on the yield of winter wheat in the conditions of the steppe zone of chernozem soils in the Volga-grad region. Agrarian Science. 2022. No 10. Pp. 108-114.
5. Dospekhov B. A. The methodology of field experience (based on statistical processing of research results - Research Institute). M.: Alliance, 1985. 351 p.
6. Zelenov A. V., Egorov N. M., Novokreschenov I. D. The effectiveness of the main steam treatment methods in increasing the yield of winter wheat varieties in the conditions of 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.
7. Karakotov S. D., Pryanishnikov A. I., Kosolapov V. M. et al. Methodological approaches to assessing winter wheat varieties in the environmental testing system of JSC Shchelkovo Agrochem. Bulletin of Russian Agricultural Science. 2021. No 1. Pp. 9-15.
8. Maslova G. Ya., Sharapov I. I., Sharapova Yu. A. Yield and elements of the crop structure of winter wheat varieties of competitive variety testing in various weather conditions in the Samara region. Proceedings of the NV AUC. 2021. No 2 (62). Pp. 240-246.
9. Mikhalkov D. E., Mishchenko E. V., Razarenov S. V. et al. The yield of winter wheat depends on growth regulators and fertilizer application systems. Problems of agro-industrial complex development in the region. 2024. No 2 (58). Pp. 74-79.
10. Petrov N. Yu., Filin V. I., Egorova G. S., Belyaev I. A., Chamurliiev O. G. Mineral nutrition in spring barley crops in the south of Russia. Proceedings of the NV AUC. 2023. No 4 (72). Pp. 58-65.
11. Pryanishnikov A. I., Smith I. N., Melnik A. F., Zelenov A. A. Assessment of the responsiveness of winter wheat varieties to the intensity of their cultivation. Scientific and agronomic journal. 2023. No 2 (121). Pp. 28-33.
12. Yodgorov N. G. Influence of irrigation and feeding rates on sprouting and wintering of winter wheat. Bulletin of Science and Education. 2021. № 8 (111). Part 1. Pp. 30-34.

Информация об авторах

Солонкин Андрей Валерьевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1576-7824>, e-mail: solonkin-a@vfanc.ru

Гузенко Алексей Юрьевич, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8237-6495>, e-mail: guzenko-ay@vfanc.ru

Гузенко Андрей Викторович, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3852-5358>, e-mail: guzenko-av@vfanc.ru

Authors' Information

Solonkin Andrey Valerievich, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Federal Scientific 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), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1576-7824>, e-mail: solonkin-a@vfanc.ru

Guzenko Aleksey Yuryevich, Junior Researcher, Federal Research Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8237-6495>, e-mail: guzenko-ay@vfanc.ru

Guzenko Andrey Viktorovich, Junior Researcher, Federal Research Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3852-5358>, e-mail: guzenko-av@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-11

THE ATMOSPHERIC AND SOIL DROUGHT DYNAMICS DURING THE MODERN CLIMATE WARMING PERIOD**Toigildin A. L., Sharipova R. B., Petrov M. V.**

*Samara Federal Research Scientific Center RAS,
Ulyanovsk Scientific Research Agriculture Institute named after N. S. Nemtsev
Ulyanovsk, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: rezedasharipova63@mail.ru

Received 31.10.2025

Submitted 30.01.2026

The work was performed by employees of the Department of Agriculture and Agricultural Crop Technology of the Ulyanovsk Research Institute of Agricultural Sciences, a branch of the SamNC RAS, as part of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for SamNC RAS on the topic FMRW-2025-0042.

Summary

The article presents the results of long-term research (1995-2024) aimed at assessing atmospheric and soil droughts, as well as their impact on the yield of grain crops in field conditions of the forest-steppe zone of the Middle Volga region.

Abstract

Introduction. The article presents the results of long-term research (1995-2024) aimed at assessing atmospheric and soil droughts, as well as their impact on grain yields in the field in the forest-steppe zone of the Middle Volga region. **Materials and methods.** A comparative analysis of the hydrothermal coefficient (GTC) for the periods May-July and May-September, as well as an analysis of productive moisture reserves in the soil in the 0-20-0-50 and 0-100 cm layers during the growing season, was carried out. **Results and conclusions.** The study revealed the trends of climatic changes carried out in the Timiryazevsky agrometeorological post in the Ulyanovsk region during the modern period of warming. An increase in the average air temperature by 2.2 °C, a change in precipitation by 116 mm and an increase in the frequency of extreme weather events, which have a significant impact on grain yields, were found. Statistical analyses, including correlation and trend analyses, were used to assess climate dynamics. The significance of the results was verified using Fischer's F-test and Student's t-test. Data processing was carried out using software packages (Excel, Statistica) and graphical methods. The hydrothermal coefficient (GTC) characteristics were calculated according to the guidelines of the Main Geophysical Observatory. The duration of episodes of atmospheric and soil drought, as well as the frequency of their occurrence during the growing season, are considered. Their intensity, classification and relationship with the yield of grain crops are determined. The presented research results showed that, in general, over the last 30-year period (1995-2024), 17 atmospheric droughts were observed in the region, with a recurrence rate of 57 % and 11 (37 %) soil droughts. It was revealed that very severe, severe and mild droughts occur every five (17 %) years during the growing season, and the average after six (20 %) years. It is emphasized that in the period from 2008 to 2024, atmospheric drought for the period May-July was observed almost annually, with the exception of 2017, 2020, 2022; which are also characterized by an increased frequency of soil droughts. The analysis showed that the soil drought lasts from 4 to 8 decades. In 1995, 2013, 2019, 2023 – 4 decades, in 1998, 2009, 2010, 2024 – 5 decades in 2018 – 7 decades, in 2014 and 2021 – 8 decades. It has been revealed that the sharpest decrease in yield is observed in the years following spring, stable atmospheric and severe soil drought.

Keywords: atmospheric droughts, soil droughts, climate change, crop forecasting.

Citation. Toigildin A. L., Sharipova R. B., Petrov M. V. The atmospheric and soil drought dynamics during the modern climate warming period. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 105-115 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-11.

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 551.583

ДИНАМИКА АТМОСФЕРНОЙ И ПОЧВЕННОЙ ЗАСУХИ В ПЕРИОД СОВРЕМЕННОГО ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

Тойгильдин А. Л., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Шарипова Р. Б., кандидат географических наук

Петров М. В., научный сотрудник

Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н. С. Немцева
г. Ульяновск, Российская Федерация

Работа выполнена сотрудниками отдела земледелия и технологии возделывания сельскохозяйственных культур Ульяновского НИИСХ-филиала СамНЦ РАН в рамках государственного задания Минобрнауки России для СамНЦ РАН по теме FMRW-2025-0042.

Актуальность. Статья представляет результаты многолетних исследований (1995-2024 гг.), направленных на оценку атмосферных и почвенных засух, а также их воздействия на урожайность зерновых культур в полевых условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья. **Материалы и методы.** Проведен сравнительный анализ гидротермического коэффициента (ГТК) за периоды май-июль и май-сентябрь, а также анализ запасов продуктивной влаги в почве в слое 0-20-0-50 и 0-100 см за вегетационный период. **Результаты и выводы.** В ходе исследования выявлены тенденции климатических изменений, проводимых в агрометеорологическом посту Тимирязевский, Ульяновской области за современный период потепления. Установлено увеличение средней температуры воздуха на 2,2 °С, изменение количества осадков на 116 мм и рост частоты экстремальных погодных явлений, которые оказывают значительное влияние на урожайность зерновых культур. Для оценки динамики климата применялись статистические анализы, включая корреляционный и трендовый анализы. Значимость полученных результатов верифицировалась с помощью F-критерия Фишера и t-критерия Стьюдента. Обработка данных осуществлялась с использованием программных комплексов (Excel, Statistica) и графических методов. Вычисление характеристик гидротермического коэффициента (ГТК) проводилось согласно методическим указаниям Главной геофизической обсерватории. Рассмотрена длительность эпизодов атмосферной и почвенной засухи, а также частота их возникновения в вегетационный период. Определены их интенсивность, классификация и связь с урожайностью зерновых культур. Изложенные результаты исследований показали, что в целом за последний 30-летний период (1995-2024 гг.) в регионе наблюдалось 17 атмосферных засух, повторяемость которых составляет 57 % и 11(37 %) почвенных засух. Выявлено, что очень сильные, сильные и слабые засухи за период вегетации по очередности проявляются через каждые пять (17 %), а средние через шесть (20 %) лет. Подчеркивается, что в период с 2008 по 2024 год атмосферная засуха за период май – июль наблюдалась почти ежегодно, за исключением 2017, 2020, 2022 годов, которые также характеризуются повышенной частотой почвенных засух. Анализ показал, что почвенная засуха длится от 4 до 8 декад. В 1995, 2013, 2019, 2023 годах – 4 декады, в 1998, 2009, 2010, 2024 – 5 декад, в 2018 – 7 декад, в 2014 и 2021 – 8 декад. Выявлено что наиболее резкое снижение урожайности наблюдается в годы с весенней, устойчивой атмосферной и сильной почвенной засухой.

Ключевые слова: атмосферные засухи, почвенные засухи, климатические изменения, прогнозирование урожая.

Цитирование. Тойгильдин А. Л., Шарипова Р. Б., Петров М. В. Динамика атмосферной и почвенной засухи в период современного потепления климата. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 105-115. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-11.

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. Засухи, являясь одним из наиболее значительных бедствий, затрагивают многие аспекты жизни современного общества и занимают важное место среди насущных экологических проблем [1, 2]. Они оказывает разрушительное воздействие на различ-

ные отрасли экономики, состояние окружающей среды и, в особенности, на сельское хозяйство, по своим негативным последствиям нередко превосходя другие стихийные бедствия [3]. Согласно данным Всемирной метеорологической организации (ВМО), значительная доля (около 85 %) ущерба от природных явлений связана с экстремальными погодными условиями, а засухи составляют около 50 % всех масштабных экономических потерь, причиненных природными катастрофами. Засуха – это недостаток влаги, который можно классифицировать по различным критериям. Существуют атмосферные, почвенные и атмосферно-почвенные засухи. В зарубежной литературе используется более детализированная классификация [4].

Засухи делятся на метеорологические и сельскохозяйственные. Метеорологическая засуха характеризуется дефицитом осадков, высокой температурой, низкой влажностью и увеличенным испарением. Сельскохозяйственная засуха проявляется в дефиците влаги в почве, что снижает урожайность. В России для мониторинга сельскохозяйственных засух используются агрометеорологические показатели.

На территории России засухи бывают весенние, летние и осенние, различаются по интенсивности и охвату территории. Наибольший ущерб наносят сильные весенне-летние засухи, особенно в мае и июне. Поэтому, в современных условиях развития сельского хозяйства прогнозирование засух приобретает особую важность. Своевременное принятие мер по смягчению последствий засухливых периодов позволяет существенно снизить ущерб, наносимый различным сельскохозяйственным отраслям [4]. Таким образом, изучение засух является актуальной задачей, требующей разработки эффективных стратегий для минимизации их негативного воздействия на природу и общество, а также для адаптации к современным изменениям климата [5, 6].

Цель данного исследования заключается в комплексной оценке интенсивности и временной динамики атмосферных и почвенных засух в вегетационный период на сельскохозяйственных угодьях Ульяновской области в условиях современных климатических изменений.

Материалы и методы исследования. В качестве исходных данных использованы многолетние данные о температуре воздуха, количестве осадков и данные влажности почвы из метеорологических ежегодников и таблиц ТСХ-8 за период с 1995 по 2024 год на основе данных стандартных агрометеорологических наблюдений, производимых на агрометеорологическом посту Тимирязевский Ульяновского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, расположенного на территории Ульяновского научного исследовательского института. Объектом исследования стали атмосферная и почвенная засухи. Для анализа данных применялась урожайность озимой пшеницы Харьковская-93 и Марафон по разным предшественникам. Влажность почвы определялась методом высушивания. Пробы отбирались ежедекадно в период вегетации до устойчивого промерзания почвы. Для этого использовались две скважины в каждом из двух повторений. Пробы брались послойно через каждые 10 сантиметров до глубины 0-100 см. После отбора образцы помещались в бумажные пакеты, взвешивались и затем подвергались сушке при температуре 140 °С в течение 6 часов. Содержание влаги в почве определялось в процентах от абсолютно сухой массы и в миллиметрах продуктивной влаги.

В ходе исследования применялись методы сравнения, анализа и обобщения данных. Изменения климатических показателей оценивались с помощью статистических методов, корреляционного и трендового анализа (Уланова Е. С., Забелин В. Н. Методы корреляционного и регрессионного анализа в агрометеорологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. С. 21-35), достоверность результатов подтверждалась F-тестом Фишера и T-критерием Стьюдента (Доспехов Б. А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Альянс. 2014:1-352). Для анализа данных использовались пакеты программ (Excel, Statistica), включающие в себя стандартные методы обработки рядов наблюдений на основе математической статистики, с использованием корреляционно-регрессионного анализа и графических методов. Расчет характеристик ГТК проводился в соответствии с методикой Главной геофизической обсерватории. При составлении таблиц и рисунков использовался редактор Microsoft Excel, также научная литература, нормативные документы и периодические издания по тематике исследования.

Результаты и обсуждения. В докладе «Климат и экология», опубликованном в сборнике Агентства стратегических инициатив «Горизонт-2040», эксперты отмечают, что с учетом того, что в России температура повышается быстрее, чем в среднем по миру, это может иметь положительные последствия для отечественного сельского хозяйства [3, 4, 5].

В рамках проходившего в 2022 году II Евразийского экономического форума (ЕЭФ-2022) специальный представитель президента по вопросам цифрового и технологического развития Дмитрий Песков заявил, что благодаря изменению климата доля пахотных земель на территории России может увеличиться на 40 млн га [7]. Однако если в зонах с умеренным климатом повышение температуры может иметь благоприятный эффект на сельское хозяйство, то на территориях, где до этого были комфортные условия для растениеводства, повышение температуры может привести к катастрофическим последствиям [4].

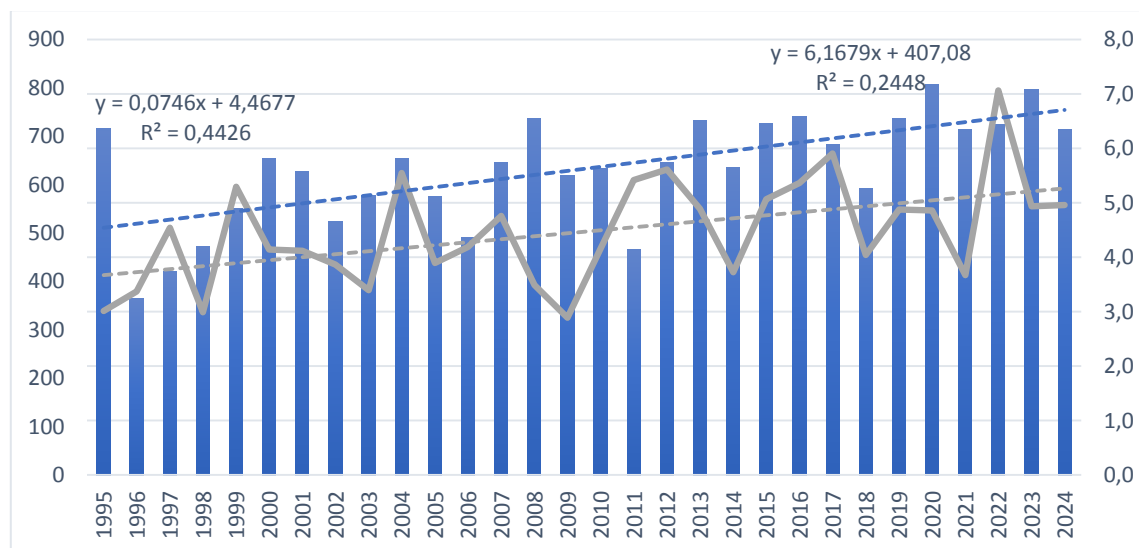


Рисунок 1 – Динамика температуры воздуха и атмосферных осадков за 1995-2024 гг.

Figure 1 – Dynamics of air temperature and precipitation for 1995-2024

По данным рисунка 1, за последние три десятилетия в Ульяновской области произошло повышение температуры воздуха на 2,2 °C ($R^2 = 0,4426$) и увеличение количества атмосферных осадков на 185 мм, с достаточно высокой достоверностью ($R^2 = 0,2448$). Изменение температуры и осадков в период активной вегетации представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели уравнения регрессии, скорость изменения температуры воздуха и количества атмосферных осадков в период активной вегетации по месяцам за 1995-2024 гг.
Table 1 – Indicators of the regression equation, the rate of change in air temperature and the amount of precipitation during the active growing season by month for 1995-2024

Месяц / Month	КНЛТ	Коэффициент достоверности (R^2) / Confidence coefficient (R^2)	Скорость изменения / Rate of change
Температура воздуха, °C / Air temperature, °C			
Май / May	+0,0715	0,0569	+2,14
Июнь / June	+0,0298	0,06169	+0,89
Июль / July	+0,0282	0,0249	+0,84
Август / August	+0,1192	0,2622	+3,57
Сентябрь / September	+0,0852	0,2366	+2,56
Среднее май-июль / Average May-July	+0,0432	0,0478	+1,28
Среднее май-сентябрь / Average May-September	+0,0667	0,1284	+2,00
Атмосферные осадки, мм / Atmospheric precipitation, mm			
Май / May	-0,2968	0,0179	-8,90
Июнь / June	-0,4491	0,0153	-13,47
Июль / July	+1,1987	0,0721	+35,96
Август / August	-0,6729	0,0209	-20,18
Сентябрь / September	-0,6783	0,0314	-20,349
Среднее май-июль / Average May-July	0,1509	0,0351	4,53
Среднее май-сентябрь / Average May-September	-0,1797	0,0315	-5,39

Представленные данные наглядно демонстрируют повышение температуры за май-июль на 1,29 °С, май-сентябрь +2,0 °С (таблица 1). Максимальное повышение температуры наблюдается в августе месяце (+3,57 °С), минимальное в июле. Что касается относительно атмосферных осадков в мае-сентябре идет их снижение кроме июля месяца, когда наблюдается устойчивое повышение на 35,96 мм с высокой достоверностью ($R^2 = 0,0721$), что благоприятно сказывается на росте яровых и технических культур. За май-июль тенденция положительная (+4,53 мм), май-сентябрь – отрицательная -5,39 мм ($R^2 = 0,0315$).

Таким образом, существенное повышение температуры воздуха в вегетационный период и понижение количества атмосферных осадков приводит к засушливым явлениям, которые стали проявляться в регионе чаще [8, 9, 10].

Атмосферная засуха – это аномальная жара, сопровождающаяся интенсивным солнечным излучением и высокой испаряемостью [11, 12]. Разнообразие критериев оценки засушливых условий обусловлено многофакторностью подходов и природно-климатическим разнообразием [13, 14]. При переходе от аридных к гумидным регионам меняется интерпретация засухи, требуя комплексного учета характеристик территории и климата. Каждая географическая среда характеризуется присущей ей влажностью, определяющей экосистемы, зависящие от региональных особенностей [11, 15]. В качестве обоснованного в расчете, и достаточно надежного показателя баланса тепла и влаги используют гидротермический коэффициент (ГТК). Он, по определению, характеризует степень увлажнения территории в течение периода активной вегетации. Важно отметить, что ГТК отражает соотношение тепла и влаги не за весь год, а именно за вегетационный период [13]. В данной работе на основе данных агрометеорологического поста Тимирязевский были рассчитаны значения ГТК как за период с активными температурами, так и отдельно для каждого месяца (май, июнь, июль, август, сентябрь). Нестабильность увлажнения проявляется в виде экстремальных значений ГТК: засухи различной интенсивности и избыточного увлажнения по классификации. Экстремальные значения также определялись для наиболее важных месяцев вегетации (май, июнь, июль) (таблица 2).

Таблица 2 – Интенсивность, характеристики атмосферных засух и урожайность озимой пшеницы Харьковская-93 и Марафон по разным предшественникам (1995-2024 гг.)
Table 2 – Intensity, characteristics of atmospheric droughts and yield of winter wheat Kharkovskaya-93 and Marathon for different predecessors (1995-2024)

Годы / Years	ГТК, интенсивность и характеристики засухи / HTC, intensity, and characteristics of drought						Урожай- ность, т/га / Yield, t/ha
	Май- июль / May- June	Классификация / Classification	Характеристики / Specifications	Май- сентябрь / May- September	Класси- фикация / Classificat ion	Характери- стики / Specifications	
1	2	3	4	5	6	7	8
1995	0,27	очень сильная / very strong	устойчивая / sustainable	0,56	сильная / strong	устойчивая / sustainable	1,60
1996	1,05			1,03			2,42
1997	1,27			1,33			4,36
1998	0,32	сильная / strong	устойчивая / sustainable	0,55	сильная / strong	устойчивая / sustainable	2,82
1999	1,46			2,11			5,44
2000	1,35			1,43			4,65
2001	0,86	слабая / weak	летняя / summer	0,88	слабая / weak	летне- осенняя / summer and autumn	2,96
2002	0,79	слабая / weak	летняя / summer	0,87	слабая / weak	летняя / summer	3,00
2003	1,35			1,08			2,97
2004	1,53			1,34			2,75
2005	1,37			0,94	слабая / weak	летне- осенняя / summer and autumn	3,50

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
2006	1,17			1,08			2,60
2007	1,12			1,12			3,70
2008	0,88	слабая / weak	весенне- летняя / spring and summer	1,06			5,21
2009	0,68	средняя / medium	летняя / summer	0,70	средняя / medium	Летне- осенняя / summer and autumn	7,12
2010	0,26	очень сильная / very strong	устойчивая / sustainable	0,47	сильная / strong	устойчивая / sustainable	2,59
2011	1,34			1,57			4,38
2012	0,88	слабая / weak	весенне- летняя / spring and summer	1,23			1,65
2013	0,79	средняя / medium	весенняя / spring	1,18			6,62
2014	0,49	сильная / strong	устойчивая / sustainable	0,55	сильная / strong	устойчивая / sustainable	4,20
2015	0,82	слабая / weak	устойчивая / sustainable	0,64	средняя / medium	устойчивая / sustainable	5,60
2016	0,92	слабая / weak	весенне- летняя / spring and summer	1,16			5,20
2017	1,91			1,32			5,32
2018	0,54	сильная / strong	устойчивая / sustainable	0,51	сильная / strong	весенне- летняя / spring and summer	3,96
2019	0,61	средняя / medium	весенняя / spring	1,02			1,83
2020	1,21			1,16			5,87
2021	0,67	средняя / medium	летняя / summer	0,79	средняя / medium	летняя / summer	3,05
2022	1,65			1,25			6,00
2023	0,54	сильная / strong	устойчивая / sustainable	0,43	сильная / strong	устойчивая / sustainable	2,50
2024	0,79	средняя / medium	весенне- летняя / spring and summer	0,72	средняя / medium	осенняя / autumn	2,40
Количество лет с засухой / Number of years with drought				17	13		
Обеспеченные влагой / Provided with moisture				6	11		
Избыточно увлажненные / Excessively moistened				7	6		

За годы исследований за май-сентябрь наблюдалось 13 засушливых лет. Из них в течение шести лет, т. е. через каждые пять лет, они характеризовались как самые опасные – сильные и устойчивые: ГТК понижался до 0,43 единиц (1995, 1998, 2010, 2014, 2018, 2023 гг.). Засухи, характеризующиеся как средние, наблюдались четыре раза: ГТК колебался от 0,64 до 0,79 (2009, 2013, 2015, 2021, 2024 гг.). Засушливые явления интенсивностью от 0,87-0,94 характеризовались как слабые и наблюдались в течение трех лет (2001, 2002, 2005 гг.). Влагой вегетационный период был обеспечен в 1996, 2003, 2006, 2007, 2008, 2012, 2013, 2016, 2019, 2020, 2022 гг., ее избыток наблюдался в 1997, 1999, 2000, 2004, 2011, 2017 гг. Весенне-летние засухи (май-июль) наблюдались чаще, в течение 17 лет, к вышеперечисленным выше, добавились слабые и средние засушливые 2008, 2012, 2013, 2016 годы. Избыточно увлажненными считаются 1999, 2000, 2004, 2005, 2011, 2017, 2022 гг., и обеспеченными влагой оказались всего 6 лет: 1996, 1977, 2003, 2006, 2007, 2020 гг. (таблица 2, 3).

Таблица 3 – Характеристики засух и количество лет
Table 3 – Drought characteristics and number of years

Характеристики / Specifications	Значение ГТК / The value of the HTC	Количество лет / Number of years	
		Май-июль / May-July	Май-сентябрь / May-September
Избыточное увлажнение / Excessive moisture	> 1,31	7	6
Обеспеченное увлажнение / Provided humidification	1,0-1,3	6	11
Слабая засуха / Mild drought	0,81-0,99	6	3
Средняя засуха / Average drought	0,61-0,8	5	4
Сильная засуха / Severe drought	0,31-0,6	4	6
Очень сильная засуха / Very severe drought	< 0,3	2	-
Почвенная засуха / Soil drought			
Продолжительность 2-3 декады – умеренная / Duration of 2-3 decades is moderate			
Продолжительность 4-5 декады – сильная / Duration of 4-5 decades – strong			

Необходимо отметить, что в условиях современного глобального потепления, начиная с 2008 года, за период май-июль засухи разной интенсивности стали наблюдаются почти ежегодно, за исключением 2011, 2017, 2020 и 2022 гг.

Развитие агроклиматического и оперативного агрометеорологического мониторинга позволяет создать систему наблюдения за почвенными засухами [16, 17]. Засухи делятся на атмосферные, почвенные и комплексные, но их взаимосвязь затрудняет дифференциацию [18]. Необходим унифицированный подход к мониторингу почвенных засух для систематического измерения степени засушливости в регионе и всестороннего их изучения. При определении количественных показателей запасов продуктивной влаги, сроков и длительности засух, необходимо учитывать климатические условия, рельеф, состав почвы и органических веществ. Почвенная засуха на территории Ульяновской области наступает при снижении запасов продуктивной влаги в слое 0-20 см до 10 мм и менее и в слое 0-100 см до 80 мм и менее, на протяжении не менее трех декад, что приводит к дефициту влаги для растений, интенсивность которого зависит от степени засухи. По шкале оценки интенсивности, 2-3 засушливые декады указывают на умеренную засуху, а 4-5 – на сильную [11, 19].

Анализ влагообеспеченности озимой пшеницы проводился после различных предшественников. Состояние посевов озимой пшеницы наблюдали в период вегетации и осенью, образцы почвы для оценки запасов влаги под озимую пшеницу отбирали начиная с начала августа месяца.

По нашим исследованиям видно, что почвенная засуха является следствием атмосферной. Лишь слабые атмосферные засухи (ГТК= 0,81-0,99) не способствуют образованию почвенных засух. По данным, представленным в таблице 4, в годы средней и сильной атмосферной засухи наблюдаются сильные почвенные засухи периодичностью через каждые 2-3 года, в течение 11 лет.

Наиболее сильные и устойчивые атмосферные засухи 2010 и 1995 года способствовали возникновению интенсивных и продолжительных почвенных засух, начиная с третьей декады мая. Весенние засухи считаются наиболее опасными и оказывают комплексное воздействие на агроэкосистемы, включая снижение фотосинтетической активности, нарушение водного баланса растений и увеличением риска заболеваний и вредителей, что весьма неблагоприятно для сельскохозяйственной отрасли. За период почвенных засух в 2010 году в течение пяти декад выпало всего 12,5 мм при норме 94 мм, а в 1995 году за пять декад – 18,7 мм при норме 85,0 мм. Далее по интенсивности следуют: 2021, 2014 и 2019 гг.

Для проведения детального анализа агроклиматической засушливости в течение вегетационного периода в рамках данного исследования было применено исследование количества декадных периодов, характеризующихся дефицитом почвенной влаги, который позволяет учитывать вариативность продолжительности вегетационного периода, а также специфические биологические характеристики культурных растений. Таким образом, анализ данного показателя способствует более точной оценке агроклиматических рисков и разработке эффективных стратегий адаптации сельскохозяйственного производства к из-

меняющимся климатическим условиям. Изложенный анализ продемонстрировал, что количество декад с проявлением почвенной засухи варьируется в диапазоне от четырех до восьми декад. Продолжительностью в 4 декады почвенные засухи наблюдались в 1995, 2013, 2019, 2023 гг., в 5 декад 1998, 2009, 2010, 2024, семь декад 2018 и 8 декад 2014 и 2021 гг.

Таблица 4 – Показатели почвенной засухи по годам и количество выпавших осадков
Table 4 – Soil drought indicators by year and amount of precipitation

Годы, интенсивность / Years, intensity	Слой / Layer	Месяц, декада / Month, decade								Среднее / Average	Кол-во декад / Number of decades	Кол-во осадков, мм / Precipitation, mm
		Май / May	Июнь / June			Июль / July			Август / August			
		3 дек / The decade 3	1 дек / The decade 1	2 дек / The decade 2	3 дек / The decade 3	1 дек / The decade 1	2 дек / The decade 2	3 дек / The decade 3	1 дек / The decade 1			
1995 сильная / severe	0-20			9	2	1	4			4,0	4	18,7
	0-50			38	11	10	11			17,5		
	0-100			82	27	24	25			39,5		
1998 сильная / severe	0-20			2	1	4	9	3		3,8	5	34,0
	0-50			14	9	7	27	12		13,8		
	0-100			61	42	13	53	18		37,4		
2009 сильная / severe	0-20				8	4	5	0	6	4,6	5	33,9
	0-50				30	18	8	0	14	14,0		
	0-100				78	36	13	6	23	27,2		
2010 сильная / severe	0-20	7	1	1	0	10				3,0	5	12,5
	0-50	20	18	10	0	15				10,1		
	0-100	68	62	21	2	16				26,3		
2013 сильная / severe	0-20		10	4	2	4				5	4	28,0
	0-50		26	11	7	9				13,2		
	0-100		64	48	14	15				35,2		
2014 сильная / severe	0-20	7	3	10	8	8	1	0	0	4,6	8	65,3
	0-50	35	11	28	20	27	6	5	5	17,5		
	0-100	77	22	80	41	53	17	17	19	40,7		
2018 сильная / severe	0-20	10	8	6	8	8	6	0		6,5	7	29,6
	0-50	44	34	21	26	23	20	8		25,1		
	0-100	63	89	50	49	40	44	19		49,1		
2019 сильная / severe	0-20	5	2	6	6					4,7	4	36,3
	0-50	29	17	25	22					23,5		
	0-100	80	50	52	50					58,0		
2021 сильная / severe	0-20	5	3	0	0	7	3	10	5	4,1	8	105,5
	0-50	29	19	4	3	21	14	26	17	16,6		
	0-100	80	54	13	10	36	27	39	25	35,1		
2023 сильная / severe	0-20				10	1	10	14		8,7	4	49,8
	0-50				35	8	28	35		26,5		
	0-100				77	56	54	53		60,0		
2024 сильная / severe	0-20				11	1	10	1	10	6,6	5	56,4
	0-50				32	6	37	8	28	22,2		
	0-100				60	32	51	56	54	50,6		

Представленный анализ показал, что наиболее резкое снижение урожайности наблюдается в годы с весенней, устойчивой атмосферной и почвенной засухи.

Отмечена тесная положительная значимая корреляция между показателями ГТК за май-июнь и запасами продуктивной влаги в почве в слое 0-20 см (0,5710), 0-50 см (0,3588) и урожайностью (0,3190). ГТК за май-сентябрь выражены слабее (таблица 5).

Таблица 5 – Показатели коэффициента корреляции
Table 5 – Correlation coefficient indicators

Показатели / Indicators	ГТК (май-июнь) / HTC (May-June)	ГТК (май-сентябрь) / HTC (May-September)
Запасы продуктивной влаги в почве в слое: 0-20 см 0-50 см 0-100 см / Productive moisture reserves in the soil in the layer: 0-20 cm 0-50 cm 0-100 cm	0,5710 0,3588 0,0000	0,2681 0,1212 0,0000
Количество осадков, выпавших в период почвенной засухи / Amount of precipitation during the soil drought period	0,2211	0,0259
Урожайность озимой пшеницы / Winter wheat yield	0,3190	0,2698

В сильно засушливом по атмосфере и почве 2024 году, за май-сентябрь выпало всего 131,3 мм осадков, при норме 274 мм.

Заключение. Как показывает анализ метеорологических данных за последние три десятилетия, наблюдается повышение средней годовой температуры на 2,2 °С, в вегетационный период: за май-июль на 1,29 °С, май-сентябрь на +2,0 °С. Наиболее интенсивное повышение температуры наблюдается в августе месяце (+3,57 °С). Что касается относительно атмосферных осадков в мае-сентябре идет их снижение. Таким образом, наблюдается выраженная тенденция к повышению температуры воздуха в вегетационный период, сопровождающаяся значительным снижением количества атмосферных осадков. Данные климатические изменения приводят к возникновению атмосферных засух, которые, в свою очередь, способствуют развитию почвенных засух, частота которых в регионе неуклонно возрастает, что представляет собой серьезную экологическую и сельскохозяйственную проблему.

Анализ временных рядов метеорологических данных за период вегетации выявил закономерность цикличности засушливых явлений. Установлено, что экстремальные засухи (очень сильные и сильные) проявляются с периодичностью в пять лет, в то время как средние засухи наблюдаются каждые шесть лет. Важно отметить, что в период с 2008 по 2024 год атмосферная засуха в майско-июльском интервале отмечалась практически ежегодно, за исключением 2017, 2020 и 2022 годов и характеризовалась повышенной частотой сопутствующих почвенных засух, продолжительность которых варьируется от 4 до 8 декад. Засухи длились 4 декады в 1995, 2013, 2019 и 2023 годах, 5 декад в 1998, 2010 и 2024 годах, 6 декад в 2009 году, 7 декад в 2018 году и 8 декад в 2014 и 2021 годах. Резкое снижение урожайности наблюдалось в годы с устойчивой атмосферной и почвенной засухой.

Conclusion. As the analysis of meteorological data over the past three decades shows, there has been an increase in the average annual temperature by 2.2 °C, during the growing season: by 1.29 °C in May-July, and by 2.0 °C in May-September. The most significant increase in temperature was observed in August (+3.57 °C). As for precipitation, there has been a decrease in May-September. Therefore, there is a clear trend towards an increase in air temperature during the growing season, accompanied by a significant decrease in precipitation. These climate changes lead to atmospheric droughts, which in turn contribute to the development of soil droughts. The frequency of these droughts is steadily increasing in the region, posing a significant environmental and agricultural challenge.

The analysis of time series of meteorological data for the vegetation period revealed a pattern of cyclical dry events. It was found that extreme droughts (very severe and severe) occur every five years, while moderate droughts occur every six years. It is important to note that between 2008 and 2024, atmospheric droughts in the May-July interval were observed almost annually, with the exception of 2017, 2020, and 2022, and were characterized by an increased frequency of associated soil droughts, with durations ranging from 4 to 8 decades. Droughts lasted for 4 decades in 1995, 2013, 2019, and 2023, 5 decades in 1998, 2010, and 2024, 6 decades in 2009, 7 decades in 2018, and 8 decades in 2014 and 2021. A sharp decrease in crop yields was observed in years with persistent atmospheric and soil drought.

Библиографический список

1. Бардин М. Ю., Платова Т. В., Самохина О. Ф. Экстремальные волны тепла и экстремальные летние сезоны в европейской части России. Метеорология и гидрология. Крупномасштабные летние волны тепла на юге Европейской России. Метеорология и гидрология. 2023. № 1. С. 5-17.
2. Бардин М. Ю., Платова Т. В., Попов И. О. Крупномасштабные летние волны тепла на юге Европейской России. Метеорология и гидрология. 2023. № 1. С. 5-17.

3. Акентьева Е. М. и др. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Научные технологии, 2022. 124 с.
4. Portner H. O. et al. Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York, USA: Cambridge University Press, 2022. Art. 3056.
5. Wang Y. et al. Monitoring and Predicting Drought Based on Multiple Indicators in the Arid Area. China. Remote Sensing. 2020. Art. 2298.
6. Muse N. M., Taufur G., Safari M. J. S. Meteorological Drought Assessment and Trend Analysis in Puntland Region of Somalia. Sustainability. 2023. V. 15. Art. 10652.
7. Naumann G., Cammalleri C., Mentaschi L., Feyen L. Increased economic drought impacts in Europe with anthropogenic warming. Nature Climate. Change. 2021. Pp. 485-491.
8. Шарипова Р. Б. Тенденции изменения климата и агроклиматических ресурсов Ульяновской области и их влияние на урожайность зерновых культур. Ульяновск: УлГТУ, 2020. 137 с.
9. Переведенцев Ю. П., Васильев А. А. Изменение климата и его влияние на сельское хозяйство. Метеорология и гидрология. 2023. № 9. С. 5-13.
10. Эдельгериев Р. С. Х. и др. Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидации последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство). Москва: Издательство МБА, 2021. 700 с.
11. Мамедов А. С., Гасанова Н. И., Алиева Н. Б. и др. Оценка доли риска засухи, влияющая на урожайность. Sciences of Europe. 2019. № 45-3 (45). С. 46-50.
12. Золотокрылин А. Н., Черенкова Е. А., Титкова Т. Б. Роль весенне-летних засух в динамике аридизации засушливых земель Европейской территории России. Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2022. № 86 (1). С. 98-108.
13. Ионова Е. В., Лиховидова В. А., Лобунская И. А. Засуха и гидротермический коэффициент увлажнения как один из критериев оценки степени ее интенсивности (обзор литературы). Зерновое хозяйство России. 2019. № 6. С. 18-22.
14. Jaagus J. et al. Long-term changes in drought indices in Eastern and Central Europe. International Journal of Climatology. International Journal of Climatology. 2021. Art. 956.
15. Ndayiragije J. M., Li F. Effectiveness of Drought Indices in the Assessment of Different Types of Droughts, Managing and Mitigating Their Effects. Climate. 2022. Vol. 10 (9). Art. 125.
16. Мельник В. И., Буяков И. В., Пискунович Н. Г. и др. Оценка влагозапасов и повторяемости почвенных засух на территории Белорусского Полесья в условиях современного изменения климата. Природные ресурсы. 2020. № 2. С. 104-115.
17. Мельник В. И., Буяков И. В., Яцухно В. М. и др. Пространственно-временные изменения почвенных засух на территории Белорусского Полесья в условиях современного изменения климата. Природные ресурсы. 2021. № 1. С. 15-21.
18. Мельник В. И., Пискунович Н. Г., Буяков И. В. и др. Пространственно-временные изменения почвенных засух на территории Белорусского Полесья в условиях современного изменения климата. Природные ресурсы. 2021. № 1. С. 15-21.
19. Васильев Л. Ю., Чичасов Г. Н., Терешонок Н. А. Изменение климата на территории Центрального федерального округа России. Метеорология и гидрология. 2025. № 2. С. 111-116.

References

1. Bardin M. Yu., Platova T. V., Samokhina O. F. Extreme Heat Waves and Extreme Summer Seasons in the European Part of Russia. Meteorology and Hydrology. Large-scale Summer Heat Waves in the South of European Russia. Meteorology and Hydrology. 2023. No 1. Pp. 5-17.
2. Bardin M. Yu., Platova T. V., Popov I. O. Large-scale Summer Heat Waves in the South of European Russia. Meteorology and Hydrology. 2023. No 1. Pp. 5-17.
3. Akentyeva E. M. et al. Third Assessment Report on Climate Change and Its Consequences in the Russian Federation. Science-Intensive Technologies. 2022. 124 p.
4. Portner H. O. et al. Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York, USA: Cambridge University Press, 2022. Art. 3056.
5. Wang Y. et al. Monitoring and Predicting Drought Based on Multiple Indicators in an Arid Area. China. Remote Sensing. 2020. Art. 2298.
6. Muse N. M., Taufur G., Safari M. J. S. Meteorological Drought Assessment and Trend Analysis in Puntland Region of Somalia. Sustainability. 2023. V. 15. Art. 10652.
7. Naumann G., Cammalleri C., Mentaschi L., Feyen L. Increased economic drought impacts in Europe with anthropogenic warming. Nature Climate. Change. 2021. Pp. 485-491.
8. Sharipova R. B. Trends in Climate Change and Agrarian and Climatic Resources of the Ulyanovsk Region and Their Impact on Grain Yields. Ulyanovsk: UISTU, 2020. 137 p.
9. Perevedentsev Yu. P., Vasiliev A. A. Climate Change and Its Impact on Agriculture. Meteorology and Hydrology. 2023. No 9. Pp. 5-13.
10. Edelgeriev R. S. Kh. Global Climate and Soil Cover of Russia: Drought Manifestations, Prevention, Control, Mitigation, and Adaptation Measures (Agriculture and Forestry). Moscow: MBA Publishing House. 2021. 700 p.
11. Mamedov A. S., Gasanova N. I., Alieva N. B. et al. Assessment of the Drought Risk Share Affecting Crop Yields. Sciences of Europe. 2019. No 45-3 (45). Pp. 46-50.
12. Zolotokrylin A. N., Cherenkova E. A., Titkova T. B. The role of spring-summer droughts in the dynamics of aridization of drylands of European Russia. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series. 2022. No 86 (1). Pp. 98-108.
13. Ionova E. V., Likhovidova V. A., Lobunskaya I. A. Drought and the hydrothermal humidification coefficient as one of the criteria for assessing the degree of its intensity (literature review). Grain Economy of Russia. 2019. No 6. Pp. 18-22.

14. Jaagus J. et al. Long-term changes in drought indices in Eastern and Central Europe. *International Journal of Climatology*. International Journal of Climatology. 2021. Art. 956.
15. Ndayiragije J. M., Li F. Effectiveness of Drought Indices in the Assessment of Different Types of Droughts, Managing and Mitigating Their Effects. *Climate*. 2022. Vol. 10 (9). Art. 125.
16. Melnik V. I., Buyakov I. V., Piskunovich N. G., et al. Assessment of Moisture Reserves and Frequency of Soil Droughts in the Territory of Belarusian Polesie under Modern Climate Change. *Natural Resources*. 2020. No 2. Pp. 104-115.
17. Melnik V. I., Buyakov I. V., Yatsukhno V. M. et al. Spatiotemporal Changes in Soil Droughts in the Territory of Belarusian Polesie under Modern Climate Change. *Natural Resources*. 2021. No 1. Pp. 15-21.
18. Melnik V. I., Piskunovich N. G., Buyakov I. V. et al. Spatiotemporal changes in soil droughts in the Belarusian Polesie under conditions of modern climate change. *Natural Resources*. 2021. No 1. Pp. 15-21.
19. Vasiliev L. Yu., Chichasov G. N., Tereshonok N. A. Climate change in the Central Federal District of Russia. *Meteorology and Hydrology*. No 2. 2025. Pp. 111-116.

Информация об авторах

Тойгильдин Александр Леонидович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор, Ульяновский НИИСХ – филиал СамНЦ РАН (Российская Федерация, 433315, Ульяновская область, Ульяновский район, п. Тимирязевский, ул. Институтская, 19), e-mail: atoigildin@yandex.ru

Шарипова Разиде Бариевна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Ульяновский НИИСХ – филиал СамНЦ РАН (Российская Федерация, 433315, Ульяновская область, Ульяновский район, п. Тимирязевский, ул. Институтская, 19), e-mail: rezedasharipova63@mail.ru

Петров Максим Вячеславович, научный сотрудник, Ульяновский НИИСХ – филиал СамНЦ РАН (Российская Федерация, 433315, Ульяновская область, Ульяновский район, п. Тимирязевский, ул. Институтская, 19), e-mail: maxim120198@yandex.ru

Authors' Information

Toygildin Aleksandr Leonidovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Director, Ulyanovsk Research Institute of Agriculture – the Branch of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 433315, Ulyanovsk region, Ulyanovsk district, Timiryazevsky, Institutskaya Str., 19), e-mail: atoigildin@yandex.ru

Sharipova Razide Barievna, Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Ulyanovsk Research Institute of Agriculture – the Branch of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 433315, Ulyanovsk region, Ulyanovsk district, Timiryazevsky, Institutskaya Str., 19), e-mail: rezedasharipova63@mail.ru

Petrov Maksim Vyacheslavovich, Researcher, Ulyanovsk Research Institute of Agriculture – the Branch of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 433315, Ulyanovsk region, Ulyanovsk district, Timiryazevsky, Institutskaya Str., 19), e-mail: maxim120198@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-12

THE SOFT AND DURUM WHEAT VARIETIES AND HYBRIDS BREEDING EVALUATION IN THE CONDITIONS OF THE CONTINENTAL CLIMATE OF AZERBAIJAN

¹Fatullaev P. U., ²Spiridonov A. M., ¹Mamedov I. B., ³Bairamov V. S.

¹*Institute of Bioresources (Nakhichevan) of the Ministry of Science and Education
Nakhichevan, Republic of Azerbaijan*

²*St. Petersburg State Agrarian University
St. Petersburg, Russian Federation*

³*Nakhichevan State University
Nakhichevan, Republic of Azerbaijan*

Corresponding author E-mail: anatolij-spiridonov@yandex.ru

Received 15.12.2025

Submitted 12.02.2026

Summary

The article is devoted to the analysis of the results of studying varieties and hybrids of winter wheat in the conditions of the continental climate of the republic. Varieties and hybrids have been identified in terms of yield and grain quality for use in breeding new varieties under cultivation in a continental climate.

Abstract

Introduction. For use in breeding, it is important to assess the potential of the source material (hybrids, varieties) of winter wheat of various varieties under specific conditions. The purpose of the research was a selection assessment of plant yields of a wide variety of varieties and hybrids, as well as grain quality indicators in terms of grain size (weight of 1000 grains), crude protein content, gluten, grain weight, ash content, and vitreous content. **Object.** A total of 57 hybrids of durum wheat, 35 hybrids of soft wheat and 46 varieties of soft and durum wheat were studied as the object of research. **Materials and methods.** The research was carried out according to generally accepted methods in agronomy. The chemical composition of the grain was determined using modern instruments. **Results and conclusion.** The most important indicator of plant productivity is grain yield. According to this indicator, a wide variability was obtained – from 275.2 to 564.2 g/m². The maximum grain yield of the hybrids reached 555.0-564.2 g/m². According to the complex of indicators of the qualitative composition of grain (vitreous, weight of 1000 grains, natural weight, crude protein and gluten content), it is impossible to single out the best hybrid, since some have higher crude protein content – up to 21.5 % in the dry matter of grain, others have gluten content in protein – up to 54.0 %. There is a positive correlation between the protein and gluten content. The hybrid Yaquut X Bakht

(98.5 %) was identified by its vitreous content. Grain size in hybrids and varieties is characterized by a mass of 1000 grains. The maximum index is 61.8 g in the hybrid Yaqt X Alinca-84 belonging to the variety Leucurum (Alef.) Koern in Koern. et Wern. (1885). Among the studied varieties and hybrids, the maximum grain yield was characterized by the hybrid Alinca-84 X Zatino 569 g/m² belonging to the variety Melanopus (Alef.) – with an average yield of 440.7 g/m² for the studied varieties and hybrids. The data analysis made it possible to develop practical recommendations on the use of winter wheat varieties and hybrids for breeding purposes.

Keywords: winter wheat, varieties of winter wheat, hybrids of winter wheat, yield of winter wheat, quality of wheat grain.

Citation. Fatullayev P. U., Spiridonov A. M., Mammadov I. B., Bairamov V. S. The soft and durum wheat varieties and hybrids breeding evaluation in the conditions of the continental climate of Azerbaijan. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 115-126 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-12.

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 633.111.1+633.112.1

СЕЛЕКЦИОННАЯ ОЦЕНКА СОРТОВ И ГИБРИДОВ МЯГКОЙ И ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО КЛИМАТА АЗЕРБАЙДЖАНА

¹Фатуллаев П. У., доктор философии по аграрной науке, доцент

²Спиридонов А. М., доктор сельскохозяйственных наук, доцент

¹Мамедов И. Б., доктор биологических наук, доцент

³Байрамов В. С., доктор философии по аграрной науке

¹ Институт биоресурсов (Нахичевань) министерства науки и образования
г. Нахичевань, Азербайджанская Республика

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

³ Нахичеванский государственный университет
г. Нахичевань, Азербайджанская Республика

Актуальность. Для использования в селекции важно оценить потенциал исходного материала (гибридов, сортов) озимой пшеницы различных разновидностей в конкретных условиях. Целью исследований послужила селекционная оценка урожайности растений большого разнообразия сортов и гибридов, а также показателей качества зерна по крупности (масса 1000 зёрен), содержанию сырого протеина, клейковины, натурной массы зерна, содержанию зольных элементов, стекловидности. **Объект.** В качестве объекта исследований изучено в общей сложности 57 гибридов твердой пшеницы, 35 гибридов мягкой пшеницы и 46 сортов мягкой и твердой пшеницы. **Материалы и методы.** Исследования проводили по общепринятым в агрономии методикам. Показатели химического состава зерна определяли с помощью современных приборов. **Результаты и выводы.** Наиболее важным показателем продуктивности растений является урожайность зерна. По этому показателю получена широкая вариабельность – от 275,2 до 564,2 г/м². Максимальная урожайность зерна гибридов достигала 555,0-564,2 г/м². По комплексу показателей качественного состава зерна (стекловидности, массы 1000 зёрен, натурной массы, содержанию сырого протеина и клейковины) невозможно выделить лучший гибрид, поскольку у одних более высокие показатели содержания сырого протеина – до 21,5 % в сухом веществе зерна, у других – содержание клейковины в белке – до 54,0 %. Между показателями содержания белка и клейковины установлена положительная корреляция. По стекловидности выделен гибрид Yaqt X Bakht (98,5 %). Крупность зерна у гибридов и сортов характеризуется показателем масса 1000 зёрен. Максимальный показатель 61,8 г у гибрида Yaqt X Alinca-84 относящегося к разновидности Leucurum (Alef.) Koern in Koern. et Wern (1885). Среди изученных сортов и гибридов максимальной урожайностью зерна характеризовался гибрид Alinca-84 X Zatino – 569 г/м², относящийся к разновидности Melanopus (Alef.) – при средней урожайности по изученным сортам и гибридам – 440,7 г/м². Проведенный анализ данных позволил разработать практические рекомендации по использованию сортов и гибридов озимой пшеницы в селекционных целях.

Ключевые слова: озимая пшеница, сорта озимой пшеницы, гибриды озимой пшеницы, урожайность озимой пшеницы, качество зерна пшеницы.

Цитирование. Фатуллаев П. У., Спиридонов А. М., Мамедов И. Б., Байрамов В. С. Селекционная оценка сортов и гибридов мягкой и твердой пшеницы в условиях континентального климата Азербайджана. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 115-126. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-12.

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. Современная селекция в Нахичеванской Автономной Республике Азербайджана направлена на создание сортов и гибридов зерновых культур с высоким содержанием белка и клейковины. С давних времен отбор лучших растений велся по органолептическим свойствам, а сегодня – с учетом биохимических характеристик. Качество зерна определяется множеством параметров, включая содержание белка, качество и количество клейковины (оцениваемое по индексу деформации клейковины для хлебопекарных качеств зерна и муки), а также массу 1000 зерен, натуру зерна и другие показатели.

Нахичеванская АР отличается резко континентальным климатом. В течение вегетационного периода растения озимой пшеницы подвергаются значительным колебаниям температур: зимой температура может опускаться до -20°C , а летом подниматься выше $+40^{\circ}\text{C}$ (рисунок 1-3).

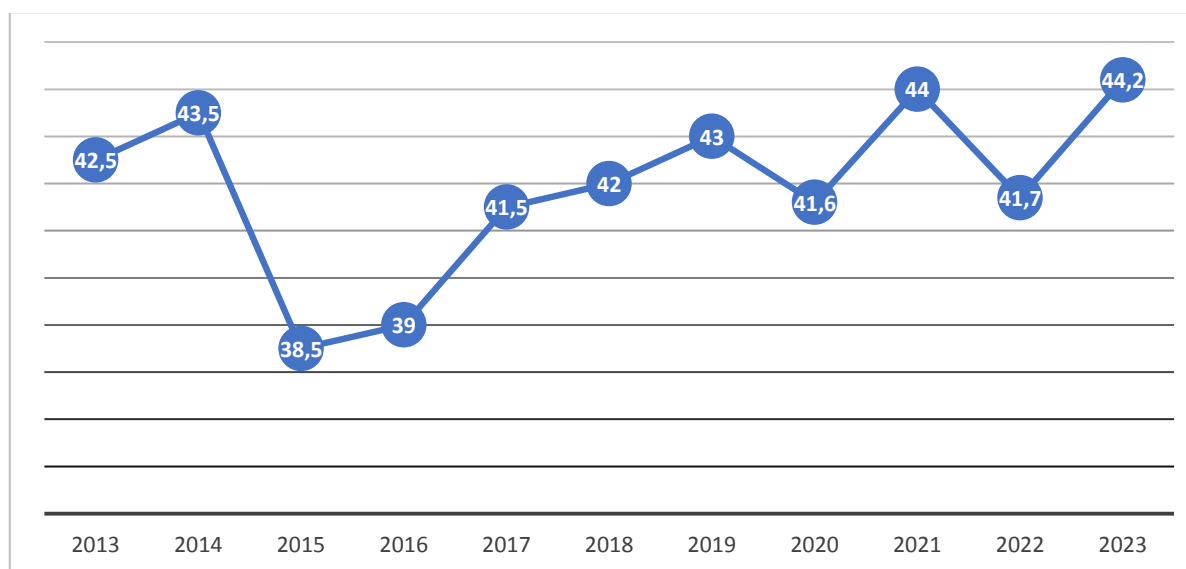


Рисунок 1 – Количество осадков по данным метеорологической станции Нахичеванской АР за 2013-2023 годы (10 лет), мм

Figure 1 – Precipitation amount according to the meteorological station of the Nakhchivan Autonomous Republic for 2013-2023 (10 years), mm

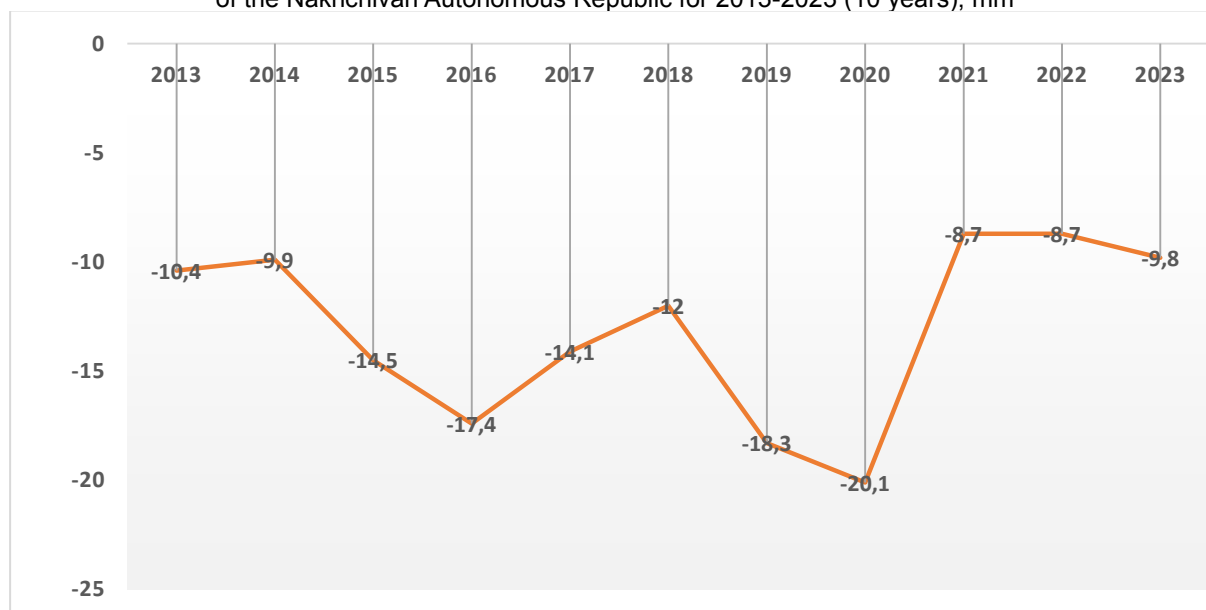


Рисунок 2 – Абсолютный минимум температур ($^{\circ}\text{C}$) на метеорологической станции Нахичеванской АР за 2013-2023 гг.

Figure 2 – Absolute minimum temperatures ($^{\circ}\text{C}$) at the meteorological station in Nakhchivan AR for 2013-2023

В условиях автономной республики производство высококачественного зерна пшеницы занимает центральное место в обеспечении продовольственной безопасности. Сельскохозяйственные товаропроизводители, включая фермеров, играют ключевую роль в решении этой задачи. В связи с этим, исследование факторов, влияющих на качество зерна, и поиск путей его улучшения представляют собой актуальные и важные направления научных исследований.

Мягкая пшеница, или пшеница обыкновенная (*Triticum aestivum* L.), с 42 хромосомами, является наиболее распространенной зерновой культурой в мировом земледелии и занимает лидирующие позиции в сельскохозяйственном производстве автономной республики (рисунок 3). Этот вид пшеницы известен более чем 250 разновидностями, что свидетельствует о его высокой генетической вариабельности и адаптивности к различным условиям выращивания [1-4].

Исследования показывают, что генотип растения оказывает значительное влияние на урожайность, составляя около 27 %. Устойчивость к абиотическим факторам, таким как климатические условия, играет роль в 19 % случаев, а минеральное питание растений вносит вклад в урожайность на уровне 15 % [5, 7, 10]. Селекционные работы должны быть направлены на создание сортов с высокими хлебопекарными качествами, так называемых «сильных» пшениц, что подтверждается мнением ведущих ученых в этой области [1, 2, 3, 12].

Температура и влажность воздуха оказывают наибольшее влияние на хлебопекарные свойства зерна в критический период кущения, восковой спелости и созревания. Количество клейковины в зерне, являющееся важным показателем его качества, напрямую зависит от температурных условий в период формирования зерна [4, 8, 9, 11].

Таким образом, для достижения высокого качества зерна пшеницы необходимо учитывать комплекс факторов, включая генетические особенности сортов, климатические условия и агротехнические приемы. Только комплексный подход, основанный на глубоком понимании механизмов формирования качества зерна, позволит обеспечить устойчивое производство высококачественной пшеницы в условиях автономной республики.

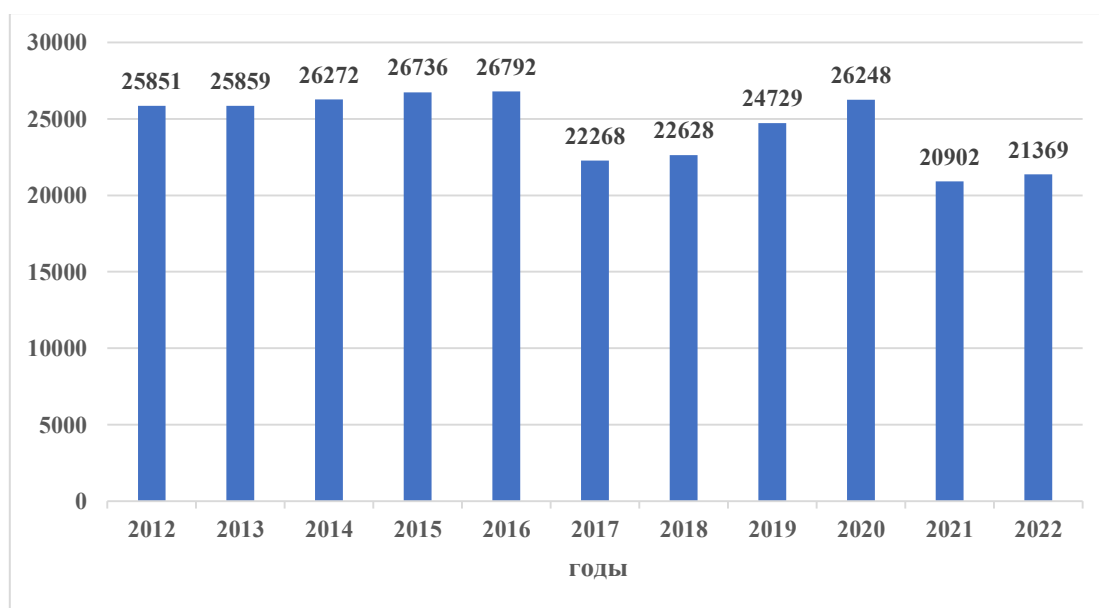


Рисунок 3 – Динамика посевной площади озимой пшеницы в автономной республике по годам, га
Figure 3 – Dynamics of the sown area of winter wheat in the Autonomous Republic by year, hectares

Результаты детального анализа качества исследованных сортов мягкой пшеницы демонстрируют значительные различия в ключевых параметрах качества между образцами. В мукомольно-крупяной отрасли стекловидное зерно высоко ценится по сравнению с мучнистым. Существует положительная корреляция между содержанием белка и клейковины, что свидетельствует о их взаимозависимости и важности для технологических характеристик зерна. Зерно с полностью стекловидным и плотным эндоспермом обеспечивает высокий выход муки, что особенно ценно в хлебопекарной и макаронной промышленности.



Рисунок 4 – Посевы озимой пшеницы на опытном поле института, 2023 г.

Figure 4 – Winter wheat crops on the institute's experimental field, 2023

Исследования показывают, что орошение, хотя и снижает стекловидность, способствует увеличению массы и натурного веса зерна. В нашем исследовании гибрида Yaquut X Bakht, относящегося к разновидности Hordeiforme (Host) Koern in Koern. et Wern. (1885), был зафиксирован наиболее высокий показатель стекловидности, составивший 98,5 %. У остальных гибридов этот показатель варьировался в пределах 63-98 %, со средним значением 81,36 %. Эти данные подтверждают наличие значительных генетических и агротехнических факторов, влияющих на качественные характеристики зерна, что требует дальнейшего углубленного изучения для оптимизации селекционных и агротехнологических процессов.

Таблица 1 – Влияние разнообразия гибридов на урожайность и качество зерна твердой пшеницы, среднее за 2020-2025 гг.

Table 1 – Influence of hybrid diversity on yield and quality of durum wheat grain, average for 2020-2025

№	Гибрид / Hybrid	Стекловидность, % / Glassiness, %	Сырой протеин, % / Crude protein, %	Влажность, % / Humidity, %	Клейковина, % / Gluten, %	Зольные элементы, % / Ash elements, %	Масса натурн. q / In- kind mass q/l	Масса 1000 зерен, q / Weight of 1000 grains, q	Урожайность, q/m ² / Yield, q/m ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Разновидность / The variety <i>Leucurum</i> (Alef.) Koern in Koern. et Wern. (1885)									
1	Tartar-2 X Spelta (red)*	81.7	19.5	9.2	42.3	1.4	808	57.0	472.2
2	Giorgio 12571 X Sharq	78.3	18.3	11.2	46.0	1.3	814	50.0	326.2
3	Mirbashir-50 X Karabakh	75.5	19.9	11.3	51.8	1.3	795	51.2	377.8
4	Sharq X Karabakh	83.2	19.7	12.3	53.8	1.3	782	52.6	564.2
5	Alinca-84 X Bakht	93.0	17.7	11.3	43.5	1.3	793	50.0	344.0
6	Vugar X Bakht	97.0	19.5	10.8	50.8	1.3	836	51.4	503.2
7	Turan X Mirvari*	94.0	19.3	10.5	47.6	1.3	803	54.2	466.8
8	Sharq X Karabakh*	83.5	15.6	12.0	38.7	1.3	796	53.4	295.6
9	Yaquut X Alinca-84	78.0	18.9	11.7	47.9	1.3	798	61.8	466.2
10	Kahraba X Mirbashir-50	79.0	18.9	11.0	48.9	1.3	779	55.6	468.4
11	Giorgio12571 X Mirbashir-50	78.0	20.8	10.2	46.3	1.4	784	53.8	378.6
12	Tartar X Zedoni 3d56*	65.7	17.2	12.4	43.4	1.2	810	53.0	475.8
13	Barakatli-95 X Tartar	76.0	15.8	12.4	40.6	1.2	797	53.2	565.2

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
14	Spelta (white) X Zedoni 3d56	73.0	16.8	12.4	42.7	1.2	754	49.8	445.2
15	Alinca-84 X Barakatli-95*	70.0	15.7	11.6	40.1	1.3	770	51.6	541.8
16	Turan X Zedoni 3d56	85.0	19.1	10.7	43.6	1.3	774	54.8	412.6
17	Vugar X Alinca-84	79.0	14.8	12.0	38.0	1.3	792	48.4	463.4
Разновидность / The variety <i>Leucomelan</i> (Alef.) Koern in Koern. et Wern. (1885)									
1	Giorgio 12571 X Karabakh*	97.7	18.8	12.0	48.0	1.3	745	51.2	3620
2	Spelta (red) X Zedoni-3d56*	65.0	20.0	12.1	53.1	1.3	790	47.6	527.4
3	Giorgio 12571 X Karabakh	95.7	20.5	11.2	53.4	1.2	770	45.6	447.0
4	Mirbashir-50 X Giorgio 12571	97.0	20.0	11.1	49.3	1.3	758	47.6	495.0
5	Vugar X Yaqt	88.5	21.3	10.7	49.7	1.3	813	50.2	431.2
6	Mirbashir-50 X Barakat*	95.3	19.1	11.3	49.8	1.3	769	48.2	541.6
7	Yaqt X Qaraqchq-2*	97.4	18.6	11.1	49.5	1.3	791	46.6	483.4
8	Barakatli-95 X Alinca-84	83.7	17.6	11.1	45.6	1.3	767	51.2	528.8
9	Barakatli-95 X Vugar*	76.0	18.8	11.2	47.7	1.4	787	55.2	533.0
10	Tartar-2 X Karolodeskaya*	63.0	19.9	11.6	50.8	1.2	816	53.0	510.0
Разновидность / The variety <i>Melanopus</i> (Alef.) Koern in Koern. et Wern. (1885)									
1	Mirvari X Barakat	72.5	17.9	11.2	48.0	1.3	803	49.0	457.2
2	Kahraba X Mirvari	73.8	14.9	12.9	39.9	1.3	777	48.0	418.6
3	Alinca-84 X Zatino	98.0	18.4	12.1	48.5	1.3	773	53.6	569.0
4	Giorgio 12571 X Mirbashir-50	90.5	17.4	12.1	41.5	1.2	815	53.4	462.0
5	Barakat X Turan	90.7	19.2	10.4	43.5	1.3	845	53.2	275.2
6	Tartar X Turan	79.0	16.6	11.5	38.4	1.3	812	57.2	393.2
Разновидность / The variety <i>Hordeiforme</i> (Host) Koern in Koern. et Wern. (1885)									
1	Vugar X Qaraqchq-2	93.5	14.9	11.9	35.5	1.3	828	51.6	430.4
2	Zedoni-3d56 X Spelta (white)	75.5	17.9	12.0	44.3	1.3	753	49.6	428.8
3	Zedoni-3d56 X Spelta (rid.)*	76.3	19.7	11.2	50.8	1.3	816	50.0	408.4
4	Zatino X Barakatli-95*	78.0	20.2	9.5	42.0	1.4	821	48.0	471.2
5	Bakht X Barakatli-95	80.3	18.4	10.9	41.0	1.3	801	49.0	329.8
6	Yaqt X Bakht	98.5	18.0	11.0	42.7	1.2	824	49.8	531.4
7	Bakht X Yaqt	87.0	15.0	12.1	37.4	1.3	814	49.2	555.0
Разновидность / The variety <i>Apulicum</i> Koern									
1	Zedoni-3d56 X Tartar-2	75.6	18.1	11.6	45.0	1.2	824	50.6	304.6
2	Zedoni-3d56 X Spelta (white)	77.5	16.6	10.7	33.8	1.3	787	50.2	397.0
3	Alinca-84 X Qaraqchq-2*	76.0	16.9	11.9	42.1	1.3	787	53.4	431.2
4	Zedoni-3d56 X Red wheat.	75.0	15.2	12.8	40.1	1.2	798	54.2	446.2
5	Barakatli-95 X Shiraslan-23	76.5	18.8	11.3	49.1	1.3	756	54.2	468.4
Разновидность / The variety <i>Valenciae</i> Koern									
1	Giorgio 12571 X Mirvari	77.7	17.3	11.0	41.5	1.3	846	47.8	370.8
2	Zedoni-3d56 X Spelta red.	75.3	17.3	11.7	43.7	1.3	727	53.4	297.2
3	Mirbashir-50 X Sharq	76.0	15.9	13.2	41.1	1.2	782	52.6	491.0
4	Shiraslan-23 X Vugar	90.8	17.1	11.1	41.2	1.3	777	51.8	398.0
Разновидность / The variety <i>Seruleans</i>									
1	Tartar X Karabakh	97.7	15.7	12.2	40.0	1.2	823	52.2	326.8
2	Tartar X Kahraba*	63.5	21.5	9.3	47.2	1.4	797	56.8	523.2
3	Tartar X Karolodeskaya	83.0	16.9	10.7	40.6	1.3	811	50.4	337.4
4	Kahraba X Mirbashir-50	85.7	17.1	11.1	39.1	1.4	821	56.8	478.6
Разновидность / The variety <i>Erythromelan</i> Koern in Koern. et Wern. (1885)									
1	Turan X Giorgio12571	78.2	20.3	11.7	54.0	1.3	783	52.4	327.0
2	Yaqt X Barakatli-95	65.5	16.9	11.8	41.8	1.3	793	50.2	489.2
Разновидность / The variety <i>Provinciale</i> (Alef.) Koern in Koern. et Wern. (1885)									
1	Tartar X Giorgio 12571	73.6	19.4	11.1	41.7	1.3	808	52.8	391.2
Разновидность / The variety <i>Italicum</i> (Alef.) Koern in Koern. et Wern. (1885)									
1	Vugar X Barakatli-95	83.5	18.3	10.9	45.6	1.4	755	49.6	469.2

В рамках настоящего исследования были изучены ключевые агрохимические и биологические параметры зерна пшеницы и хлеба, полученные из него. Особое внимание уделялось содержанию белка, клейковины, зольных элементов, натуры зерна, массы 1000 зерен и урожайности. Эти параметры являются фундаментальными для оценки качества зерна и его потенциала в пищевой промышленности.

Содержание белка в зерне пшеницы является важным показателем его пищевой ценности. В нашем исследовании было установлено, что оно варьируется в зависимости от биологических особенностей сорта и условий возделывания. Максимальное содержание белка (21,5 %) было зафиксировано у гибрида Tartar x Kahraba, относящегося к разновидности Cerulesens. У остальных гибридов этот показатель варьировался в пределах 14,8-21,3 %, а среднее значение составило 18,15 %.

Таблица 2 – Влияние разнообразия сортов на качество зерна мягкой пшеницы, среднее за 2020-2025 гг.
Table 2 – Influence of variety diversity on the quality of soft wheat grain, average for 2020-2025

№	Сорта / Varieties	Сырой протеин, % / Crude protein, %	Влажность, % / Humidity, %	Клейковина, % / Gluten, %	Зольные элементы, % / Ash elements, %	Масса наугры, q/l / In-kind mass, q/l
1.	AMSEL 21 RF Albidum	17.8	11.5	40.5	1.2	735
2.	Emil (остистая / spinous)	21.0	12.2	56.8	1.3	792
3.	İzberdovskiy (безостая / not spinous)	15.1	12.9	40.5	1.3	772
4.	Volqograd (остистая / spinous)	18.1	13.2	46.0	1.3	788
5.	Volqograd (безостая / not spinous)	17.8	11.9	42.1	1.3	782
6.	BEZ..... / Товпе	16.1	12.6	39.4	1.3	755
7.	Minvodı (остистая / spinous)	17.5	12.4	45.1	1.3	783
8.	Bioresurslar-1	19.1	10.8	46.8	1.3	760
9.	Polaqiada (безостая / not spinous)	17.1	11.4	45.3	1.3	809
10.	İzberdovskiy (остистая / spinous)	17.9	11.9	41.5	1.3	777
11.	Qobustan TOVPE	15.3	11.8	37.9	1.3	762
12.	Tufova (безостая / not spinous)	17.8	12.2	46.5	1.3	772
13.	Xlebnaya baza (остистая / spinous)	17.8	11.6	45.5	1.3	816
14.	Kp-416, P-10 N-4	17.6	11.5	43.3	1.3	815
15.	Kp-425, 37 th İDYT-MP, N-11	16.3	11.1	42.3	1.2	801
16.	Tartar (3)	19.1	10.8	49.2	1.2	807
17.	Kp-406, P-9, N-19	17.8	11.9	45.2	1.3	835
18.	Kp-447, Rac-91, Ab-2016	19.0	10.8	40.8	1.3	813
19.	Kp-467, Tartar-2	19.0	10.3	46.0	1.3	770
20.	Kp-418, P-10, N-18	9.2	10.9	45.8	1.3	814
21.	Kp-478, Hordeiforme	17.9	10.8	40.2	1.3	781
22.	Lp-422, 37 th İDYT-MP, N-31	19.6	10.7	46.5	1.3	821
23.	Kp-412, P-9, N-37	18.6	11.0	46.3	1.3	799
24.	Kp-411, P-9, N-36	20.7	10.1	49.2	1.3	828
25.	Tartar (2) Ab-2016	15.6	11.3	37.6	1.3	764
26.	Kp-414 P-9, N-45, Ab-2016	18.0	10.9	47.9	1.3	841
27.	Kp-448, Zedoni 3d56	17.8	10.9	45.3	1.3	786
28.	Kp-403, P-9, N-12	15.8	11.1	40.8	1.3	821
29.	Kp-408, P-9, N-22, Ab-2016	18.6	11.3	48.2	1.2	813
30.	Kp-404, P-9, N-13	18.5	9.6	45.1	1.2	818
31.	Kp-423, 35 th İDON-MD, N-135	19.0	10.9	44.1	1.3	785
32.	Kp-417, P-10, N-15	17.8	10.7	41.3	1.3	809
33.	Sharq	16.5	11.6	43.0	1.3	798
34.	Kp-474 Mirvari X Kahraba	17.7	12.1	44.9	1.2	806
35.	Kp-424, CVVANA-46/6 th	18.9	12.6	49.2	1.2	801

Качество хлеба, полученного из зерна пшеницы, в значительной степени определяется содержанием клейковины. В наших экспериментах было установлено, что содержание клейковины может колебаться от 15 до 50 % в зависимости от условий выращивания. Наибольшее содержание клейковины (54 %) было зафиксировано у гибрида Turan x Giorgio12571, относящегося к разновидности Erythromelan Koern in Koern. et Wern. (1885). Среднее содержание клейковины среди исследованных гибридов составило 44,79 %.

Зольные элементы, такие как азот, фосфор и калий, играют ключевую роль в развитии растений пшеницы. В нашем исследовании разница в содержании зольных элементов между гибридами была незначительной и составила в среднем 1,29 %. Эти элементы поступают в растения преимущественно в фазы кущения и колошения. Недостаток зольных элементов может снижать морозостойкость пшеницы, тогда как фосфор способствует более активному развитию корневой системы, повышая устойчивость растений к низким температурам.

Натура зерна – это масса зерна в одном литре, которая зависит от плотности, чистоты и влажности зерна. В нашем исследовании наибольшее значение натуры (846 г/л) было зафиксировано у гибрида Giorgio 12571 x Mirvari, относящегося к разновидности Valensiae Koern. et Wern. (1885). У остальных гибридов этот показатель варьировался в пределах 727-845 г/л, а среднее значение составило 792,6 г/л.

Масса 1000 зерен является важным показателем, определяющим крупность зерна и его качество. Этот показатель зависит от сорта, природно-климатических условий и технологии возделывания. В нашем исследовании наибольшую массу 1000 зерен (61,8 г) имел гибрид Yaquf x Alinca-84, относящийся к разновидности Leucurum (Alef) Koern in Koern. et Wern. (1885). У других гибридов масса 1000 зерен варьировалась в пределах 45,6-57,2 г, а среднее значение составило 51,7 г.

Урожайность является одним из основных показателей сорта, который зависит от числа плодоносящих растений на единице площади, числа колосков и других факторов. В нашем исследовании наивысший показатель урожайности (569 г/м²) был зафиксирован у гибрида Alinca-84 x Zatino, относящегося к разновидности Melanopus (Alef) Koern in Koern. et Wern. (1885). Другие гибриды показали урожайность в пределах 440,7-565,2 г/м².

Результаты качественного анализа сортов мягкой пшеницы показали значительные различия в показателях качества. Максимальное содержание белка (21,0%) было зафиксировано у сорта Emil (остистая). У остальных сортов этот показатель варьировался в пределах 9,2-20,7 %, а среднее значение составило 17,7 %. Средняя влажность зерна составила 11,4 %, при этом у сорта Volqograd (остистая) она достигала 13,2 %.

Наибольшее содержание клейковины (56,8 %) было зафиксировано у сорта Emil. У остальных сортов этот показатель варьировался в пределах 37,6-49,2 %, а среднее значение составило 44,5 %.

Проведенные исследования позволили выявить значительные различия в агрохимических и биологических параметрах зерна пшеницы. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации условий возделывания и селекции сортов пшеницы с высокими показателями качества и урожайности.

Результаты качественного анализа изучаемых гибридов мягкой пшеницы показывают наличие существенных различий в показателях качества между образцами. Так, в наших исследованиях наибольший показатель содержания белка в зерне (21,6 %) отмечен у гибрида Qobustan X Diomant. У других гибридов этот показатель колебался в пределах 15,1-20,2 %, а средний показатель составил 18,1 % (таблица 3).

Влажность зерна исследуемых гибридов в среднем составила 11,5 %. Более высокая влажность (13,0 %) отмечена у гибрида VRN-2 X Aran. У остальных образцов этот показатель варьировал в пределах 9,6-11,5 %. Среди изученных гибридов мягкой пшеницы наибольший показатель по проценту клейковины зерна (57,5 %) отмечен у гибрида Qobustan X Diomant. У прочих гибридов этот показатель колебался в пределах 36,0-51,7 %, а средний показатель составил 44,6 %. Разница между показателями зольных элементов в образцах, изученных в опыте, была незначительной и составила в среднем 1,3 %.

Среди изученных гибридов мягкой пшеницы наибольший показатель по натурной массе зерна (830 г/л) отмечен у гибрида Tartar BTS X Zangezur. У остальных гибридов этот показатель колебался в пределах 726-821 г/л. Средний показатель по этому показателю составил 780,1 г/л.

Таблица 3 – Влияние разнообразия гибридов на качество зерна мягкой пшеницы,
среднее за 2020-2025 гг.

Table 3 – The effect of hybrid diversity on the quality of soft wheat grain, average for 2020-2025

№	Гибрид / Hybrid	Сырой протеин % / Crude protein, %	Влажность % / Humidity, %	Клейковина, % / Gluten, %	Зольные элементы, % / Ash elements, %	Масса на 100 г / In-kind mass, g/100g
1	Spelta (white) X Turan	18.1	11.5	42.2	1.3	785
2	Lutescens X 6507 (Турция / Turkey)	17.5	11.7	44.9	1.3	753
3	Qobustan X Bezostaya	17.8	11.5	43.8	1.3	765
4	Eskina-8 X 6507 (Турция / Turkey)	18.8	12.0	43.7	1.3	777
5	Vugar X Barakatli-95	18.3	10.5	45.6	1.4	755
6	Eskina-8 X 6507 (Турция / Turkey)*	17.6	10.1	39.5	1.3	806
7	KAR 1/5 X 6507 (Турция / Turkey)	15.1	12.0	36.0	1.3	769
8	Dwhitedas X 6507 (Турция / Turkey)	18.1	11.5	45.6	1.3	797
9	KAR 1/5 X RCKSA-8055	16.1	12.4	39.3	1.2	805
10	Eskina-8 X CVV-895277	16.4	10.9	39.3	1.3	748
11	Qobustan X Bez/VRATSA/..	18.3	12.8	47.5	1.3	814
12	Uğur X VRN-1 X Azari	18.6	11.5	43.8	1.3	795
13	Varden X Qobustan	19.2	12.1	50.7	1.3	804
14	VRN-1 X Parzivan	17.3	12.1	38.9	1.3	795
15	VRN-2 X Aran	17.9	13.0	42.3	1.3	793
16	Qobustan X Diamant	21.6	12.3	57.5	1.3	786
17	S.Sonora X AZ-026-10/4	19.0	12.2	50.2	1.3	773
18	Uğur X Qobustan	17.6	12.0	47.2	1.3	794
19	Az-026-10/4 X S.Sonora	18.7	11.5	47.2	1.3	772
20	S.Sonora X Diamant	18,3	11.4	46.3	1.3	751
21	Qobustan X VRN-3 X Mirbashir-128	17.7	11.8	44.7	1.3	784
22	Yasaul X S.Sonora	17.4	11.2	43.6	1.3	742
23	Az-026-10/4 X Diamant	19.5	11.7	46.3	1.3	752
24	Qobustan X Azəri	17.8	11.8	41.8	1.3	774
25	Taraqqi X Qobustan	18.1	10.3	40.3	1.4	773
26	Diamant X S.Sonora	20.1	11.1	50.8	1.3	753
27	Qobustan X Kamala /08247	18.3	11.3	46.0	1.3	789
28	Yasaul X Azari	16.8	11.6	40.6	1.3	777
29	Uğur X VRN-2 X Mirbashir-128	17.1	11.8	40.6	1.3	758
30	Qobustan X 6406 /6/PME/3/...	17.7	11.3	44.6	1.3	773
31	Varden X Murov-2	19.9	10.9	51.7	1.4	803
32	Az-026-10/4 X Azari	17.2	12.4	42.5	1.3	754
33	Varden X Murov	17.4	11.9	46.1	1.3	726
34	Qobustan x B-152* 552	16.7	12.2	40.1	1.3	789
35	Uğur X Qobustan (остистая / spinous)	18.4	11.3	45.2	1.3	766
36	Saratov-29 X Az-026-10/4	19.2	10.6	47.0	1.3	775
37	VRN-1 X Parzivan-1	20.2	9.6	48.4	1.4	821
38	Tartar BTS X Zangezür	17.2	10.9	40.5	1.4	830
39	Barakatli-95 x Qara-q-2 X Q-2	18.1	10.4	46.9	1.3	799
40	Barakat X Absheron	18.5	10.4	41.4	1.3	794
41	Giorgio 12571 X Spelta white	19.4	11.7	49.0	1.3	746
42	Ammor-6 X Mirvari	18.2	10.6	44.2	1.4	786
43	Lahucar X Barakat	18.3	11.6	44.5	1.2	821
44	(S.Sonora X VRN) X Taragqi	17.0	12.3	43.3	1.3	782
45	Yasaul X Az-026-10/4	19.6	10.9	49.3	1.3	813
46	S.Sonora X Azari	17.3	12.7	42.1	1.3	754

Заключение. В условиях континентального климата Азербайджана растения различных сортов и гибридов озимой пшеницы при орошении способны формировать урожайность зерна до 440,7 г/м² (что соответствует 44,1 ц/га), максимальная урожайность при этом достигает 569 г/м² (56,9 ц/га).

Возможно получение зерна с повышенным содержанием сырого протеина – до 21,5 % в сухом веществе зерна. При этом важно учитывать содержание клейковины в зерне и её качество – как основные характеристики хлебопекарных качеств зерна. Более высоким содержанием клейковины (до 54 %) характеризовались гибрид Turan x Giorgio12571 из разновидности Erythromelan Koern in Koern. et Wern. (1885). У прочих гибридов этот показатель находился в пределах 33,8-53,8 %, а средний показатель составил 44,79 %.

Стекловидность – важнейшая характеристика пригодности зерна к использованию в мукомольно-крупяном производстве. Условия региона позволяют получать высокий показатель стекловидности, в среднем 63-98 %, а по гибридам максимальная стекловидность (98,5 %) зафиксирована у Yaqt X Bakht, относящегося к разновидности Hordeiforme (Host) Koern in Koern. et Wern. (1885). У других гибридов этот показатель колебался в пределах 63-98 %, а средний показатель составил 81,36 %.

Крупность зерна характеризует масса 1000 зёрен. Наиболее крупное зерно в наших исследованиях было у гибрида Yaqt X Alinca-84 относящегося к разновидности Leucurum (Alef.) Koern in Koern. et Wern. (1885). У остальных гибридов масса 1000 зерен колебалась в пределах 45,6-57,2 г. Средний показатель массы 1000 зерен для изучаемых гибридов составил 51,7 г, что можно охарактеризовать как очень высокий уровень.

Натура зерна является одним из наиболее информативных показателей качества зерна. Выполненное тяжёлое зерно – признак доброкачественности. Наибольшую натурную массу 846 г/л имело зерно гибрида Giorgio 12571 X Mirvari, относящимся к разновидности Valenciae Koern, У остальных гибридов этот показатель колебался в пределах 727-845 г/л, а у сортов – ниже, чем у гибридов. Среднее значение этого показателя составило 792,6 г/л.

В зависимости от целевого использования возможно возделывание гибридов и сортов на хлебопекарные цели. Для этого лучше включать в производственные посевы сорта и гибриды с более высоким содержанием сырого протеина, клейковины в белке. При этом выбранные сорта и гибриды не обязательно дадут максимальную урожайность, а на уровне среднего показателя.

Conclusion. In the conditions of the continental climate of Azerbaijan, plants of various varieties and hybrids of winter wheat under irrigation are able to produce grain yields of up to 440.7 g/m² (which corresponds to 44.1 kg/ha), while the maximum yield reaches 569 g/m² (59.9 kg/ha);

It is possible to obtain grain with a high content of crude protein – up to 21.5 % in the dry matter of the grain. It is important to take into account the gluten content in the grain and its quality as the main characteristics of the baking qualities of the grain. The Turan x Giorgio12571 hybrid from the Erythromelan Koern in Koern variety was characterized by a higher gluten content (up to 54 %). et Wern. (1885). For the remaining hybrids, this indicator was in the range of 33.8-53.8 %, and the average was 44.79 %.

Vitreous is the most important characteristic of the suitability of grain for use in milling and cereal production. The conditions of the region make it possible to obtain a high vitreous index, on average 63-98 %, and the hybrid vitreous (98.5 %) was recorded in the hybrid Yaqt X Bakht, belonging to the variety Hordeiforme (Host) Koern in Koern. et Wern. (1885). For the remaining hybrids, this indicator ranged from 63-98 %, and the average was 81.36 %.

Grain size is characterized by the mass of 1000 grains. The largest grain in our studies was from the hybrid Yaqt X Alinca-84 belonging to the variety Leucurum (Alef.) Koern in Koern. et Wern. (1885). In the remaining hybrids, the mass of 1000 grains ranged from 45.6-57.2 g. The average mass of 1000 grains for the studied hybrids was 51.7 g, which can be described as a very high level.

Grain type is one of the most informative indicators of grain quality. The finished heavy grain is a sign of good quality. The grain of the hybrid Giorgio 12571 X Mirvari, belonging to the Valenciae Koern variety, had the highest natural weight of 846 g/l, while in other hybrids this indicator ranged from 727-845 g/l, and in varieties it was lower than in hybrids. The average value of this indicator was 792.6 g/l.

Depending on the intended use, it is possible to cultivate hybrids and varieties for baking purposes. To do this, it is better to include varieties and hybrids with a higher content of crude protein and gluten in protein in production crops. At the same time, the selected varieties and hybrids will not necessarily give the maximum yield, but at the average level.

Библиографический список

1. Onoprienko O. V., Kulyk M. I., Taranenko A. O., Taranenko S. V., Influence of growing conditions and seed of different qualities on yielding capacity and protein content in winter wheat grain. Agrology. 2020. Vol. 3. No. 3. Pp. 164-170.

2. Goryanina T. A., Medvedev A. M., Baking grain quality of winter triticale, winter wheat and winter rye. Grain farming of Russia. 2020. № 1. Pp. 28-32.
3. Зеленин И. В., Елисеев В. И., Курочкин А. А., Шабурова Г. В. Влияние агротехнических приемов на продуктивность озимой пшеницы на качество зерна. Вестник Алтайского ГАУ. 2011. № 10 (84). С. 1-6.
4. Jevtić R. V. Et al. Contrasting Performance of Two Winter Wheat Varieties Susceptible to Leaf Rust under Diverse Pathogen Pressure, Fungicide Application, and Cultivation Practices. Journal of fungi. 2024. Vol. 10. No. 6. Art. 401.
5. Goldvarg B. A., Boktaev M. V., Borovik A. N. The use of shot wheat (*T. Sphaerococcum*) in the winter bread wheat breeding to improve quality, Grain farming of Russia. 2022. № 1. Pp. 35-38.
6. Фатуллаев П. У. Болезни как лимитирующий фактор для получения высокого урожая озимой мягкой пшеницы в условиях Нахчыванской Автономной Республики. Бюллетень науки и практики. Bulletin of Science and Practice. 2018. Т. 4. № 12. С. 278-284. <http://www.bulletennauki.com>
7. Likhovidova V., Kravchenko N. The effect of cultivation technologies on grain and pasta quality of the winter durum wheat varieties. E3S Web of conferences. 2021. Vol. 273. Art. 01026.
8. Фатуллаев П. У. Изучение мировой коллекции пшеницы с целью создания новых сортов в условиях Нахичеванской Автономной Республики Азербайджана. Бюллетень науки и практики. 2017. № 8. С. 79-85. <http://www.bulletennauki.com>
9. Skripka O. V., Samofalov A. P., Podgorny S. V., Principal breeding trends of soft winter wheat of intensive type in I. G. Kalinenko ARRIGC. Grain farming of Russia. 2018. № 6. Pp. 110-117.
10. Gromova S. N., Skripka O. V., Podgorny S. V., Samofalov A. P., Chernova V. L. Environmental testing of winter bread wheat varieties and lines in the conditions of the southern part of the Rostov region. Grain farming of Russia. 2023. № 1. Pp. 17-22.
11. Tursunov S., Turakulov D., Xojiyev R., Sayfullayeva N., Bayramov M. Comparative study of yield of winter wheat varieties. E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 548. Art. 08014.
12. Volkova G. V., Kudanova O. A., Ignatieva O. O., Agapova V. D., Gladkova E. V., Vaganova O. F., Matveeva I. P. Rust resistance of wheat and triticale samples in different plant growing stages. The South of Russia: ecology, development. 2024. Vol. 18. No. 4. Pp. 161-172.

References

1. Onoprienko O. V., Kulyk M. I., Taranenko A. O., Taranenko S. V. Influence of growing conditions and seed of different qualities on yielding capacity and protein content in winter wheat grain. Agrology. 2020. Vol. 3. No. 3. Pp. 164-170.
2. Goryanina T. A., Medvedev A. M., Baking grain quality of winter triticale, winter wheat and winter rye. Grain farming of Russia. 2020. № 1. Pp. 28-32.
3. Zelenin I. V., Eliseev V. I., Kurochkin A. A., Shaburova G. V. The influence of agrotechnical techniques on the productivity of winter wheat on grain quality. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2011. No. 10 (84). Pp. 1-6.
4. Jevtić R. V. Et al. Contrasting Performance of Two Winter Wheat Varieties Susceptible to Leaf Rust under Diverse Pathogen Pressure, Fungicide Application, and Cultivation Practices. Journal of fungi. 2024. Vol. 10. No. 6. Art. 401.
5. Goldvarg B. A., Boktaev M. V., Borovik A. N. The use of shot wheat (*T. Sphaerococcum*) in the winter bread wheat breeding to improve quality, Grain farming of Russia. 2022. № 1. Pp. 35-38.
6. Fatullaev P. U. Diseases as a limiting factor for obtaining a high yield of winter soft wheat in the Nakhchivan Autonomous Republic. Bulletin of Science and Practice. Bulletin of Science and Practice. 2018. Vol. 4. No. 12. Pp. 278-284 <http://www.bulletennauki.com>
7. Likhovidova V., Kravchenko N. The effect of cultivation technologies on grain and pasta quality of the winter durum wheat varieties. E3S WEB of conferences. 2021. Vol. 273. Art. 01026.
8. Fatullaev P. U. Study of the world wheat collection with the aim of creating new varieties in the conditions of the Nakhichevan Autonomous Republic of Azerbaijan. Bulletin of Science and Practice. 2017. No. 8. Pp. 79-85. <http://www.bulletennauki.com>
9. Skripka O. V., Samofalov A. P., Podgorny S. V., Principal breeding trends of soft winter wheat of intensive type in I. G. Kalinenko ARRIGC. Grain farming of Russia. 2018. № 6. Pp. 110-117.
10. Gromova S. N., Skripka O. V., Podgorny S. V., Samofalov A. P., Chernova V. L. Environmental testing of winter bread wheat varieties and lines in the conditions of the southern part of the Rostov region. Grain farming of Russia. 2023. № 1. Pp. 17-22.
11. Tursunov S., Turakulov D., Xojiyev R., Sayfullayeva N., Bayramov M. Comparative study of yield of winter wheat varieties. E3S WEB of Conferences. 2024. Vol. 548. Art. 08014.
12. Volkova G. V., Kudanova O. A., Ignatieva O. O., Agapova V. D., Gladkova E. V., Vaganova O. F., Matveeva I. P. Rust resistance of wheat and triticale samples in different plant growing stages. The South of Russia: ecology, development. 2024. Vol. 18. No. 4. Pp. 161-172

Информация об авторах

Фатуллаев Парвиз Улкер оглы, доктор философии по аграрной науке, доцент, заведующий лабораторией, зерновых, Институт биоресурсов (Нахичеван) министерства науки и образования Азербайджанской Республики (Азербайджан, г. Нахичевань, ул. Бабек, 10), <https://orcid.org/0009-0008-9162-5802>, e-mail: pervizfetullayev@ndu.edu.az / p_fatullaev@mail.ru

Спирidonov Анатолий Михайлович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 196601, г. Санкт-Петербург-Пушкин, Петербургское шоссе, 2), <https://orcid.org/0000-0003-1452-6698>, e-mail: anatolij-spiridonov@yandex.ru

Мамедов Исмаил Багит оглы, доктор биологических наук, доцент, директор, Институт биоресурсов (Нахичеван) министерства науки и образования Азербайджанской Республики (Азербайджан, Нахичевань, ул. Бабек, 10), <https://orcid.org/0009-0006-2537-0712>, e-mail: i_mammedov68@mail.ru

Байрамов Вахруз Сурхай оглы, доктор философии по аграрной науке, преподаватель, Нахичеванский государственный университет (Азербайджан, г. Нахичевань), <https://orcid.org/0009-0007-7495-1756>, e-mail: behruzbayramov@ndu.edu.az

Authors' Information

Fatullaev Parviz Ulker oglu, Head of the Laboratory, PhD in Agricultural Science, Associate Professor, Institute of Biore-sources (Nakhichevan) of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan (Azerbaijan, Nakhichevan, Babek str., 10), <https://orcid.org/0009-0008-9162-5802>, e-mail: pervizfetullayev@ndu.edu.az / p_fatullaev@mail.ru

Spiridonov Anatoly Mikhailovich, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Saint Petersburg State Agrarian University (Russian Federation, 196601, Saint Petersburg-Pushkin, Peterburgskoe Shosse, 2), <https://orcid.org/0000-0003-1452-6698>, e-mail: anatolij-spiridonov@yandex.ru

Mammadov Ismail Bagiyat oglu, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Bioresources (Nakhichevan) of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan (Azerbaijan, Nakhichevan, Babek str., 10), <https://orcid.org/0009-0006-2537-0712>, e-mail: i_memmedov68@mail.ru

Bayramov Vakhruz Surkhay oglu, PhD in Agricultural Science, Lecturer at Nakhichevan State University (Azerbaijan, Nakhichevan, Babek str., 10), <https://orcid.org/0009-0007-7495-1756>, e-mail: behruzbayramov@ndu.edu.az

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-13

THE WINTER WHEAT VARIETIES ADAPTIVE CAPACITY IN THE ARID ZONES CONDITIONS**Aitpayeva A. A., Tyutyuma N. V.**

*Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
Solenoye Zaymishche, Chernyarsky District, Astrakhan Region, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: arman.bisaliyev2012@yandex.ru

Received. 01.03.2026

Submitted 24.03.2026

Abstract

Introduction. Relevance of the research is determined by low yields and insufficient grain production of winter wheat in the arid conditions of the dry zone. Compared to the pre-reform period, gross grain harvests of the studied crop in the Astrakhan region have decreased by more than 10 times and currently amount to about 12 thousand tons. The main reason for this is the lack of high-yielding varieties adapted to drought conditions. In this regard, the aim of the research is to assess the adaptive potential of winter wheat varieties in terms of drought tolerance and heat resistance in the arid zone of the Astrakhan region. In 2015-2017, laboratory and vegetation studies were conducted with the varieties Alekseich, Tanya, and Donshchina. Heat resistance was determined by the method of seed thermal testing (Udovenko, 1988), drought tolerance – by the method of osmotic stress on a sucrose solution (Kozhushko, 1988) and in a vegetation experiment maintaining soil moisture at 40-50 % of field capacity during the critical period for the growth and development of winter wheat. It was found that the Alekseich variety is characterized by the highest complex drought tolerance (30 %) and heat resistance (90 %), the complex resistance index was 265 rel. units. Under soil drought conditions, this variety formed a yield of 2.46 t/ha, exceeding the varieties Tanya and Donshchina by 9 % and 22 %, respectively. Close correlations were revealed between complex drought tolerance and yield ($r = 0.823 \dots 0.985$). The Alekseich variety is recommended for cultivation in arid conditions as the most adapted.

Keywords: adaptation potential of winter wheat, drought resistance, heat resistance, cultivation conditions, varieties, yield.

Citation. Aitpayeva A. A., Tyutyuma N. V. The winter wheat varieties adaptive capacity in the arid zones conditions. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 126-133 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-13.

Authors' contribution. The authors of this study were directly involved in the planning, implementation and analysis of this study. The authors of this article have read and approved the presented final version.

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

УДК 633.11"324"

**АДАПТАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ
В УСЛОВИЯХ АРИДНОЙ ЗОНЫ**

**Айтпаева А. А., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Тютюма Н. В., доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН**

*ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук»
с. Соленое Займище, Чернорыцкий район, Астраханская область, Российская Федерация*

Аннотация. Актуальность исследований определяется невысокими урожаями и недостаточным производством зерна озимой пшеницы в засушливых условиях аридной зоны. По сравнению с дореформенным периодом валовые сборы изучаемой культуры в Астраханской области сократились более чем в 5 раз и сегодня составляют около 12 тыс. т. Основная причина этого – недостаток высокоурожайных сортов, адаптированных к условиям засухи. В связи с этим цель исследований – оценка адаптационного потенциала сортов озимой пшеницы по показателям засухоустойчивости и жаростойкости в условиях аридной зоны Астраханской области. В 2015-2017 гг. проведены лабораторные и вегетационные исследования с сортами озимой пшеницы краснодарской и зерноградской селекции Алексеич, Таня и Донщина. Жаростойкость определяли методом термотестирования семян (Удовенко, 1988), засухоустойчивость – методом осмотического стресса на растворе сахарозы (Кожушко,

1988) и в вегетационном опыте при поддержании влажности почвы 40-50 % НВ в критические периоды для роста и развития изучаемой культуры. Установлено, что сорт Алексеич характеризуется наибольшей комплексной засухоустойчивостью (30 %) и жаростойкостью (90 %), индекс комплексной устойчивости составил 265 отн. ед. В условиях почвенной засухи этот сорт сформировал урожайность 2,46 т/га, превысив сорта Таня и Донщина соответственно на 9 % и 22 %. Выявлены тесные корреляционные связи между комплексной засухоустойчивостью и урожайностью ($r = 0,823...0,985$). Сорт Алексеич рекомендуется для возделывания в аридных условиях как наиболее адаптированный.

Ключевые слова: адаптационный потенциал озимой пшеницы, засухоустойчивость, жаростойкость, условия возделывания, сорта, урожайность.

Цитирование. Айтпаева А. А., Тютюма Н. В. Адаптационный потенциал сортов озимой пшеницы в условиях аридной зоны. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 126-133. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-13.

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. Важную роль в повышении продуктивности озимой пшеницы играют высокоурожайные сорта, адаптированные к неблагоприятным условиям среды и способные формировать зерно сильной пшеницы [1, 2, 3]. Из практики известно, что не все сорта одинаково проявляют себя в одних и тех же условиях возделывания. Одни – менее урожайны, другие, легко подвергаясь различным заболеваниям и слабо сопротивляясь неблагоприятным условиям перезимовки и засухи, также не могут давать высокие и устойчивые урожаи. Для производства наибольшую ценность представляют те сорта, от которых при любых погодных условиях можно получать стабильные урожаи высококачественного зерна.

Озимая пшеница является одной из основных зерновых культур в Нижнем Поволжье. Однако климатические условия региона характеризуются частыми засухами, высокими температурами в весенне-летний период, деградацией почв, что лимитирует получение стабильных урожаев [4, 5, 6]. В связи с изменением климата и учащением экстремальных погодных явлений особую актуальность приобретает подбор сортов, обладающих высокой адаптивностью к абиотическим стрессам [7, 8, 9]. Адаптационный потенциал определяется способностью сорта формировать урожай в неблагоприятных условиях при сохранении качества продукции [10, 11, 12]. Его следует рассматривать как биологическую основу продуктивности, в то время как технология возделывания выступает в роли управляющего и стабилизирующего фактора, позволяющего этому потенциалу реализоваться вопреки колебаниям погодных условий [13, 14, 15].

Цель исследований – оценить адаптационный потенциал сортов озимой пшеницы краснодарской и зерноградской селекции в условиях аридной зоны Астраханской области и выявить наиболее перспективные из них для возделывания в регионе.

Задачи:

- определить жаростойкость сортов методом термотестирования семян;
- оценить засухоустойчивость в условиях осмотического стресса;
- изучить влияние почвенной засухи на структуру урожая в вегетационном опыте;
- установить корреляционные зависимости между показателями устойчивости и урожайностью.

Методы. Опыты закладывали в 2015-2017 годах. Объектами исследований служили три сорта озимой пшеницы: Алексеич, Таня и Донщина.

Сорт Алексеич – полукарликовый, высота растений 0,81 м, высокоустойчив к полеганию, среднеспелый, разновидность *lutescens*, потенциал продуктивности до 12 т/га, масса 1000 зерен 38-41 г. Сорт Таня – включен в Госреестр в 2005 г., оригинатор КНИИСХ, разновидность *lutescens*, скороспелый, высокоустойчив к полеганию, масса 1000 зерен 45,4-46,5 г, характеризуется высокой засухоустойчивостью и морозостойкостью выше среднего уровня. Сорт Донщина – стандарт для зоны.

Оценку жаростойкости (термоустойчивости) проводили методом термотестирования семян по Г. В. Удовенко [16]. Метод основан на определении устойчивости цитоплазматических структур зародыша к кратковременному воздействию летальной температуры. Семена стандартной влажности (10 %) в количестве 50 шт. на повторность прогревали в термостате при температуре +54 °С в течение 1 часа, затем охлаждали и проращивали в оптимальных условиях (22-25 °С на фильтровальной бумаге с дистиллированной водой).

Контролем служили непрогретые семена. Повторность четырехкратная. Показатель жаростойкости рассчитывали, как отношение всхожести после прогрева к всхожести контроля, выраженное в процентах. Схема опыта представлена в таблице 1.

Оценка устойчивости к комплексной засухе (осмотическому стрессу) проводилась по методике Н. Н. Кожушко [17]. Метод имитирует почвенную засуху через создание осмотического стресса для прорастающих семян. Высокая концентрация раствора сахарозы снижает доступность воды для семян, что позволяет оценить их способность к наклевыванию и начальному росту в условиях водного дефицита. Метод оценивает комплекс признаков: способность семян поглощать воду при низком водном потенциале, активность ферментов, обеспечивающих рост зародыша в стрессовых условиях, и целостность клеточных мембран.

Таблица 1 – Схема опыта 1. Оценка сортов озимой пшеницы на жаростойкость
Table 1 – Scheme of experiment 1. Assessment of winter wheat varieties for heat resistance

Фактор А (сорт) / Factor A (variety)	Фактор В (термическая обработка) / Factor B (heat treatment)
Донщина (стандарт) / Donshchina (standard)	Проращивание семян, не подверженных термической обработке / Germination of seeds that have not been heat-treated
	Проращивание семян после термической обработки (+54 °C) / Seed germination after heat treatment (+54 °C)
Алексеич / Alekseich	Проращивание семян, не подверженных термической обработке / Germination of seeds that have not been heat-treated
	Проращивание семян после термической обработки (+54 °C) / Seed germination after heat treatment (+54 °C)
Таня / Tanya	Проращивание семян, не подверженных термической обработке / Germination of seeds that have not been heat-treated
	Проращивание семян после термической обработки (+54 °C) / Seed germination after heat treatment (+54 °C)

Готовили водный раствор сахарозы, концентрация которого была рассчитана так, чтобы создать осмотическое давление в 14 атмосфер. Эта величина соответствует сильной почвенной засухе. Концентрация сахарозы для достижения такого давления при 30 °C составляет 20 %. В качестве контроля использовали дистиллированную воду (осмотическое давление ~ 0 атм). Опытные варианты (с сахарозой), контрольные (с водой). Повторность четырехкратная. В каждую повторность (чашку Петри) закладывалось по 50 семян. Семена размещали на фильтровальной бумаге, пропитанной соответствующим раствором (сахарозой или водой). Проращивание проводили в термостате при постоянной температуре 30 °C. Это высокая температура, которая усугубляет стресс, имитируя засуху в условиях жары. Через определенные стандартные сроки (на 3-й, 5-й и 7-й день) проводили учет количества проросших семян (критерий проростка: обычно длина корешка не менее длины семени). Определяли относительную всхожесть – процент всхожести в опыте (на сахарозе) по отношению к всхожести на контроле (в воде). Чем выше этот процент, тем выше устойчивость семян к осмотическому стрессу, т. е. к комплексной засухе.

Методики Кожушко и Удовенко являются компонентными. Они дают два независимых показателя: устойчивость сортов к комплексной засухе (осмотическому стрессу) и жаростойкость (термоустойчивость).

Таблица 2 – Схема опыта 2. Оценка устойчивости сортов озимой пшеницы к комплексной засухе
Table 2 – Scheme of experiment 2. Assessment of the resistance of winter wheat varieties to complex drought

Фактор А (сорт) / Factor A (variety)	Фактор В (условия проращивания семян) / Factor B (seed germination conditions)
Донщина (стандарт) / Donshchina (standard)	Дистиллированная вода, 0 атм / Distilled water, 0 atm
	Раствор сахарозы, 14 атм / Sucrose solution, 14 atm
Алексеич / Alekseich	Дистиллированная вода, 0 атм / Distilled water, 0 atm
	Раствор сахарозы, 14 атм / Sucrose solution, 14 atm
Таня / Tanya	Дистиллированная вода, 0 атм / Distilled water, 0 atm
	Раствор сахарозы, 14 атм / Sucrose solution, 14 atm

В рамках исследований был также заложен прямой вегетационный опыт по оценке устойчивости сортов к почвенной засухе в критические фазы развития. Методология и условия эксперимента:

1. Контрольный вариант являлся базовым уровнем или «оптимумом». На этом варианте в течение всей вегетации поддерживался предполивной порог влажности почвы не ниже 70...75 % НВ (наименьшей влагоемкости), что соответствует рекомендациям для получения потенциальной урожайности культуры в данных почвенно-климатических условиях.

2. Опытные варианты представляли собой моделирование почвенной засухи. На этих делянках в критические фазы развития (выход в трубку – цветение – налив зерна) влажность почвы искусственно снижалась и поддерживалась не ниже 40...50 % НВ, создавая управляемый водный дефицит.

Таблица 3 – Схема опыта 3. Прямой вегетационный опыт по оценке устойчивости сортов озимой пшеницы к почвенной засухе в критические фазы развития

Table 3 – Scheme of experiment 3. Direct vegetation experience in assessing the resistance of winter wheat varieties to soil drought in critical phases of development

Фактор А (сорт) / Factor A (variety)	Фактор В (режим орошения) / Factor B (irrigation mode)
Донщина (стандарт) / Donshchina (standard)	Контроль (70...75 % НВ) / Control (70...75 % НВ) 40...50 % НВ
Алексеич / Alekseich	Контроль (70...75 % НВ) / Control (70...75 % НВ) 40...50 % НВ
Таня / Tanya	Контроль (70...75 % НВ) / Control (70...75 % НВ) 40...50 % НВ

Учетная площадь делянки 1 м², повторность четырехкратная /
The plot area is 1 m², and the replication is 4-fold.

Результаты исследований. Исследования сортов краснодарской и зерноградской селекции в условиях Лиманского района Астраханской области показали, что они различались по таким значимым для аридной зоны показателям как засухоустойчивость и жаростойкость. Рассмотрим данные показатели более подробно.

По мнению большинства ученых засухоустойчивость – способность растений переносить последствия почвенной и воздушной засухи: обезвоживание и перегрев тканей с наименьшим снижением продуктивности.

Жаростойкость – способность растительных организмов переносить высокую температуру окружающей среды (воздуха, почвы, воды) без существенных повреждений.

Данное исследование было направлено не на поиск агроприёма, повышающего продуктивность в оптимальных условиях, а на количественную оценку устойчивости сортов озимой пшеницы к абиотическому стрессу, вызванному дефицитом влаги.

В ходе реализации экспериментальных исследований на контрольном варианте были созданы оптимальные условия влагообеспеченности, а на опытных вариантах растения возделывали в условиях недостаточного увлажнения. Поэтому все структурные показатели контрольных вариантов превосходили соответствующие показатели опытных вариантов.

В этом контексте снижение структурных показателей на опытных вариантах является прямым морфофизиологическим откликом на дефицит влаги. Превышение показателей контроля над опытом служит количественной мерой потери урожая (в %) из-за засухи для каждого конкретного сорта.

Результаты лабораторной оценки адаптационного потенциала представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Степень адаптивности к водному и температурному стрессам сортов озимой пшеницы в начальные фазы развития растений (среднее за 2015-2017 гг.)

Table 4 – Adaptability of winter wheat cultivars to water and temperature stress during the initial growth stages (averaged over 2015-2017)

Сорт / Variety	Засухоустойчивость / Drought tolerance		Жаростойкость / Heat resistance		Индекс устойчивости, отн. ед. / Sustainability index, relative units	Комплексная засухоустойчивость, % / Comprehensive drought tolerance, %
	Всхожесть, % / Germination, %	Группа / Group	Всхожесть, % / Germination, %	Группа / Group		
Алексеич / Alekseich	83	I	90	I	265	30,0
Таня / Tanya	78	I	86	I	243	28,0
Донщина / Donshchina	73	I	78	II	225	26,6

Ряд ученых отмечает, что засухоустойчивый сорт способен какое-то время переносить воздушную (низкая влажность воздуха) и почвенную засуху. Жаростойкий сорт способен переносить высокие температуры при условии, что в почве достаточно влаги. То есть эти характеристики в определенной мере противоположны.

Жаростойкость достигается увеличением транспирации (испарения воды с поверхности листьев). Это охлаждает озимую пшеницу. А у засухоустойчивых сортов механизм другой. Они во время засухи, наоборот, сокращают испарение – ограничивают потерю влаги.

В условиях засухи (40-50 % НВ) сорт Алексеич снизил урожайность до 2,46 т/га, что составило 41 % от контроля (6,0 т/га), в то время как у стандарта Донщина этот показатель был ниже.

Математический анализ взаимосвязи урожайности и комплексной засухоустойчивости показал, что коэффициент корреляции (r) на варианте опыта № 1 (сорт озимой пшеницы Алексеич) равен 0,823. Связь между исследуемыми признаками – прямая. Уравнение парной линейной регрессии: $y = -19,8 + 7x$. Коэффициент регрессии свидетельствует о том, что увеличение комплексной засухоустойчивости на 7 % обеспечивает рост урожайности озимой пшеницы сорта Алексеич на 1 т/га.

На варианте опыта № 2 (сорт озимой пшеницы Таня) коэффициент корреляции (r) равен 0,974. Связь между исследуемыми признаками – прямая. Уравнение парной линейной регрессии: $y = -57,8 + 13x$. Коэффициент регрессии показывает, что увеличение комплексной засухоустойчивости на 13 % ведет к росту урожайности озимой пшеницы сорта Таня на 1 т/га.

На варианте опыта № 3 (сорт озимой пшеницы Донщина) коэффициент корреляции (r) равен 0,985. Связь между исследуемыми признаками – прямая. Уравнение парной линейной регрессии: $y = -27,9 + 16x$. Коэффициент регрессии свидетельствует о том, что увеличение комплексной засухоустойчивости на 16 % обеспечивает повышение урожайности озимой пшеницы сорта Донщина на 1 т/га.

Наибольшее значение комплексной засухоустойчивости из всех изучаемых сортов озимой пшеницы наблюдалось у сорта Алексеич, наименьший показатель отмечен у сорта Донщина.

Таблица 5 – Структура урожая сортов озимой пшеницы в условиях недостаточной и оптимальной влагообеспеченности (среднее за 2015-2017 гг.).

Table 5 – Yield structure of winter wheat cultivars under insufficient and optimal moisture supply (averaged over 2015-2017)

Сорт / Variety	Густота продуктивного стеблестоя, шт/м ² / Density of productive stems, pcs/m ²		Количество зерен главного колоса, шт. / Number of grains in the main ear, pcs.		Масса зерна главного колоса, г / Grain weight of the main ear, g		Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g		Урожайность зерна, т/га / Grain yield, t/ha	
	опыт (влажность почвы 40-50 % НВ) / test	контроль (влажность почвы 70-75 % НВ) / control	опыт (влажность почвы 40-50 % НВ) / test	контроль (влажность почвы 70-75 % НВ) / control	опыт (влажность почвы 40-50 % НВ) / test	контроль (влажность почвы 70-75 % НВ) / control	опыт (влажность почвы 40-50 % НВ) / test	контроль (влажность почвы 70-75 % НВ) / control	опыт (влажность почвы 40-50 % НВ) / test	контроль (влажность почвы 70-75 % НВ) / control
Алексеич / Alekseich	305	450	20	21	0,79	1,3	26	40	2,46	6,0
Таня / Tanya	297	445	19	20	0,73	1,1	21	34	2,26	5,0
Донщина / Donshchina	285	430	18	19	0,68	0,98	20	32	2,02	4,3

В начальный период развития растений все изучаемые сорта оказались высокозасухоустойчивыми (I группа), всхожесть которых на сахарозе варьировала от 73,0 до 83,0 % от ее уровня в контроле. При определении жаростойкости у двух сортов (Алексеич, Таня)

всхожесть изменялась от 86 до 90 % (I группа, высокожаростойкие). Сорт Донщина по данной методике отнесен ко II группе – среднежаростойкие (78 %). Самый высокий индекс комплексной устойчивости зафиксирован у сорта Алексеич (265 отн. ед). По результатам оценки комплексной засухоустойчивости лучшим также оказался сорт Алексеич (30 %).

Степень засухоустойчивости и структуру урожая сортов озимой пшеницы определяли также с использованием прямого вегетационного метода.

Зависимость урожайности и элементов ее структуры от недостатка влаги в почве у сортов озимой пшеницы в вегетационном опыте была различной. Снижение числа продуктивных стеблей в условиях модельной засухи, по сравнению с контролем, варьировало от 32 до 34 % (таблица 5). Наибольшее количество продуктивных стеблей в опыте зафиксировано у сорта Алексеич (305 шт/м²), наименьшее у сорта Донщина (285 шт/м²).

Максимальное количество зерен в главном колосе формировалось на контрольном варианте и составляло у сорта Алексеич – 21 шт., минимальное у сорта Донщина – 19 шт.

По таким показателям как масса зерна с главного колоса, масса 1000 зерен и урожайность превосходство имел сорт Алексеич. Совмещение высоких показателей жаростойкости и засухоустойчивости в одном генотипе (как у сорта Алексеич) представляет наибольшую ценность для аридной зоны, где засуха часто сопровождается высокими температурами.

Проведенный анализ показал, что продуктивность сортов озимой пшеницы краснодарской и зерноградской селекции напрямую коррелирует с показателем комплексной засухоустойчивости, который в аридных условиях является определяющим в получении стабильных урожаев зерна.

Выводы. В результате проведенных исследований установлено, что сорта озимой пшеницы краснодарской и зерноградской селекции обладают различным адаптационным потенциалом к условиям аридной зоны Астраханской области. Наибольшей комплексной устойчивостью к абиотическим стрессам характеризуется сорт Алексеич.

Лабораторными методами выявлено, что сорт Алексеич превосходит стандартный сорт Донщина по засухоустойчивости на 13,7 % (83 % против 73 %), по жаростойкости – на 15,4 % (90 % против 78 %), а также имеет максимальный индекс комплексной устойчивости (265 отн. ед.).

В вегетационном опыте с моделированием почвенной засухи (40-50 % НВ) сорт Алексеич сформировал урожайность 2,46 т/га, что достоверно выше показателей сортов Таня (2,26 т/га) и Донщина (2,02 т/га). Установлено, что в условиях стресса у сорта Алексеич лучше сохраняются элементы структуры урожая: продуктивный стеблестой и масса 1000 зерен.

Корреляционный анализ подтвердил наличие тесной прямой связи между комплексной засухоустойчивостью и урожайностью зерна ($r = 0,823...0,985$), что позволяет использовать лабораторные методы оценки для первичного скрининга засухоустойчивых генотипов.

Для получения стабильных урожаев в засушливых условиях Нижнего Поволжья рекомендуется использовать сорт озимой пшеницы Алексеич, как наиболее адаптированный к местным почвенно-климатическим условиям.

Conclusions. As a result of the conducted research, it was found that the varieties of winter wheat bred in Krasnodar and Zernograd have different adaptive potential to the conditions of the arid zone of the Astrakhan Region. The variety Alekseich is characterized by the highest complex resistance to abiotic stresses. Laboratory methods have shown that the Alekseich variety is 12.8 % more drought-resistant than the standard Donshchina variety (83 % vs. 73 %), 15.4 % more heat-resistant (90 % vs. 78 %), and has the highest index of combined resistance (265 relative units).

In a vegetative experiment with soil drought simulation (40-50 % HB), the Alekseich variety produced a yield of 2.46 t/ha, which is significantly higher than the yields of the Tanya (2.26 t/ha) and Donshchina (2.02 t/ha) varieties. It was found that the Alekseich variety retains the elements of its yield structure better under stress conditions, such as the productive stem density and the weight of 1,000 grains. Correlation analysis confirmed a close direct relationship between complex drought resistance and grain yield ($r = 0.823...0.985$), which allows the use of laboratory assessment methods for the primary screening of drought-resistant genotypes.

Библиографический список

1. Грабовец А. И., Фоменко М. А., Олейникова Т. А., Железняк Е. А. Новые сорта озимой мягкой пшеницы – итог реализации разработок по селекции на продуктивность и адаптивность Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 2. С. 19-23.
2. Темирбекова С. К., Куликов И. М., Афанасьева Ю. В., Охотникова Т. В. Изучение исходного материала озимой пшеницы для селекции устойчивых к стрессовым факторам сортов. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 2. С. 8-14.

3. Дубинкина Е. А., Беляев Н. Н. Поиск адаптивных сортов озимой мягкой пшеницы для Центрального Черноземья. *Аграрная Россия*. 2024. № 9. С. 8-12.
4. Плескачев Ю. Н., Костин М. В. Деградация земель в Нижнем Поволжье. Полевые исследования. 2020. № 7. С. 124-133.
5. Романенков В. А., Павлова В. Н., Беличенко М. В. Агротехнологические возможности управления климатическими рисками при возделывании зерновых культур. *Агрохимия*. 2022. № 12. С. 19-30.
6. Недикова Е. В., Садыгов Э. А. Оптимизация структуры агроландшафтов для рациональной организации землепользования в условиях деградации земель. *Регион: системы, экономика, управление*. 2022. № 1 (56). С. 181-187.
7. Мелихов В. В. Новые механизмы адаптации сельскохозяйственных растений к изменению климатических условий. *Орошаемое земледелие*. 2019. № 4. С. 6-7.
8. Жученко А. А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы). М.: Изд-во РУДН, 2008. 780 с.
9. Лаптина Ю. А., Набойченко К. В., Гиченкова О. Г. и др. Параметры адаптивности сортов озимой пшеницы в условиях Волгоградской области. *Аграрная Россия*. 2024. № 1. С. 11-18.
10. Zenda T., Wang N., Dong A., Zhou Y., Duan H. Reproductive-Stage Heat Stress in Cereals: Impact, Plant Responses and Strategies for Tolerance Improvement. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022. V. 23. I. 6929.
11. Курбанов С. А., Магомедова Д. С., Магомедов А. И. Оценка сортов озимой мягкой пшеницы по урожайности, параметрам адаптивности и окупаемости при применении расчетных норм минеральных удобрений. *Аграрная Россия*. 2024. № 4. С. 16-20.
12. Korhova M., Smirnova I., Panfilova A., Mykolaichuk V. Influence of varietal characteristics of winter wheat and weather conditions on lodging resistance and productivity. *Scientific Horizons*. 2023. V. 26. No. 12. Pp. 42-53.
13. Березнева А. С. Физиологические основы формирования продуктивности озимой пшеницы в зависимости от технологий выращивания. *Экологический Вестник Северного Кавказа*. 2025. Т. 21. № 1. С. 18-25.
14. Плескачев Ю. Н., Бoryшов Р. Ю., Анишко М. Ю. и др. Совершенствование технологии возделывания озимой пшеницы в Нижнем Поволжье. *Аграрная Россия*. 2024. № 12. С. 17-20.
15. Зволинский В. П., Тютюма Н. В. Продуктивность озимой пшеницы в зависимости от предшественников в условиях Северного Прикаспия. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса*. 2018. № 4. С. 98-105.
16. Удовенко Г. В. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям. Л.: ВИР, 1988. 227 с.
17. Кожушко Н. Н. Оценка засухоустойчивости сортов и гибридов. *Физиология растений*. 1988. Т. 35. С. 58-62.

References

1. Grabovets A. I., Fomenko M. A., Oleinikova T. A., Zheleznyak E. A. New varieties of winter soft wheat – the result of breeding efforts for productivity and adaptability. *Bulletin of Russian Agricultural Science*. 2021. No 2. Pp. 19-23.
2. Temirbekova S. K., Kulikov I. M., Afanasyeva Yu. V., Okhotnikova T. V. Study of the source material of winter wheat for breeding of varieties resistant to stress factors. *Bulletin of Russian Agricultural Science*. 2021. No 2. Pp. 8-14.
3. Dubinkina E. A., Belyaev N. N. Search for adaptive varieties of winter soft wheat for the Central Chernozem region. *Agrarian Russia*. 2024. No 9. Pp. 8-12.
4. Pleskachev Yu. N., Kostin M. V. Land degradation in the Lower Volga region. *Field research*. 2020. No 7. Pp. 124-133.
5. Romanenkov V. A., Pavlova V. N., Belichenko M. V. Agro-technological opportunities for managing climate risks in the cultivation of grain crops. *Agrochemistry*. 2022. No 12. Pp. 19-30.
6. Nedikova E. V., Sadygov E. A. Optimization of the structure of agro-landscapes for the rational organization of land use in the conditions of land degradation. *Region: systems, economy, management*. 2022. No 1 (56). Pp. 181-187.
7. Melikhov V. V. New mechanisms of adaptation of agricultural plants to changing climatic conditions. *Irrigated Agriculture*. 2019. No 4. Pp. 6-7.
8. Zhuchenko A. A. Adaptive system of plant breeding (ecological and genetic foundations). Moscow: RUDN Publishing House, 2008. 780 p.
9. Laptina Yu. A., Naboychenko K. V., Gichenkova O. G., et al. Parameters of adaptability of winter wheat varieties in the conditions of the Volgograd region. *Agrarian Russia*. 2024. No 1. Pp. 11-18.
10. Zenda T., Wang N., Dong A., Zhou Y., Duan H. Reproductive-Stage Heat Stress in Cereals: Impact, Plant Responses and Strategies for Tolerance Improvement. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022. V. 23. I. 6929.
11. Kurbanov S. A., Magomedova D. S., Magomedov A. I. Evaluation of winter soft wheat varieties by yield, adaptability parameters, and payback when using calculated rates of mineral fertilizers. *Agrarian Russia*. 2024. No 4. Pp. 16-20.
12. Korhova M., Smirnova I., Panfilova A., Mykolaichuk V. Influence of varietal characteristics of winter wheat and weather conditions on lodging resistance and productivity. *Scientific Horizons*. 2023. V. 26. No 12. Pp. 42-53.
13. Berезнева A. S. Physiological Foundations of the Formation of Winter Wheat Productivity Depending on Cultivation Technologies. *Ecological Bulletin of the North Caucasus*. 2025. Vol. 21. No 1. Pp. 18-25.
14. Pleskachev Yu. N., Boryshov R. Yu., Anishko M. Yu., et al. Improving the Technology of Cultivating Winter Wheat in the Lower Volga Region. *Agrarian Russia*. 2024. No 12. Pp. 17-20.
15. Zvolinsky V. P., Tyutyuma N. V. Productivity of winter wheat depending on predecessors in the conditions of the Northern Caspian. *Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2018. No 4. Pp. 98-105.
16. Udovenko G. V. Diagnostics of plant resistance to stress. L.: VIR, 1988. 227 p.
17. Kozhushko N. N. Assessment of drought resistance of varieties and hybrids. *Plant Physiology*. 1988. Vol. 35. Pp. 58-62.

Информация об авторах

Айтпаева Айгуль Алдунгаровна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, научный сотрудник, ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» (Российская Федерация, 416251, Астраханская область, Черноярский район, с. Солёное Займище, квартал Северный, 8), ORCID 0000-0003-3898-5813, e-mail: arman.bisaliyev2012@yandex.ru

Тютюма Наталья Владимировна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, член-корреспондент РАН, директор ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» (Российская Федерация, 416251, Астраханская область, Черныйярский район, с. Солёное Займище, квартал Северный, 8) ORCID ID № 0000-0001-6582-2628, e-mail: pniaz@mail.ru

Authors' Information

Aitpayeva Aigul Aldungarovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Research Associate, Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (PAS FSC RAS) (Russian Federation, 416251, Astrakhan region, Chernyarsky District, Solenoye Zaymishche village, Northern Block, 8), ORCID: 0000-0003-3898-5813, e-mail: arman.bisaliyev2012@yandex.ru

Tyutyuma, Natalia Vladimirovna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director, Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (PAS FSC RAS) (Russian Federation, 416251, Astrakhan region, Chernyarsky District, Solenoye Zaymishche village, Northern Block, 8), ORCID: 0000-0001-6582-2628, e-mail: pniaz@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-14

THE EFFECT OF THE ELECTRIC FIELD AND THE BIOLOGICAL PREPARATION ON THE SUNFLOWER WATER CONSUMPTION AND YIELD

¹Aksenov M. P., ¹Petrov N. Yu., ²Petrov Yu. N., ¹Chernyavsky A. N., ¹Gorbacheva A. S.,
³Salaev B. K., ³Eviev V. A.

¹Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

²Federal Scientific Center Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation
Volgograd, Russian Federation

³Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov
Elista, Russian Federation

Corresponding author E-mail: npetrov60@list.ru

Received 26.12.2025

Submitted 27.02.2026

The study was carried out within the framework of the State Assignment "Theoretical foundations and methodology for assessing the greenhouse gas balance in freshwater reservoirs in the arid conditions of southern Russia" (FNFE-2025-0012).

Abstract

The ongoing process of climate change in the Volgograd region, characterized by uneven rainfall distribution, high temperatures during mid-vegetation, and wet and rainy weather during ripening and harvesting, is catastrophically impacting gross crop yields and the profitability of crop production. Adapting to these modern conditions requires modern and innovative approaches focused on resource conservation and increased profitability through the reduction of agricultural expenses, while simultaneously increasing yields. Minimizing financial costs while maintaining environmental requirements regarding pollution control necessitates physical methods of pre-sowing seed treatment; primarily based on the principles of applying electric fields to biological organisms. Seeds subjected to electrical and physical treatment become more viable when placed in soil with insufficient moisture or temperature at the sowing depth, thereby increasing field germination, resulting in improved plant survival and yield. **Object.** Field studies for three years on three sunflower hybrids Fortuna, Agora, and EU Bella, on the effect of pre-sowing seed treatment on plant water consumption during the growing season and quantification of yield. **Materials and methods.** Field experiments were conducted in the farm Egorushin A. Y. Mikhailovsky district of the Volgograd region. The experiment was conducted as a two-factor experiment, based on the method of B. A. Dospekhov, in a triple repetition. Factor A – sunflower hybrids (Fortuna, Agora, EU Bella); factor B – method of pre-sowing seed treatment. The precursor for all years of research is winter wheat. **Results and conclusions.** The total water consumption of the studied sunflower hybrids in the variants without pre-sowing seed treatment was in the range of 2863.3-2892.7 m³/ha, when treated in an electric field, the indicator ranged from 3012.1-3103.9 m³/ha, in the variant with growth regulator treatment 2952.6-3026.3 m³/ha. The maximum yield on the electric field treatment option was for the EU Bell hybrid – 2.57 t/ha exceeded the control by 14.78 %, the minimum yield increase on the growth regulator treatment option was obtained for the Agora hybrid – 2.23 t/ha, exceeding the control by 8.97 %.

Keywords: sunflower hybrids, sunflower water consumption, sunflower yield, pre-sowing treatment of sunflower seeds, and electrical and physical treatment of seeds.

Citation. Aksenov M. P., Petrov N. Yu., Petrov Yu. N., Chernyavsky A. N., Gorbacheva A. S., Salaev B. K., Eviev V. A. The effect of the electric field and the biological preparation on the sunflower water consumption and yield. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 133-140 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-14.

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 633.854.78+631.53.027.33

**ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА
НА ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ И УРОЖАЙНОСТЬ ПОДСОЛНЕЧНИКА**¹Аксенов М. П., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент¹Петров Н. Ю., доктор сельскохозяйственных наук, профессор²Петров Ю. Н., кандидат сельскохозяйственных наук¹Чернявский А. Н., кандидат сельскохозяйственных наук¹Горбачева А. С., кандидат экономических наук, доцент³Салаев Б. К., доктор биологических наук, профессор³Эвиев В. А., доктор технических наук, профессор¹ФГБОУ ВО «Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

²ФНЦ «Агроэкология, комплексная мелиорация и защитное лесоразведение»

г. Волгоград, Российская Федерация

³ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова»

г. Элиста, 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. Продолжающийся процесс изменения климата в Волгоградском регионе, характеризующийся неравномерным выпадением осадков, высокой температурой в середине вегетации, влажной и дождливой погодой во время созревания и уборки катастрофически влияют на валовой сбор урожая и рентабельность работы в области растениеводства. Для адаптации к современным условиям требуются современные и инновационные подходы, направленные на ресурсосбережение и повышение рентабельности за счет сокращения агротехнических расходов с одновременным повышением урожайности. Минимальные финансовые затраты и одновременно сохранение экологических требований в области загрязнения окружающей среды представляют собой физические способы предпосевной обработки семян, в основу которых положены принципы воздействия электрического поля на биологические организмы. Подверженные электрофизической обработке семена становятся более жизнеспособными при попадании в почву с недостаточной влажностью или температурой прогрева на глубине посева, за счет чего повышается полевая всхожесть, как следствие – сохранность растений и урожайности. **Объект.** Исследования в полевых условиях в течение трех лет на трех гибридах подсолнечника – Фортуна, Агора, ЕС Белла – были посвящены влиянию предпосевной обработки семян на водопотребление растений в период вегетации и количественной оценке урожайности. **Материалы и методы.** Полевые опыты закладывались в КФХ Егорушин А. Ю. Михайловского района Волгоградской области. Опыт проводился как двухфакторный, основанный на методике Б. А. Доспехова, в трехкратной повторности. Фактор А – гибриды подсолнечника (Фортуна, Агора, ЕС Белла); фактор В – способ предпосевной обработки семян. Предшественник по всем годам исследований – озимая пшеница. **Результаты и выводы.** Суммарное водопотребление изучаемых гибридов подсолнечника на вариантах без предпосевной обработки семян находилось в пределах 2863,3–2892,7 м³/га, при обработке в электрическом поле показатель варьировал в пределах 3012,1–3103,9 м³/га, на варианте с обработкой регулятором роста 2952,6–3026,3 м³/га. Максимальная урожайность на варианте обработки в электрическом поле была у гибрида ЕС Белла – 2,57 т/га превышала контроль на 14,78 %, минимальная прибавка урожая на варианте обработки регулятором роста получена у гибрида Агора – 2,23 т/га, превышение контроля на 8,97 %.

Ключевые слова: гибриды подсолнечника, водопотребление подсолнечника, урожайность подсолнечника, предпосевная обработка семян подсолнечника, электрофизическая обработка семян.

Цитирование. Аксенов М. П., Петров Н. Ю., Петров Ю. Н., Чернявский А. Н., Горбачева А. С., Салаев Б. К., Эвиев В. А. Влияние электрического поля и биологического препарата на водопотребление и урожайность подсолнечника. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 133–140. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-14.

Авторский вклад. Представленный авторский коллектив данных исследований принимал непосредственное участие в планировании, закладке, проведении эксперимента и обработке результатов исследований. Все авторы настоящей статьи ознакомлены с ее содержанием и одобрили окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Волгоградская область по почвенно-климатическим характеристикам является благоприятным регионом для возделывания подсолнечника. В то же время, регион относится к категории рискованного земледелия с высокими температурами в летний

период и выпадающими осадками в виде кратковременных ливней, что отражается на урожайности возделываемых культур. Подсолнечник, являясь основной масличной культурой, возделываемой в регионе, на протяжении 15 лет наращивал посевные площади, позволяя производителям получать стабильный доход за счет устойчивого спроса на урожай семян подсолнечника. Площади, занятые под подсолнечник в 2018 году достигали 820 тыс. га, позволяя Волгоградской области входить в первую пятерку по площади, засеваемой подсолнечником. Валовой сбор в большей части увеличивался за счет расширения посевных площадей и незначительного увеличения урожайности по сравнению с генетическим потенциалом высеваемых гибридов подсолнечника импортного производства. Однако, с растущими расходами на семенной материал, обслуживание сельскохозяйственной техники и топливо, а также с низкой средней урожайностью в регионе – 1,6 т/га, при потенциально возможной генетике семян, последствиями высушивания почвы подсолнечником для последующих культур, уже в 2023 году привели к снижению площадей, засеваемых подсолнечником.

В задачи сельскохозяйственного производства входит как совершенствование технологии возделывания, приводящее к увеличению урожайности подсолнечника, так и мероприятия направленные на ресурсосбережение.

Для достижения наибольшей урожайности необходим целый комплекс последовательных мероприятий, первостепенная роль в этом отводится семенному материалу, определяемому генетической продуктивностью сорта, предпосевной подготовке семенного материала для защиты от болезней и вредителей, технологии обработки почвы и ухода за растениями, а также метеорологическим условиям в период вегетации [1].

Предпосевная обработка семенного материала позволяет повысить кондиционные качества семян, что является важным агроприемом. Классическая схема предусматривает проведение предпосевной обработки путем протравливания химическими или биологическими препаратами [2]. С каждым годом на рынке появляются новые препараты, рекламируемые производителями как безопасные для урожая, так и окружающей среды. Однако при воздействии регуляторов роста кроме видимых эффектов, выражающихся в количественном повышении урожая, имеют место и невидимые эффекты, оказывающие влияние как на качество и безопасность получаемой продукции, так и на природу в целом [3]. Альтернативой протравливанию биопрепаратами являются методы предпосевной обработки, использующие факторы физической природы, которые одновременно подавляют патогенную микрофлору как на поверхности, так и внутри семени и оказывают стимулирующий эффект на ростовые процессы. Из многообразия существующих направлений предпосевной обработки перспективным является применение воздействия на семена различных электрических полей.

Научно обоснованным и доказанным фактом увеличения урожайности при предпосевной обработке электрофизическими методами является прибавка 10-20 % к контролю [4-8]. Следовательно, при выборе применяемого вида воздействия следует руководствоваться экономическими критериями по изготовлению и обслуживанию установки для обработки семян в промышленных масштабах [9, 10]. Установка для обработки в электрическом поле переменного напряжения является наиболее просто реализуемой как с технической точки зрения, так и по экономическим показателям изготовления и эксплуатации [11-13].

Целью исследования являлось сравнение воздействия электрического поля и регулятора роста Зеребра Агро при предпосевной обработке семян гибридов подсолнечника Фортуна, Агора, ЕС Белла для повышения урожайности культуры.

Материалы и методы. В КФХ Егорушин А. Ю., расположенном в Михайловском районе Волгоградской области, был проведен трехлетний двухфакторный опыт по возделыванию подсолнечника, основанный на методике Б. А. Доспехова и выполненный в трехкратной повторности. Целью исследования было изучение влияния различных гибридов подсолнечника и способов предпосевной обработки семян на урожайность культуры в условиях засушливого климата.

Фактор А: Гибриды подсолнечника

В качестве изучаемых гибридов были выбраны:

- Фортуна;
- Агора;
- ЕС Белла.

Фактор В: Способы предпосевной обработки семян.

Предпосевная обработка семян включала два метода:

1. Обработка в электрическом поле переменного напряжения с напряженностью 8 кВ/см и экспозицией 60 секунд.
2. Полусухое протравливание регулятором роста Зеребра Агро, с использованием 10 мл препарата на 1 литр воды.

Почвенно-климатические условия.

Почва опытного участка представляла собой маломощный южный чернозем, среднесуглинистый, с содержанием гумуса 4,7 % и pH 7,6. Обеспеченность почвы питательными веществами была следующей:

- азот: низкая;
- калий: повышенная;
- фосфор: средняя.

Система обработки почвы.

В хозяйстве применялась традиционная система обработки почвы, включающая:

- первое лущение стерни после уборки озимой пшеницы на глубину 0,06-0,08 м;
- второе лущение стерни по мере прорастания сорняков в конце августа;
- отвальная вспашка в конце октября на глубину 0,28 м для заделки растительных остатков и сорняков;
- весеннее боронование и две культивации при достижении физической спелости почвы.

Посев и норма высева.

Посев подсолнечника проводился сеялкой СПБ-8 с шириной рабочего захвата 5,6 м и шириной основных междурядий 0,7 м. Норма высева составляла 60 тыс. всхожих семян на 1 га.

Метеорологические условия.

Метеорологические условия в годы проведения экспериментов были засушливыми:

- в 2021 году ГТК (гидротермический коэффициент) составил 0,84;
- в 2022 году ГТК был равен 0,91;
- в 2023 году ГТК снизился до 0,74, что соответствует очень засушливой подзоне.

Запасы продуктивной влаги в почве также были различны:

- в 2021 году: 150,4 мм;
- в 2022 году: 158,6 мм;
- в 2023 году: 135,2 мм.

Несмотря на засушливые условия, запасы влаги находились в пределах, удовлетворяющих потребности подсолнечника для получения урожая. Однако неравномерное выпадение осадков в период вегетации, особенно большое количество осадков в конце вегетационного периода, могло негативно сказаться на продуктивных процессах и урожайности культуры.

Таким образом, проведенный опыт позволил оценить влияние различных гибридов подсолнечника и способов предпосевной обработки семян на урожайность культуры в условиях засушливого климата Волгоградской области. Результаты исследования могут быть использованы для оптимизации агротехнических мероприятий и повышения урожайности подсолнечника в регионе.

Результаты и обсуждение. Исследования проводились в агроклиматической зоне, относящейся к засушливой, на степных почвах южных черноземов. Выпадение осадков распределяется неравномерно по теплому и холодному периоду года, в среднем выдает 370 мм, из которых 1/3 приходится на холодное время года, формируя накопление влаги в метровом слое почвы.

Подсолнечник относится к засухоустойчивым культурам, Стержневая корневая система растения, проникающая в почву в среднем на глубину 1,5-1,8 метра позволяет получать влагу из глубоких слоев почвы, которая недоступна другим культурам. По эффективности использования воды и переработки ее в урожай среди широколиственных растений подсолнечнику нет равных. Однако отсутствие достаточного количества влаги приводит к снижению урожайности, за счет увеличения пустых зерен в корзине, уменьшения наполненности семян, поэтому и для подсолнечника в засушливых условиях Волгоградского региона влага – это лимитирующий фактор при формировании высокого урожая культуры.

Потребление влаги подсолнечником в зоне исследований доходит до 4000 т/га, что в условиях дефицита осадков создает необходимость в поиске и применении технологий по сбережению влаги и уменьшению водопотребления подсолнечником при сохранении высокого урожая.

На продолжительность вегетационного периода сельскохозяйственных культур, увеличивая или сокращая его, влияют как погодные условия – суммарная температура воздуха, относительная влажность и количество осадков за период вегетации, так и применение агроприемов – внесение удобрений и стимуляторов роста растений.

В первые месяцы роста и развития растений, в мае и июне, определяющее значение имела не температура воздуха, а начальный запас влаги в верхнем слое почвы. А вот температурный режим играл ключевую роль во время репродуктивного периода развития, в июле – августе, когда корневая система уже полностью сформировалась, что и позволяло получать влагу из глубоких слоев почвы.

В 2021 году температура воздуха в мае незначительно превышала среднемноголетние значения на 1 °С и равнялась +16,6 °С, однако в летние месяцы (июнь, июль, август), превышение среднемноголетних значений уже было более существенным и составляло +22,6 °С; +24,1; +23,6 °С, что выше среднемноголетних значений на 2,9 °С; 1,9; 2,9 °С, соответственно.

Погодные условия 2022 года в мае и июне имели схожие значения с показателями 2021 года, при этом фактическая температура в мае также незначительно превышала среднемноголетние значения на 0,3 °С и равнялась +15,9 °С а в июне – на 0,9 °С, равняясь +20,6 °С. В июле и августе также отмечалось превышение температур на 1,0 °С и на 4,1 °С. При этом самыми жаркими днями были 18 июля, температура в который составляла +37,5 °С, и 22 августа с температурой +36,8 °С.

Более холодным за годы проведения исследований выдался 2023 год, с майской и июньской температурами воздуха +14,4 и +18,6 °С, соответственно, что оказалось ниже среднемноголетнего значения на 1,2 °С в мае и на 1,1 °С в июне. Июль с августом оказали более жаркими – среднесуточная температура уже превышала среднемноголетние значения в июле незначительно на 0,4 °С, в августе на 2,6 °С.

Сумма положительных температур за период вегетации 2021 года составляла 2622,1 °С, в 2022 году незначительно превышала предыдущий год – 2756,1 °С и в 2023 году сумма положительных температур была наименьшей за все годы исследований – 2614,7 °С. При этом полученные суммы положительных температур превышали минимально необходимые 1900-2300 °С для выращивания подсолнечника в Волгоградской области.

В начальный период роста условием получения высокого урожая подсолнечника является не только температура почвы и температура атмосферного воздуха, но и накопленная в почве влага, которая формируется за счет осадков, выпавших в холодный период. В 2021 году за холодный период выпало 112 мм, в 2022 году – 178 мм, что на 66 мм превышает предыдущий год, в 2023 году за рассматриваемый период выпало – 116,4 мм осадков. Для фактического анализа запасов влаги в почве в период посева необходимо учитывать и культуру-предшественник, которая здесь выращивалась и сроки ее уборки.

Анализируя осадки, особое внимание уделяется именно количеству выпавших осадков в теплый период (май-август). Это именно та часть, которая непосредственно оказывала влияние на формирование урожайности подсолнечника. В среднем по трем годам полевых опытов продуктивная влага в метровом слое почвы на момент посева составляла 148,07 мм, осадки за период вегетации – 281,67 мм.

В 2021 году за рассматриваемый период выпало 232 мм осадков, в 2022 году – 288 мм, в 2023 году – 205 мм. Осадки по годам проведения исследований значительно различались, по суммарному значению 2022 год был самым обеспеченным осадками, а 2023 год оказался засушливым.

В опытах основными слагаемыми суммарного водопотребления были сформировавшиеся запасы доступной влаги за холодные периоды года и осадки, выпавшие в период вегетации. На контроле суммарное водопотребление было самым низким по всем изучаемым генотипам подсолнечника, минимальное среднее водопотребление у гибрида Агора – 2863,3 м³/га, максимальное отмечено у гибрида Фортуна – 2892,7 м³/га. На варианте с предпосевной обработкой регулятором роста и на варианте с обработкой в электрическом поле все исследуемые генотипы подсолнечника потребляли большее количество влаги

относительно контроля. Минимальные запасы продуктивной влаги перед уборкой были у гибрида Фортуна на варианте с предпосевной обработкой в электрическом поле – 34,85 мм, максимальные у гибрида Агора на варианте обработки семян регулятором роста – 49,98 мм.

Таблица 1 – Суммарное водопотребление гибридов подсолнечника в зависимости от способа предпосевной обработки семян, среднее за 2021-2023 гг.

Table 1 – Total water consumption of sunflower hybrids depending on the method of pre-sowing seed treatment, average for 2021-2023

Гибрид подсолнечника / Sunflower Hybrid	Показатель / Indicator	Вариант обработки семян перед посевом / Pre-sowing seed treatment option		
		Контроль / Control	Регулятор роста / Growth regulator	Электрическое поле / Electric field
Фортуна / Fortuna	Доступная в почве влага перед уборкой, мм / Soil moisture available before harvesting, mm	55,97	44,73	34,85
	Суммарное водопотребление, м³/га / Total water consumption, m³/ha	2892,7	3005,1	3103,9
	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	2,26	2,44	2,53
	Коэффициент водопотребления, м³/т / Water consumption coefficient, m³/t	1258,4	1228,9	1226,8
ЕС Белла / ES Bella	Доступная в почве влага перед уборкой, мм / Soil moisture available before harvesting, mm	56,3	42,66	44,03
	Суммарное водопотребление, м³/га / Total water consumption, m³/ha	2887,3	3026,3	3012,1
	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	2,19	2,43	2,57
	Коэффициент водопотребления, м³/т / Water consumption coefficient, m³/t	1290,7	1246,6	1172,2
Агора / Agora	Доступная в почве влага перед уборкой, мм / Soil moisture available before harvesting, mm	58,9	49,98	36,82
	Суммарное водопотребление, м³/га / Total water consumption, m³/ha	2863,3	2952,6	3084,2
	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	2,03	2,23	2,34
	Коэффициент водопотребления, м³/т / Water consumption coefficient, m³/t	1407,7	1318,5	1318,0

Подсолнечник за период вегетации неравномерно потребляет влагу, поэтому особую важность играет сбережение и рациональное использование накопленной влаги в почве. При недостаточном обеспечении влагой на определенной фазе вегетации, может снижаться урожайность и качество семян. Важным показателем при оценке мероприятий по сбережению запасов влаги является коэффициент водопотребления, который показывает затраченное количество влаги на 1 тонну урожая семян. На варианте без предпосевной обработки коэффициент водопотребления варьировал от 1258,4 м³/т у гибрида Фортуна, до 1407,7 м³/т у гибрида Агора. Наиболее экономно влага расходовалась гибридом ЕС Белла на варианте обработки семян в электрическом поле – 117,22 м³/т, на варианте с предпосевной обработкой регулятором роста, минимальный показатель коэффициента водопотребления у гибрида Фортуна – 122,89 м³/т, максимальный у гибрида Агора – 131,85 м³/т.

В зависимости от способа предпосевной подготовки семян перед посевом изменялась урожайность, в среднем за три года у гибрида Фортуна на контроле урожайность составляла – 2,26 т/га, на варианте с регулятором роста урожайность превышала контроль

на 0,18 т/га, на варианте с электрическим полем превышала контроль на 0,27 т/га. Минимальная урожайность получена на контроле у гибрида Агора – 2,03 т/га, максимальная урожайность у гибрида ЕС Белла при предпосевной обработке в электрическом поле – 2,57 т/га.

Выводы. Проведенные трехлетние полевые исследования по влиянию электрофизического и биологического способа предпосевной обработки семян гибридов подсолнечника на водопотребление и урожайность культуры позволяет сделать следующие выводы:

- суммарное водопотребление изучаемых гибридов подсолнечника на вариантах без предпосевной обработки семян находилось в пределах 2863,3-2892,7 м³/га, при обработке в электрическом поле показатель варьировал в пределах 3012,1-3103,9 м³/га, на варианте с обработкой регулятором роста 2952,6-3026,3 м³/га.

- коэффициент суммарного водопотребления на контроле был самым высоким у гибрида Агора – 1407,7 м³/га, минимальное водопотребление у гибрида Фортуна на варианте с обработкой в электрическом поле – 1172,2 м³/га.

- максимальная урожайность на варианте обработки в электрическом поле была у гибрида ЕС Белла – 2,57 т/га превышала контроль на 14,78 %, минимальная прибавка урожая на варианте обработки регулятором роста получена у гибрида Агора – 2,23 т/га, превышение контроля на 8,97 %.

Conclusions. Three-year field studies on the effect of electrical and physical and biological pre-sowing seed treatment of sunflower hybrids on water consumption and crop yield allow us to draw the following conclusions:

- The total water consumption of the studied sunflower hybrids in the variants without pre-sowing seed treatment ranged from 2863.3 to 2892.7 m³/ha. With electric field treatment, the indicator varied between 3012.1 and 3103.9 m³/ha, and on the variant with growth regulator treatment, it was 2952.6-3026.3 m³/ha.

- The coefficient of total water consumption was highest in the control for the Agora hybrid – 1407.7 m³/ha. The minimum water consumption was observed for the Fortuna hybrid in the electric field treatment variant – 1172.2 m³/ha.

- The maximum yield in the electric field treatment variant was achieved by the EC Bella hybrid – 2.57 t/ha, exceeding the control by 14.78 %. The minimum yield increase in the growth regulator treatment variant was obtained for the Agora hybrid – 2.23 t/ha, exceeding the control by 8.97 %.

Библиографический список

1. Бушнев А. С. и др. Эффективность применения агроприемов на участке гибридизации подсолнечника для улучшения физико-механических и биологических свойств выращиваемых семян. Масличные культуры. 2023. № 2 (194). С. 76-85.
2. Литвиненко Р. Биопрепараты как инструмент стабилизации урожайности подсолнечника. Аграрная наука. 2023. № 4. С. 116-117.
3. Буряк С. М., Черникова О. В., Мажайский Ю. А. Восстановление плодородия малопродуктивных дерново-подзолистых почв, вновь вводимых в сельскохозяйственный оборот. Вестник КрасГАУ. 2024. № 1 (202). С. 56-63.
4. Трапезников А. И., Казакова А. С., Донцова В. Ю. Предпосевная обработка семян ярового ячменя электрическим полем переменного напряжения промышленной частоты. Активная честолюбивая интеллектуальная молодежь сельскому хозяйству. 2024. № 1 (16). С. 77-85.
5. Глубоков М. В., Абубакаров А. Г., Шкуркин С. И. Предпосевная обработка семян электромагнитным полем сверхвысокой частоты при организации государственных закупок. Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2023. № 9 (103). С. 151-163.
6. Зацаринная И. А. и др. Предпосевная обработка семян электромагнитным полем. Приднепровский научный вестник. 2024. Т. 3. № 4. С. 157-159.
7. Стародубцева Г. П. и др. Параметры рабочей камеры установки по обработке семян импульсным электрическим полем. Сельский механизатор. 2022. № 11. С. 9-11.
8. Рубцова Е. И. и др. Предпосевная обработка семян кориандра лазерным излучением. Сельский механизатор. 2024. № 10. С. 41-43.
9. Крылов О. Н. и др. Предпосевная оптическая обработка семян зерновых культур на примере озимой ржи «Фаленская 4». Хранение и переработка сельхозсырья. 2023. № 2. С. 214-230.
10. Страхов В. Ю., Вендин С. В., Саенко Ю. В. Предпосевная УФ-обработка семян сои: проращивание на витаминный корм. Агроинженерия. 2023. Т. 25. № 6. С. 46-52.
11. Стародубцева Г. П., Ливинский С. А., Любая С. И. Обоснование параметров воздействия импульсного электрического поля при предпосевной обработке семян озимой пшеницы. Вестник АПК Ставрополья. 2017. № 2 (26). С. 44-48.
12. Кузнецов В. И., Трутнев И. В. Разработка и исследование установки для предпосевной стимуляции семян переменным электрическим полем низкой частоты. Приднепровский научный вестник. 2024. Т. 8. № 3. С. 50-53.
13. Стацюк Н. В. и др. Влияние предпосадочной обработки импульсным низкочастотным электрическим полем на повышение всхожести ботанических семян картофеля (*Solanum tuberosum* L.). Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2015. № 3 (54). С. 53-58.
14. Петров Н. Ю. и др. Режимы и параметры комплексной предпосевной обработки семян подсолнечника в электрическом поле и регулятором роста Зеребра Агро. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 2 (62). С. 379-389.

References

1. Bushnev A. S. et al. The effectiveness of using agricultural practices in the area of sunflower hybridization to improve the physical, mechanical, and biological properties of the cultivated seeds. *Oilseeds*. 2023. No 2 (194). Pp. 76-85.
2. Litvinenko R. Biopreparations as a Tool for Stabilizing Sunflower Yield. *Agrarian Science*. 2023. No 4. Pp. 116-117.
3. Buriak S. M., Chernikova O. V., Mazhaisky Yu. A. Restoring the Fertility of Low-Productive Sod-Podzolic Soils that is Being Reintroduced into Agricultural Use. *Vestnik KrasSAU*. 2024. No 1 (102). Pp. 56-63.
4. Trapeznikov A. I., Kazakova A. S., Dontsova V. Yu. Pre-sowing treatment of spring barley seeds with an alternating voltage electric field of industrial frequency. *Active ambitious intellectual youth to agriculture*. 2024. No 1 (16). Pp. 77-85.
5. Glubokov M. V., Abubakarov A. G., Shkurkin S. I. Pre-sowing treatment of seeds with an ultra-high-frequency electromagnetic field in the organization of public procurement. *Economics, Labor, Management in Agriculture*. 2023. No 9 (103). Pp. 151-163.
6. Zatsarinnaya I. A. et al. Pre-sowing treatment of seeds with an electromagnetic field. *Pridneprovsky Scientific Bulletin*. 2024. Vol. 3. No 4. Pp. 157-159.
7. Starodubtseva G. P. et al. Parameters of the working chamber of the installation for processing seeds with a pulsed electric field. *Rural machine operator*. 2022. No 11. Pp. 9-11.
8. Rubtsova E. I. et al. Pre-sowing treatment of coriander seeds with laser radiation. *Rural machine operator*. 2024. No 10. Pp. 41-43.
9. Krylov O. N. et al. Pre-sowing optical treatment of grain crops seeds on the example of winter rye "Falsenskaya 4". *Storage and processing of agricultural raw materials*. 2023. No 2. Pp. 214-230.
10. Strakhov V. Yu., Vendin S. V., Saenko Yu. V. Pre-sowing UV-treatment of soybean seeds: germination for vitamin feed. *Agricultural engineering*. 2023. V. 25. No 6. Pp. 46-52.
11. Starodubtseva G. P., Livinsky S. A., Lyubaya S. I. Substantiation of parameters of impact of pulsed electric field during pre-sowing treatment of winter wheat seeds. *Vestnik of the Stavropol region AIC*. 2017. No 2 (26). Pp. 44-48.
12. Kuznetsov V. I., Trutnev I. V. Development and research of the installation for pre-sowing stimulation of seeds with an alternating electric field of low frequency. *Pridneprovsky scientific bulletin*. 2024. Vol. 8. No 3. Pp. 50-53.
13. Statsyuk N. V. et al. The effect of pre-planting treatment with a pulsed low-frequency electric field on increasing the germination rate of botanical potato seeds (*Solanum tuberosum* L.). *Bulletin of the Oryol State Agrarian University*. 2015. No 3 (54). Pp. 53-58.
14. Petrov N. Yu. et al. Modes and parameters of complex pre-sowing treatment of sunflower seeds in an electric field and with the growth regulator Zerebra Agro. *Proceedings of the Nizhny Novgorod Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2021. No 2 (62). Pp. 379-389.

Информация об авторах

Аксенов Михаил Петрович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1619-655X>, e-mail: aksenovmp@mail.ru

Петров Николай Юрьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: technolog_16@mail.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, пр-т Университетский, 97).

Чернявский Алексей Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: alexei.tcherniawskij@yandex.ru

Горбачева Анна Семеновна, кандидат экономических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26).

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

Эвиев Валерий Андреевич, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова (Российская Федерация, 358000, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0329-2013>, e-mail: aviev@yandex.ru

Authors' Information

Aksenov Mihail Petrovich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskie Ave., 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1619-655X>, e-mail: aksenovmp@mail.ru

Petrov Nikolay Yuryevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: technolog_16@mail.ru

Petrov Yuri Nikolaevich, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Federal Research Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (FRC Agroecology RAS) (Russian Federation, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97).

Chernyavsky Aleksey Nikolaevich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskie Ave., 26), e-mail: alexei.tcherniawskij@yandex.ru

Gorbacheva Anna Semenovna, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26).

Salaev Badma Katonovich, Rector, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, 358000, Kalmykia, Elista, Pushkin Str., 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4968-1543>, e-mail: bk.salaev@mail.ru

Eviev Valery Andreevich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, 358000, Kalmykia, Elista, Pushkin Str., 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0329-2013>, e-mail: aviev@yandex.ru

THE ROLE OF THE SPRING BARLEY VARIETAL FEATURES IN THE "1000-GRAIN WEIGHT" TRAITS FORMATION IN THE LOWER VOLGA REGION CONDITIONS**Gaydamakina E. V., Yachmeneva E. V.***Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
Solonoe Zaymishche, Astrakhan region, Russia*

Corresponding author E-mail: gaidamakina71@mail.ru, rf.yz2009@mail.ru

Received 01.11.2025

Submitted 02.02.2026

The research was conducted within the framework of the state assignment FNMW-2025-0004 "To conduct a comprehensive study of the genetic resources of grain, industrial and oilseed crops, to identify sources of economically valuable traits for the creation of highly productive varieties of domestic breeding adapted to the arid conditions of the Northern Caspian region."

Summary

The varietal characteristics of barley reflect its genetic uniqueness and adaptability to specific conditions. As one of the oldest and most widespread grain crops, barley possesses remarkable plasticity and the ability to adapt to diverse environments. Its economic value is determined by a complex of traits that are influenced by genetic factors and environmental conditions. Understanding these processes allows breeders to create new varieties that meet the highest standards of agricultural production and the food industry.

Abstract

Introduction. The size and maturity of a grain reflect its ability to germinate and its potential productivity. The larger the grain, the more nutrients it contains, which are essential for the normal growth and development of the future plant. Therefore, the weight of 1,000 grains is a crucial factor that determines the yield of grain crops. Scientific research and data analysis were conducted at the Caspian Agricultural Research Center in the Astrakhan Region. The aim of the work was to identify promising spring barley varieties adapted to local conditions that are highly productive and resistant to the arid climate of the Lower Volga region. **The study used spring** barley samples from the VIR collection. **Materials and methods.** The study was conducted by determining the phenology of plant development, analyzing weather conditions during the spring barley growing season, and using structural analysis to determine the parameters of crop structure elements and their role in determining the overall yield. The variety trials were conducted under rainfed conditions without the use of mineral fertilizers. The variability of the studied traits was assessed on average over the period from 2022 to 2024. The study examined 20 varieties of spring barley of various geographical origins. **Results and conclusions.** According to the results of the studies, the following varieties were selected based on their high grain weight and yield: Bagrets, Kazak, Stepan, Izumrud, Sibirskiy Avangard, Medikum 176, Tonus, and Sasha. The grain weight of these varieties ranged from 39.8 to 47.2 g, and their yield ranged from 1.6 to 1.9 t/ha. These varieties are of interest to modern agriculture, as they combine adaptive properties and stable yields in the arid conditions of the Astrakhan region.

Keywords: spring barley, spring barley varieties, weight of 1,000 grains, drought resistance of spring barley, and yield of spring barley.

Citation. Gaidamakina E. V., Yachmeneva E. V. The role of the spring barley varietal features in the "1000-grain weight" traits formation in the Lower Volga region conditions. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 141-148 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-15.

Authors' contribution. All authors of the study were directly involved in the execution and analysis of this experiment. 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 633.16:631.527

РОЛЬ СОРТОВЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В ФОРМИРОВАНИИ ПРИЗНАКА «МАССА 1000 ЗЕРЕН» В УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ**Гайдамакина Е. В., кандидат сельскохозяйственных наук
Ячменёва Е. В., младший научный сотрудник***ФГБНУ Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН
с. Солоное Займище, Астраханская область, Российская Федерация*

Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания FNMW-2025-0004 "Провести комплексное изучение генетических ресурсов зерновых, технических и масличных культур, выделить источники хозяйственно ценных признаков для создания высокопродуктивных адаптированных к аридным условиям Северного Прикаспия сортов отечественной селекции".

Аннотация. Крупность и выполненность зерна отражает его способность к прорастанию и потенциальной продуктивности. В наиболее крупном зерне содержится больше питательных веществ, которые обеспечивают нормальный рост и развитие будущему растению. Поэтому масса

1000 зерен является определяющим признаком, от которого зависит урожайность зерновых культур. Научные исследования и анализ данных были проведены в Прикаспийском аграрном научном центре Астраханской области. **Целью** работы было выявление перспективных и приспособленных к местным условиям сортов ярового ячменя, отличающихся высокой продуктивностью и устойчивостью к засушливому климату Нижнего Поволжья. **В качестве объектов** исследования использовались образцы ярового ячменя из коллекции ВИР. **Материалы и методы.** Изучение проводилось путем определения фенологии развития растений, анализа данных погодных условий за вегетацию ярового ячменя, а также посредством применения структурного анализа, на основе которого были установлены параметры элементов структуры урожая и оценка их роли в формировании общей урожайности. Сортосовые испытания проводились в условиях богары, без внесения минеральных удобрений. Вариативность изучаемых признаков оценивалась в среднем за период с 2022 по 2024 годы. В ходе исследований было изучено 20 сортов ярового ячменя различного географического происхождения. **Результаты и выводы.** По результатам исследований были отобраны сортообразцы с высокими показателями массы 1000 зерен и урожайности: Багрец, Казак, Степан, Изумруд, Сибирский авангард, Медикум 176, Тонус, Саша. Масса 1000 зерен у этих образцов варьировала от 39,8 до 47,2 г, а урожайность составляла от 1,6 до 1,9 т/га. Указанные сорта представляют интерес для современного сельского хозяйства, так как сочетают в себе адаптивные свойства и стабильную урожайность в засушливых условиях Астраханской области.

Ключевые слова: яровой ячмень, сорта ярового ячменя, масса 1000 зерен, засухоустойчивость ярового ячменя, урожайность ярового ячменя.

Цитирование. Гайдамакина Е. В., Ячменева Е. В. Роль сортовых особенностей ярового ячменя в формировании признака «масса 1000 зерен» в условиях Нижнего Поволжья. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 141-148. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-15.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Ячмень яровой – это распространенная культура среди аграриев, которые ценят его за неприхотливость, быстрый рост и универсальность применения. Он прекрасно адаптируется к различным почвенно-климатическим условиям, что делает его надежным выбором для многих регионов [11, 12].

В современных условиях особую актуальность приобретают исследования, направленные на идентификацию и разработку адаптивных сортов, качество зерна, крупность и урожайность которых остаются стабильными в любых погодных условиях. Известно, что крупные и выполненные семена зерновых культур обычно наиболее устойчивы к неблагоприятным условиям окружающей среды, так как их запас питательных веществ позволяет им лучше приспособиться к негативному воздействию факторов среды, обеспечивая при этом достаточно высокие урожайные качества [1, 2, 4].

Продуктивность представляет собой сложный показатель, складывающийся из множества элементов структуры урожая, находящихся в тесной взаимосвязи, как между собой, так и с общим объемом зерна. Одним из ключевых элементов структуры урожая является масса 1000 зерен. Крупность зерна отражает его ценность для посева и использования в пищевой промышленности. Этот показатель зависит не только от условий окружающей среды, но и от генетических особенностей сорта, которые наилучшим образом проявляются при благоприятных условиях выращивания [5, 6, 8].

В связи с этим, селекция на крупность зерна является важным направлением в повышении продуктивности и адаптивности зерновых культур. Разработка сортов, способных формировать крупные зерна даже в стрессовых условиях, позволит стабилизировать урожайность и качество продукции, обеспечивая продовольственную безопасность. Это требует проведения многолетних испытаний с целью выявления генотипов, обладающих стабильной крупностью зерна и высокой урожайностью в засушливых условиях. Для достижения успеха в этом направлении необходимо комплексное изучение генетической природы этого признака, использование современных методов селекции и разработка оптимальных агротехнических приемов.

Таким образом, в экологическом изучении ярового ячменя признак массы 1000 зерен является важным для определения адаптационных возможностей сорта [3, 7, 9, 10].

Материалы и методы исследования. Изучение ярового ячменя проводилось в условиях богарного земледелия в соответствии с общепринятыми методиками, на опытных участках ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» в 2022-2024 годах, где преобладают светло-каштановые почвы.

Объектами исследований служили 20 образцов ярового ячменя отечественной селекции (таблица 1).

Настоящее исследование направлено на выявление сортов ярового ячменя, демонстрирующих устойчивость к климатическим условиям Нижнего Поволжья, путем изучения наиболее важного признака – массы 1000 зерен, а также дальнейшее использование выделенных образцов в сельскохозяйственном производстве.

Для осуществления поставленной цели необходимо решение следующих задач: изучение веса 1000 зерен у разных сортов ярового ячменя при возделывании без полива, выявление сортов с наиболее устойчивыми значениями крупности зерна и анализ влияния метеоусловий периода вегетации на формирование данного признака.

Таблица 1 – Сортообразцы коллекционного питомника ярового ячменя, ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», 2022-2024 гг.

Table 1 – Varieties of the spring barley collection nursery, PAFSC RAS, 2022-2024

№		Название / Title	Происхождение / Origin
1	30958	Тонус / Tonus	Ростовская область / Rostov region
2	30970	Княжич / Knayzhich	Белгородская область / Belgorod region
3	30980	Илек 1 / Ilek 1	Казахстан / Kazakhstan
4	30984	Биом / Biom	Новосибирская область / Novosibirsk region
5	30986	Ястреб / Yastreb	Самарская область / Samara region
6	30987	Сибиряк / Sibiryak	Кемеровская область / Kemerovo region
7	30988	Багрец / Bagrets	Свердловская область / Sverdlovsk region
8	31078	Купец / Kupets	Кировская область / Kirov region
9	31100	Зауральский 1 / Zauralsky 1	Тюменская область / Tyumen region
10	31109	Ворсинский 2 / Vorsinsky 2	Алтайский край / Altai Territory
11	31110	Саша / Sasha	Омская область / Omsk region
12	31117	Степан / Stepan	Челябинская область / Chelyabinsk region
13	31124	Асем / Asem	Казахстан / Kazakhstan
14	31140	Медикум 176 / Medicum 176	Казахстан / Kazakhstan
15	31142	Сибирский авангард / SibirskiiAvangard	Омская область / Omsk region
16	31177	Казак / Kazak	Самарская область / Samara region
17	31179	Radegast	Чехия / Czech
18	31183	Malz	Чехия / Czech
19	31370	Карабалыкский 110 / Karabalyksky 110	Казахстан / Kazakhstan
20	29340	Карагандинский 4 / Karagandinsky 4	Казахстан / Kazakhstan

Площадь каждой делянки с изучаемым образцом в коллекционном питомнике равна 2 м², междурядья – 0,3 м.

Размещение делянок в эксперименте было систематическим. Посев осуществлялся ручным способом с плотностью 400 шт./м².

В качестве стандарта использовался сорт ярового ячменя Ратник, адаптированный к условиям Нижнего Поволжья и рекомендованный для выращивания в этом регионе.

Результаты исследований. Наблюдения, проведенные в период с 2022 по 2024 год, показали существенные различия в погодных условиях между отдельными годами.

В 2022 году погодные условия периода вегетации ярового ячменя можно назвать благоприятными для возделывания этой культуры. В период кущения и интенсивного роста выпало достаточное количество осадков (за весенние месяцы 69,0 мм).

Основным показателем, определяющим, насколько были благоприятны сложившиеся климатические условия 2022 года исследований, являлся гидротермический коэффициент (ГТК). Согласно этому показателю, ГТК за период вегетации яровых зерновых культур составил 0,5, что характеризует этот период, как умеренно засушливый (таблица 2).

Таблица 2 – Метеорологические условия вегетационного периода ярового ячменя, 2022 г.
Table 2 – Meteorological conditions of the spring barley growing season, 2022

Месяцы / Months	Среднесуточ- ная темпера- тура воздуха, °C / Average daily air temperature, °C	Количество осадков, мм / Amount of precipita- tion, mm	Относитель- ная влажность воздуха, % / Relative humidity of the air, %	Сумма активных температур, °C / The sum of active temperatures, °C	Скорость ветра, м/сек / Wind speed, m/sec	ГТК / Annual thermal coefficient
Апрель / April	12,9	11,1	64	338,5	16-18	0,5
Май / May	14,7	57,9	55	447,0	14-16	
Июнь / June	24,3	4,7	38	729,1	8-10	
Июль / July	23,8	12,9	45	308,9	6-8	
За весь период / For the entire period	18,9	86,6	51	1824	13-15	

Погодные условия в 2023 году стали одним из ключевых факторов, обеспечивших высокую урожайность ярового ячменя. Оптимальное сочетание температуры и влажности создало благоприятную среду для роста и развития растений, что привело к увеличению биомассы и улучшению качества зерна. Весенне-летний период исследований характеризовался оптимальной температурой и достаточным количеством выпавших осадков (150,1 мм).

Согласно ГТК (0,6) вегетационный период ярового ячменя в 2023 году можно охарактеризовать как умеренно сухой (таблица 3).

Таблица 3 – Метеорологические условия вегетационного периода ярового ячменя, 2023 г.
Table 3 – Meteorological conditions of the spring barley growing season, 2023

Месяцы / Months	Среднесуточ- ная темпера- тура воздуха, °C / Average daily air temperature, °C	Количество осадков, мм / Amount of precipita- tion, mm	Относительная влажность воздуха, % / Relative Humidity of the air, %	Сумма активных температур, °C / The sum of active tempera- tures, °C	Скорость ветра, м/сек / Wind speed, m/sec	ГТК / Annual thermal coefficient
Март / March (с 23.03)	10,7	16,8	70	97,0	5-9	0,6
Апрель / April	12,6	22,6	59	344,3	12-20	
Май / May	17,7	62,1	64	507,4	10-12	
Июнь / June	22,7	39,7	51	675,2	10-16	
Июль / July	25,9	8,9	46	852,8	12-18	
За весь период / For the entire period	17,9	150,1	58	2476	10-15	

В отличие от предыдущих годов исследования 2024 год отличался крайне малым количеством выпавших осадков. Всего за весенние месяцы выпало 2 мм, что негативно сказалось на процессе кущения ярового ячменя. Несмотря на это, за счет оптимальной температуры и значительного запаса продуктивной влаги в почве (186,8 мм – на глубине до 1 м), растения смогли продолжать свой рост и развитие. Общее количество осадков за период вегетации составило 27,4 мм. Гидротермический коэффициент (ГТК) для ярового ячменя в этот период составил 0,1, что указывает на острую засушливость (таблица 4).

Таблица 4 – Метеорологические условия вегетационного периода ярового ячменя, 2024 г.
Table 4 – Meteorological conditions of the spring barley growing season, 2024

Месяцы / Months	Среднесуточная температура воздуха, °C / Average daily air temperature, °C	Количество осадков, мм / Amount of precipitation, mm	Относительная влажность воздуха, % / Relative humidity of the air, %	Сумма активных температур, °C / The sum of active tem- peratures, °C	Скорость ветра, м/сек / Wind speed, m/sec	ГТК / Annual thermal coefficient
Март / March (с 23.03)	10,7	16,3	64	102,0	7-3	0,1
Апрель / April	16,3	0,6	58	480,2	11-17	
Май / May	16,0	1,4	40	479,5	16-18	
Июнь / June	24,9	9,1	49	748,0	10-16	
Июль / July	28,6	-	33	572,3	12-18	
Завесь период / For the entire period	19,3	27,4	48	2381,7	11-14	

В засушливых условиях о засухоустойчивости зерновых культур судят по уменьшению массы зерен в фазу налива зерна. Среди образцов с высокой массой 1000 зерен, наиболее устойчивыми к засухе считаются те, у которых показатели этого признака имели меньшую вариабельность по годам.

Нами были выделены несколько сортообразцов ярового ячменя наиболее засухоустойчивых по признаку «масса 1000 зерен».

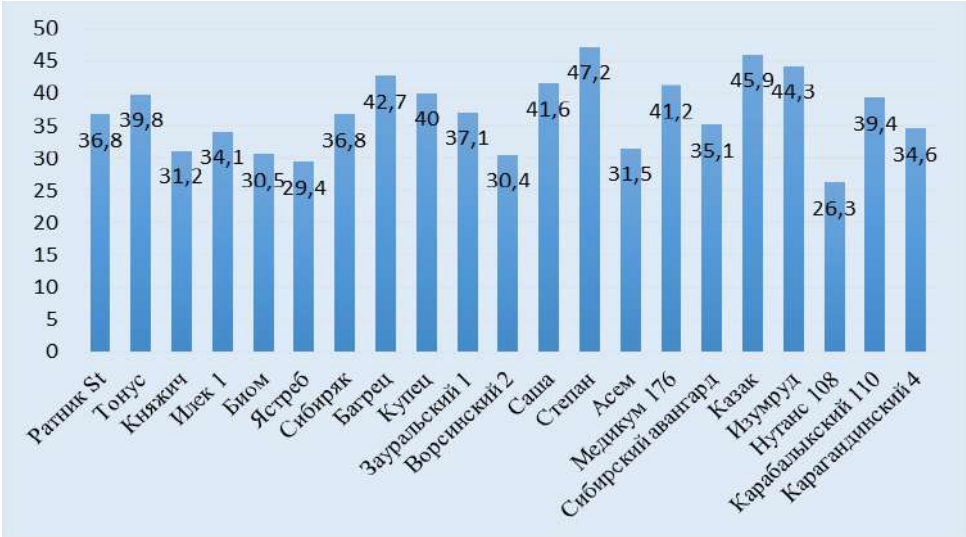


Рисунок 1 – Масса 1000 зерен ярового ячменя (2022-2024 гг.)
Figure 1 – Weight of 1,000 grains of spring barley (2022-2024)

Масса 1000 зерен является ключевым фактором, формирующим урожай и отражающим зерновые качества, и влияющим в итоге на продуктивность. Этот показатель – наиболее стабильный генетический элемент урожайности, который характеризует сорт.

Для анализа адаптивности различных сортов ярового ячменя, основываясь на показателе массы 1000 зерен, нами было отобрано 8 сортов из разных географических регионов. Эти сорта, в течение всего периода исследований с 2022 по 2024 годы, показали наилучшие результаты по данному признаку в засушливых условиях Астраханской области.

В среднем за три года наблюдений вес 1000 зерен у исследуемых образцов колебался в пределах от 26,3 до 47,2 г. Наивысшие значения массы 1000 зерен были зафиксированы у сортов российской селекции: сорт Степан (Челябинская область) достиг 47,2 г, а сорт Казак (Самарская область) – 45,9 г. Значения выше среднего по опыту (36,8 г) продемонстрировали также сорта Тонус (Ростовская область) – 39,8 г, Зауральский 1 (Тюменская область) – 37,1 г, Саша (Омская область) – 41,6 г, Медикум 176 (Казахстан) – 41,2 г и Карабалыкский 110 (Казахстан) – 39,4 г. Сорт Изумруд (Кировская область) показал результат в 44,3 г. У стандартного сорта Ратник среднее значение изучаемого показателя составило 36,8 г.

В засушливый весенне-летний период 2024 года, который совпал с фазой налива зерна, средний вес 1000 зерен в исследуемой коллекции ячменя составил 29,3 г. В более благоприятные 2022 и 2023 годы, с более подходящими условиями, масса 1000 зерен составила 45,4 и 44,5 г соответственно, демонстрируя незначительные различия между этими годами.

Главной целью любого агротехнического мероприятия является повышение урожайности. В связи с этим, основным критерием оценки образцов являлась урожайность, рассчитываемая как масса зерна, собранного с квадратного метра. Этот показатель отражает суммарную продуктивность колоса, растения и всей популяции в целом. Важно отметить, что в годы с разными климатическими условиями различные факторы могут играть решающую роль. Зачастую, увеличение одного из компонентов, влияющих на продуктивность, приводит к снижению других, что в конечном итоге мало влияет на общую урожайность.

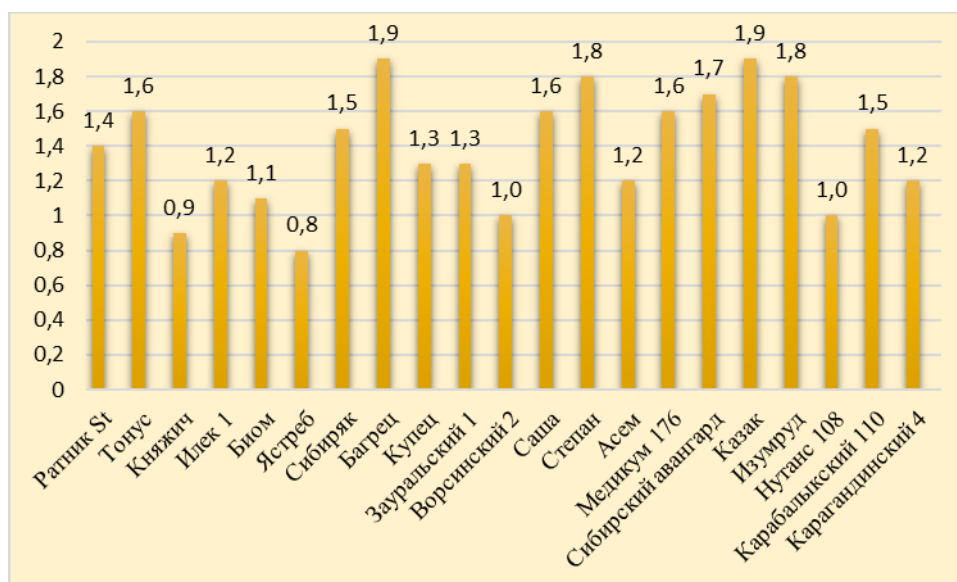


Рисунок 2 – Урожайность ярового ячменя (2022-2024 гг.)
Figure 2 – Yield of spring barley (2022-2024)

По результатам трехлетних исследований нами выделены образцы, превосходящие стандартный сорт Ратник по урожайности (рисунок 2). Это такие сортообразцы как Багрец, Казак, Степан, Изумруд, Сибирский авангард, Медикум 176, Тонус и Саша, урожайность которых составила 1,6-1,9 т/га.

Закключение. Таким образом, формирование признака массы 1000 зерен ярового ячменя, возделываемого при богарном земледелии в данном регионе, зависело от условий года. Вместе с тем, нельзя исключать влияние наследственных особенностей сорта на крупность зерна и его адаптивные способности. В результате анализа экспериментальных данных были выделены образцы: Степан, Казак, Тонус, Зауральский 1, Саша, Медикум 176, Изумруд, Багрец. Выделенные сорта, обладающие стабильной крупностью зерна, являются ценным генетическим ресурсом для дальнейшего улучшения данной культуры и обеспечения продовольственной независимости в регионе.

Conclusion. Thus, the formation of the mass of 1,000 grains of spring barley cultivated under rain-fed agriculture in this region depended on the conditions of the year. However, the influence of the hereditary characteristics of the variety on the size of the grain and its adaptive abilities cannot be excluded. As a result of the analysis of the experimental data, the following samples were selected:

Stepan, Kazak, Tonus, Zaural'skiy 1, Sasha, Medikum 176, Izumrud, and Bagrets. Selected varieties with stable grain size are a valuable genetic resource for further improving this crop and ensuring food independence in the region.

Библиографический список

1. Беляков А. М. Система сортоиспытания как фактор обеспечения роста продуктивности сельскохозяйственных культур. Научно-агрономический журнал. 2020. № 1 (108). С. 31-34.
2. Блохин В. И., Никифорова И. Ю., Ганиева И. С., Ланочкина М. А., Малафеев Ю. В. Анализ адаптивного потенциала сортов и линий ярового ячменя по признаку «масса 1000 зерен». Зернобобовые и крупяные культуры. 2022. № 4(44). С. 163-172.
3. Голова Т. Г., Ершова Л. А., Кузьменко С. А. Формирование продуктивности ярового ячменя в стрессовых условиях. Зернобобовые и крупяные культуры. 2022. № 2(42). С. 98-105.
4. Долженко Д. О., Шевченко С. Н. Поиск критериев отбора в селекционном процессе ярового ячменя в различные по влагообеспеченности годы. Нива Поволжья. 2020. № 4 (57). С. 16-24.
5. Левакова О. В., Сокол В. Ю. Сравнительная характеристика урожайности и элементов продуктивности новых сортов ячменя ярового в условиях Рязанской области. Зернобобовые и крупяные культуры. 2024. № 4(52). С. 189-196.
6. Левакова О. В. Хозяйственно ценные признаки и селекционные индексы сортов ячменя разного эколого-географического происхождения в условиях Рязанской области. Аграрный научный журнал. 2023. № 7. С. 22-27.
7. Митрофанов Д. В., Ткачёва Т. А. Воздействие агрометеорологических условий, минеральных удобрений, предшественников и влажности почвы на урожайность зерна ярового ячменя в степной зоне Южного Урала. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 4 (64). С. 84-97.
8. Морозов Н. А., Самсонов И. В., Панкратов Н. А. Оценка адаптивности ярового ячменя по признаку «масса 1000 зерен» к засушливым условиям Ставропольского. Зерновое хозяйство России. 2020. Т. 14. № 4. С. 16-21.
9. Тютюма Н. В., Туманян А. Ф. Зерновые культуры Нижнего Поволжья. Астрахань, 2020. 217 с.
10. Фёдорова В. А., Наумова Н. А., Ячменёва Е. В., Тарасенкова Ю. П. Оценка адаптационных возможностей сортообразцов яровых зерновых культур в аридных условиях Астраханской области. Аграрный научный журнал. 2019. № 9. С. 25-30.
11. Baik B. B., Ulrich S. E. Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest. Journal of Cereal Science. 2008. No 48. Pp. 233-242.
12. Dahleen L., Franckowiak J. D., Lundqvist U. Descriptions of barley genetic stocks for 2007. Barley Genetic Newsletter. 2007. V.37. Pp.154-187.

References

1. Belyakov A. M., Variety Testing System as a Factor in Ensuring the Growth of Crop Productivity. Scientific and Agronomic Journal. 2020. No 1 (108). Pp. 31-34.
2. Blokhin V. I., Nikiforova I. Yu., Ganieva I. S., Lanochkina M. A., Malafeev Yu. V. Analysis of the adaptive potential of spring barley varieties and lines based on the mass of 1,000 grains. Legumes and Cereals. 2022. No 4(44). Pp. 163-172.
3. Golova T. G., Ershova L. A., Kuzmenko S. A. Formation of Productivity of Spring Barley under Stress Conditions. Legumes and Cereals. 2022. No 2(42). Pp. 98-105.
4. Dolzhenko D. O., Shevchenko S. N. Search for selection criteria in the breeding process of spring barley in years with different moisture availability. Niva Povolzhya. 2020. No 4 (57). Pp. 16-24.
5. Levakova O. V., Sokol V. Yu. Comparative characteristics of yield and productivity elements of new spring barley varieties in the conditions of the Ryazan Region. Grain Legumes and Cereals. 2024. No 4(52). Pp. 189-196.
6. Levakova O. V. Economic valuable features and breeding indices of barley varieties of different ecological and geographical origin in the conditions of the Ryazan region. Agrarian Scientific Journal. 2023. No 7. Pp. 22-27.
7. Mitrofanov D. V., Tkacheva T. A. The effect of agrometeorological conditions, mineral fertilizers, predecessors, and soil moisture on the grain yield of spring barley in the steppe zone of the Southern Urals. Proceedings of the Lower Volga Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2021. No 4 (64). Pp. 84-97.
8. Morozov N. A., Samsonov I. V., Pankratov N. A. Assessment of the adaptability of spring barley by the trait "mass of 1000 grains" to the arid conditions of the Stavropol Territory. Grain Economy of Russia. 2020. V. 14. No 4. Pp. 16-21.
9. Tyutyuma N. V., Tumanian A. F. Grain Crops of the Lower Volga Region. Astrakhan. 2020. 217 p.
10. Fedorova V. A., Naumova N. A., Yachmeneva E. V., Tarasenkova Yu. P. Assessment of the adaptive capabilities of spring grain crop varieties in the arid conditions of the Astrakhan region. Agrarian Scientific Journal. 2019. No 9. Pp. 25-30.
11. Baik B. B., Ulrich S. E. Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest. Journal of Cereal Science. 2008. No 48. Pp. 233-242.
12. Dahleen L., Franckowiak J. D., Lundqvist U. Descriptions of barley genetic stocks for 2007. Barley Genetic Newsletter. 2007. V.37. Pp.154-187.

Информация об авторах

Гайдакина Евгения Валентиновна, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН» (Российская Федерация, 416251, Астраханская область, Черноярский район, с. Солёное Займище, квартал Северный, 8), e-mail: gaidamkina71@mail.ru

Ячменева Екатерина Васильевна, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН» (Российская Федерация, 416251, Астраханская область, Черноярский район, с. Солёное Займище, квартал Северный, 8), e-mail: rfn.yz2009@mail.ru

Authors' Information

Gaidamakina Evgeniya Valentinovna, Candidate of Agricultural Sciences, Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 416251, Astrakhan Region, Chernoyarsky District, Solenoye Zaimishche, Severny Quarter, 8), e-mail: gaidamakina71@mail.ru

Yachmeneva Ekaterina Vasilievna, Junior Researcher, Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 416251, Astrakhan Region, Chernoyarsky District, Solenoye Zaimishche, Severny Quarter, 8), e-mail: rfn.yz2009@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-16

THE BRASSINOLIDE EFFECT ON THE POTATO MICRO PLANTS PARAMETERS OF GROWTH AND TUBER FORMATION IN VITRO CONDITIONS¹Gichenkova O. G., ¹Malikova P. S., ²Laptina Yu. A.¹Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation²Federal Research Center "Nemchinovka"
Odintsovo, Moscow region, Russian Federation

Corresponding author E-mail: polina_aleksashenkova@mail.ru

Received 11.02.2026

Submitted 26.03.2026

article presents the results of the effect of synthetic brassinosteroid brassinolide in combination with other phytohormones from the group of auxins (IAA), and cytokinins (kinetin) on the morphological parameters and the process of tuber formation in explants of Indigo potato variety under in vitro conditions.

Abstract

Introduction. The search for effective methods to optimize the production of original potato seeds is a priority task at the present time and for the near future, aimed at reducing the consumption of material, labor and energy resources, especially at the stage of obtaining the first tuberous offspring. Despite a number of advantages, the method of obtaining mini-tubers from microplants is a rather expensive technology, which significantly reduces the possibility of its implementation. For this reason, research aimed at finding productive and economically advantageous methods for obtaining the first tuberous offspring is becoming increasingly important in the original potato seed production system. **An object.** Micro plants of the middle early indigo variety and synthetic phytohormones: IUK, kinetin, and brassinolide. **Materials and methods.** The study was conducted in the laboratory of agricultural Biotechnology of Volgograd State Agrarian University using a climate chamber for growing Spektr-0.8, KR. Sterilized potato explants were placed on Murisige-Skuga agar culture medium according to 4 schemes: 1. Control – 0.25 mg/l of kinetin, 1 mg/l of IUK; 2. Modification 1 – 0.25 mg/l of brassinolide, 1 mg/l of IUK; 3. Modification 2 – 0.25 mg/l of brassinolide, 0.25 mg/l of kinetin; 4. Modification 3 – 0.25 mg/l of brassinolide, 1 mg/l of IUK, 0.25 mg/l of kinetin. **Results and discussions.** The combination of the synthetic hormone brassinolide with IUK increased the growth-stimulating effect of potato micro plants by 2.06-4.5 cm compared with other samples due to the elongation of the internodes. The highest microtubule yield (1.8 per plant) was achieved using a variant containing three phytohormones (brassinolide, kinetin, and IUK). The combination of kinetin and brassinolide suppressed vegetative development and tuber formation in indigo potato micro plants.

Keywords: potatoes, potato microplants, phytohormones, brassinosteroids, potato microtubers, potato seed production.

Citation. Gichenkova O. G., Malikova P. S., Laptina Yu. A. The brassinolide effect on the potato micro plants parameters of growth and tuber formation in vitro conditions. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 148-157 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-16.

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 final version presented.

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

УДК 635.21:631.811.98

ВЛИЯНИЕ БРАССИНОЛИДА НА ПАРАМЕТРЫ РОСТА И КЛУБНЕОБРАЗОВАНИЯ МИКРОРАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ В УСЛОВИЯХ IN VITRO¹Гиченкова О. Г., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент¹Маликова П. С., аспирант²Лаптина Ю. А., доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

²Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»

г. Одинцово, Московская область, Российская Федерация

Резюме. В статье представлены результаты влияния синтетического брассинастероида брассинолида в сочетании с другими фитогормонами из группы ауксинов (ИУК), и цитокининов (кинетин) на морфологические параметры и процесс клубнеобразования у эксплантов картофеля сорта Индиго в условиях in vitro.

Актуальность. Поиск эффективных методов оптимизации оригинального семеноводства картофеля в настоящее время и на ближайшую перспективу является первоочередной задачей, направленной на снижение потребления материальных, трудовых и энергетических ресурсов, особенно на этапе получения первого клубневого потомства. Несмотря на ряд определенных плюсов, метод производства мини-клубней из микрорастений является достаточно дорогостоящей технологией, что существенно снижает возможности ее внедрения. По этой причине в системе оригинального семеноводства картофеля все большую актуальность приобретают исследования, направленные на поиск производительных и экономически целесообразных способов получения первого клубневого потомства. **Объект.** Микрорастения среднераннего сорта Индиго и синтетические фитогормоны: ИУК, кинетин и брассинолид. **Материалы и методы.** Исследования проводились в лаборатории биотехнологий сельскохозяйственных культур Волгоградского государственного аграрного университета с использованием климатической камеры роста «Спектр-0,8 КР». Стерилизованные экспланты картофеля помещались на агаризованную питательную среду Мурисиге-Скуга по 4 схемам: 1. Контроль – 0,25 мг/л кинетин, 1 мг/л ИУК; 2. Модификация 1 – 0,25 мг/л брассинолид, 1 мг/л ИУК; 3. Модификация 2 – 0,25 мг/л брассинолид, 0,25 мг/л кинетин; 4. Модификация 3 – 0,25 мг/л брассинолид, 1 мг/л ИУК, 0,25 мг/л кинетин. **Результаты и обсуждения.** Сочетание синтетического гормона брассинолида с ИУК способствовало повышению ростостимулирующего эффекта у микрорастений картофеля на 2,06-4,5 см в сравнении с другими образцами за счет растяжения междоузлий. Наивысшая урожайность микроклубней (1,8 шт с растения) была достигнута на варианте с тремя фитогормонами (брассинолид, кинетин и ИУК). Комбинация кинетина с брассинолидом ингибировала вегетативное развитие и процесс клубнеобразования у микрорастений картофеля сорта Индиго.

Ключевые слова: картофель, микрорастения картофеля, фитогормоны, брассиностероиды, микроклубни картофеля, семеноводство картофеля.

Цитирование. Гиченкова О. Г., Маликова П. С., Лаптина Ю. А. Влияние брассинолида на параметры роста и клубнеобразования микрорастений картофеля в условиях *in vitro*. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 148-157. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-16.

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. Повышение эффективности производства оригинального семенного картофеля имеет стратегическое значение для обеспечения продовольственной безопасности страны. Картофель является одной из ключевых культур, а его урожайность и качество напрямую зависят от использования высококачественного, оздоровленного семенного материала. Технология микроклонального размножения *in vitro* служит основой современного семеноводства, позволяя получать безвирусные растения и быстро размножать ценные генотипы. В этой связи оптимизация наиболее затратного этапа – получения первого клубневого потомства *in vitro* – приобретает особую важность, так как ведет к удешевлению всей цепочки производства элитных семян, повышению ее доступности для сельхозпроизводителей и, как следствие, к увеличению валового производства продовольственного картофеля.

Преимущество использования микроклубней заключается в облегчении хранения коллекционных образцов и их транспортировки. Кроме того, они могут быть использованы для увеличения объема размножаемого материала в периоды между сезонами. Данный метод также подходит для непосредственной высадки как в защищенном, так и в открытом грунте.

Одним из эффективных инструментов для повышения продуктивности растений и усиления клубнеобразования могут служить фитогормоны. В технологии производства первого клубневого потомства перспективно применение регуляторов роста, обладающих антистрессовой и иммунопротекторной активностью. К таким регуляторам роста относится синтетический брассиностероид – брассинолид. Известно, что физиологические эффекты брассиностероидов отличаются высокой вариабельностью и характеризуются видоспецифичностью. Они способны стимулировать рост и развитие растений в процессе онтогенеза, что оказывает положительное влияние на урожайность и устойчивость растений к патогенам.

В растениях брассиностероиды участвуют в таких процессах как прорастание семян, фотоморфогенез, фотосинтез, деление и удлинение клеток, а также в плодоношении [5]. Кроме того, доказано, что фитогормоны из этой группы способны защищать растения от ряда абиотических и биотических стресс-факторов [1, 2, 6, 8, 9].

Действие экзогенного brassinosterоида (24-эпибрассинолид) нивелировало негативное воздействие солевого стресса на растениях рапса, поддерживая их фотосинтетическую активность и параметры роста, дополнительно повышая содержание каротиноидов [3]. В работе [7] была продемонстрирована способность 24-эпибрассинолида увеличивать количество завязей и плодов на растениях перца, что привело к увеличению урожайности культуры без негативного влияния на форму и размер ягоды. На клубнике brassinosterоид способствовал увеличению облиственности и содержания хлорофилла, в 1,5 раза увеличил вес плодов и на 10 % товарное качество продукции [4].

Доказано положительное влияние экзогенного гормона из группы brassinosterоидов на картофель, культивируемый в условиях *ex vitro*: у растений возрастала способность регулировать клеточный ионный гомеостаз в условиях засоления, повышению антиоксидантной активности [11]. В других исследованиях отмечалось более раннее вступление в фазу клубнеобразования у растений картофеля, обработанных 24-эпикастастероном (кетонсодержащий brassinosterоид), а также наиболее активное формирование крупных клубней [10]. В культуре *in vitro* выявили высокую ростостимулирующую активность стероидных фитогормонов у представителей орхидных: было отмечено, что brassinosterоиды не изменяли качество материала, а влияли главным образом на скорость ростовых процессов [12].

Однако данных о воздействии brassinosterоидов на микрорастения картофеля в условиях *in vitro* недостаточно, поэтому цель научно-исследовательской работы – изучение влияния синтетического фитогормона брассинолида на морфологические параметры и процесс клубнеобразования у эксплантов картофеля в условиях *in vitro*.

В процессе проведения эксперимента были поставлены задачи, позволяющие:

1. Установить воздействие брассинолида на вегетативное развитие микрорастений картофеля.
2. Определить влияние синтетического гормона на процесс клубнеобразования в условиях *in vitro*.
3. Провести сравнительный анализ реакции микрорастений картофеля сорта Индиго *in vitro* на действие различных комбинаций фитогормонов: брассинолида, ауксина (ИУК) и цитокинина (кинетин).
4. Количественно оценить влияние исследуемых гормональных модификаций на ключевые параметры вегетативного развития и репродуктивного процесса.
5. Установить характер взаимодействия (синергизм/антагонизм) между брассинолидом, ИУК и кинетином в регуляции ростовых процессов.
6. На основании полученных данных разработать и предложить гормональную композицию питательной среды для оптимизации этапа получения первого клубневого потомства в системе микроклонального размножения картофеля.

Материал и методы. Исследования проводились на базе лаборатории биотехнологии сельскохозяйственных культур Волгоградского государственного аграрного университета. Для проведения работы был выбран среднеранний сорт картофеля Индиго. В стерильную культуру на агаризованную среду Мурисиге-Скуга (MS) экспланты помещались по 4 схемам:

1. Контроль – 100 мг/л мезоинозита, 1,0 мг/л тиаминa, 0,5 мг/л пиридоксина, 0,5 мг/л никотиновой кислоты, 3 % сахарозы, **0,25 мг/л кинетин, 1 мг/л ИУК.**
2. Модификация 1 – 100 мг/л мезоинозита, 1,0 мг/л тиаминa, 0,5 мг/л пиридоксина, 0,5 мг/л никотиновой кислоты, 3 % сахарозы, **0,25 мг/л брассинолид, 1 мг/л ИУК.**
3. Модификация 2 – 100 мг/л мезоинозита, 1,0 мг/л тиаминa, 0,5 мг/л пиридоксина, 0,5 мг/л никотиновой кислоты, 3 % сахарозы, **0,25 мг/л брассинолид, 0,25 мг/л кинетин.**
4. Модификация 3 – 100 мг/л мезоинозита, 1,0 мг/л тиаминa, 0,5 мг/л пиридоксина, 0,5 мг/л никотиновой кислоты, 3 % сахарозы, **0,25 мг/л брассинолид, 1 мг/л ИУК, 0,25 мг/л кинетин.**

Затем пробирки с эксплантами помещались в климатическую камеру роста «Спектр-0,8 КР» с температурным режимом 21-24 °С, с освещенностью 128 мкмоль/м²/с с фотопериодом 16 ч (интеграл дневного освещения – 7,3 мкмоль/м²/16 ч). С 21 дня световой режим сокращался до 12 ч для стимуляции растений к процессу клубнеобразования (интеграл дневного освещения – 5,5 мкмоль/м²/12ч).



Рисунок 1 – Климатическая камера роста «Спектр-0,8 КР»
Figure 1 – «Spectr-0.8 KR» climate growth chamber

Опыт однофакторный, повторность трехкратная, количество образцов в каждом повторении 20 шт.

На 50-е сутки культивирования растения извлекались из пробирок, и проводился учет урожайности.

Результаты и обсуждения. На каждый 10 день культивирования опыта проводилось измерение линейного роста микрорастений (таблица 1).

Таблица 1 – Линейный рост растений in vitro на субстратах разной гормональной модификации, см
Table 1 – Linear growth of plants in vitro on substrates of different hormonal modifications, cm

Вариант/ Повторность / Option/Repetition	10 день / day 10	20 день / day 20	30 день / day 30	40 день / day 40	50 день / day 50
Контроль / Control	0,47	1,00	1,60	2,40	2,90
Модификация 1 / Modification 1	0,77	1,93	4,03	5,96	5,97
Модификация 2 / Modification 2	0,43	0,83	1,23	1,47	1,57
Модификация 3 / Modification 3	0,63	1,70	3,00	3,90	3,93
НСР _{05, см / см}	0,13	0,2	0,18	0,17	0,18

Анализ динамики линейного роста микрорастений картофеля сорта «Индиго» в зависимости от гормонального состава питательной среды выявил существенные различия в скорости и интенсивности вегетативного развития между изучаемыми вариантами.

Наиболее выраженный ростостимулирующий эффект наблюдался на варианте Модификация 1, где растения к 50-му дню культивирования достигли средней высоты 6,0 см, что более чем в 2 раза превысило показатель контроля, при этом активный рост на этом варианте продолжался вплоть до 40-х суток.

На варианте с применением брассинолид + ИУК + кинетин также отмечалась значительная стимуляция роста, до 3,9 см к 50-му дню, однако её характер отличался. После 30-го дня темпы прироста существенно снизились, что указывает на более сбалансированное развитие.

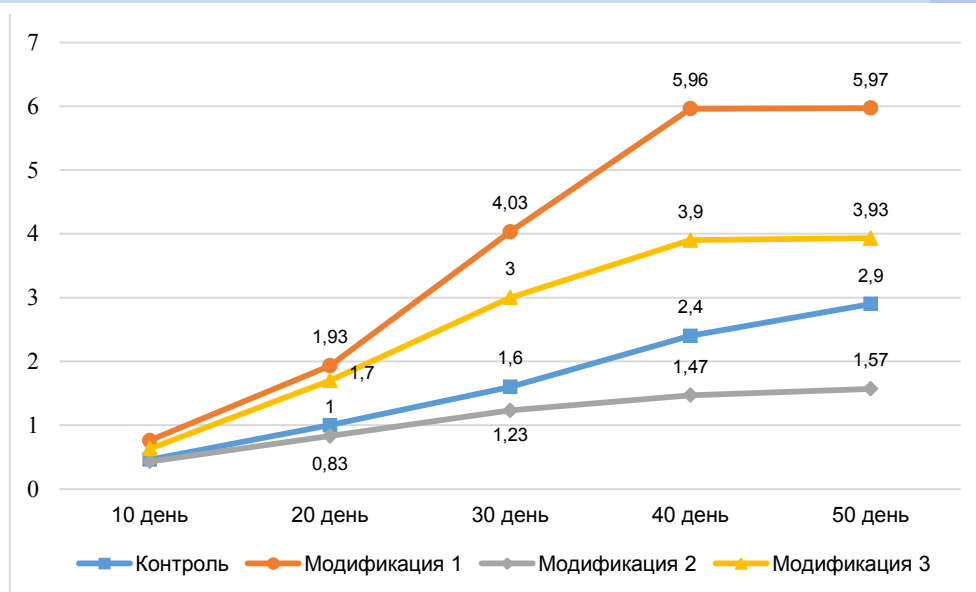


Рисунок 2 – График формирования вегетативной части у микрорастений картофеля, см
Figure 2 – Graph of the formation of the vegetative part of potato micro plants, cm

Крайне показательной является динамика на варианте Модификация 2 с применением брассинолида + кинетина. Если в первые 20 суток различия с контролем были статистически незначимы, то в последующий период роста практически полностью ингибировался, и к концу эксперимента растения не превышали 1,6 см, что свидетельствует о прогрессирующем угнетении вегетативного развития при сочетании брассинолида с цитокинином в отсутствие ауксина.

На вариантах, где в состав среды входили и брассинолид и ИУК, наблюдалось более активное вегетативное развитие: уже на 10-й день растения были выше на 0,17-0,33 см в сравнении с другими двумя модификациями. Однако на 40-й день выращивания рост вегетативной части замедлялся, достигнув своего пика, по средним данным, в 4 см на Модификации 3 и в 6 см на Модификации 1.

Сочетание синтетического фитогормона брассинолида с растительным гормоном из группы цитокининов кинетином не способствовало формированию побега: с 10-го по 50-й день культивирования линейный рост увеличился лишь на 1,1-1,2 см, что на 1,1-3,7 см меньше других вариантов опыта.

Таким образом, наличие в среде ауксина являлось критическим фактором для реализации ростостимулирующего потенциала брассинолида. Максимальная высота растений была достигнута при их парной комбинации, а добавление кинетина способствовало более ранней стабилизации ростовых процессов.

Таблица 2 – Влияние субстратов разной гормональной модификации на вытяжение междоузлий у микрорастений, см

Table 2 – Effect of substrates with different hormonal modifications on the elongation of internodes in micro plants, cm

Вариант / Option	1-2 листа / leaf 1-2	2-3 листа / leaf 2-3	3-4 листа / leaf 3-4	4-5 листьев / leaf 4-5	5-6 листьев / leaf 5-6	6-7 листьев / leaf 6-7
Контроль / Control	0,23	0,37	0,53	0,63	0,57	0,63
Модификация 1 / Modification 1	0,53	0,63	1,60	1,57	0,83	0,77
Модификация 2 / Modification 2	0,17	0,17	0,20	0,23	0,23	0,17
Модификация 3 / Modification 3	0,47	0,63	0,93	0,90	0,43	0,47
НСР _{05, см / cm}	0,07	0,12	0,18	0,13	0,12	0,12

Анализ влияния изучаемых гормональных модификаций на развитие междоузлий у микрорастений картофеля (таблица 2, рисунок 3) показал, что наиболее выраженное растяжение междоузлий наблюдалось на варианте Модификация 1 (брассинолид + ИУК). Статистически значимое превышение над контролем было отмечено уже между 1-2 листьями, но максимальная разница зафиксирована между 3-4 и 4-5 листьями, где длина междоузлий достигала 1,6 см, что в 2,5-3 раза больше, чем на контроле. Именно за счет этой зоны интенсивного растяжения и обеспечивалась общая высота растений данного варианта. К верхним узлам темпы растяжения снижались, приближаясь к контрольным значениям, что коррелирует со стабилизацией линейного роста к 40-му дню (таблица 1). При детальном изучении развития междоузлий, у образцов, выращиваемых на субстрате с гормональной Модификацией 1, наблюдалось удлинение междоузлий, особенно между 3 и 4, 5 и 6 листьями. При этом количество листьев было идентичным другим вариантам опыта (6-7 шт.). Добавление кинетина в концентрации 0,25 мг/л способствовало более равномерному развитию междоузлий, их длина составляла 0,63-0,93 см.

На варианте Модификация 3 также отмечалась стимуляция растяжения междоузлий, однако она была менее экстремальной и более равномерной по длине стебля. Пик растяжения также пришелся на зону 3-5 листьев, но его величина была достоверно ниже, чем на Модификации 1. Это указывает на регулируемую роль кинетина, который смягчал стимулирование к растяжению клеток, способствуя более пропорциональному развитию побега.

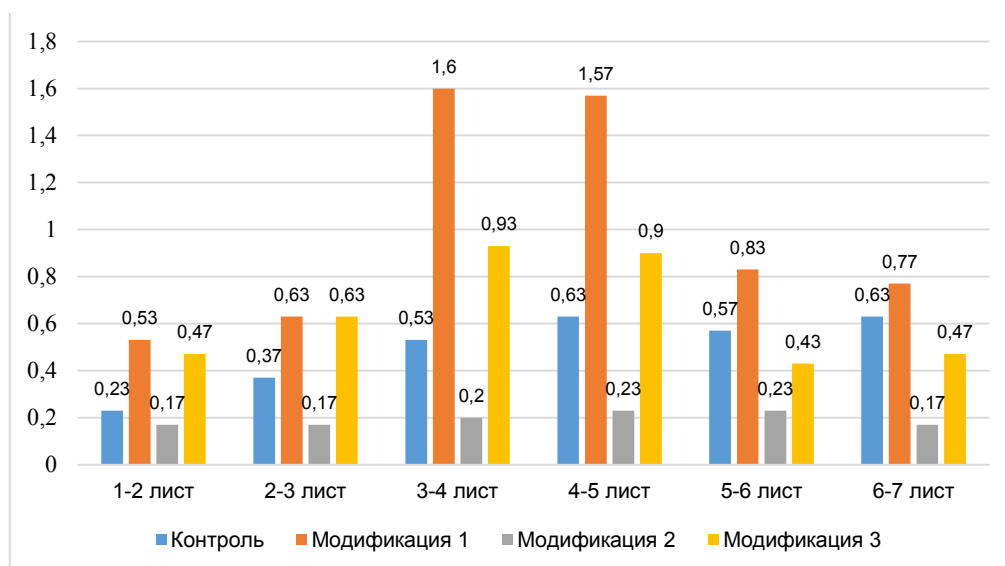


Рисунок 3 – График развития междоузлий у микрорастений картофеля, см
Figure 3 – Graph of internode development in potato micro plants, cm

На варианте Модификация 2 развитие междоузлий было резко угнетено на всем протяжении стебля. Их длина была статистически значимо ниже не только относительно ростостимулирующих вариантов, но и контроля. Особенно показательно минимальное развитие в средней части стебля (междоузлия 3-4, 4-5), что визуально соответствовало растению (рисунок 4) с сильно сближенными узлами и подавленной точкой роста. Данный результат свидетельствует о подтверждении антагонистического взаимодействия брассинолида и цитокинина в регуляции процессов клеточного растяжения при отсутствии ауксина. На образцах с брассинолидом и кинетином (Модификация 2) процесс органогенеза был менее выраженным: междоузлия были на уровне 0,2-0,1 см, что свидетельствует об угнетении вегетативного развития и процессе вершкования точки роста у микрорастений картофеля.

Таким образом, можно сделать вывод, что брассинолид в комбинации с ИУК стимулирует растяжение клеток в срединной зоне побега, а добавление кинетина сглаживает этот эффект, обеспечивая более гармоничный органогенез. Комбинация же брассинолида с кинетином приводит к системному подавлению данного процесса.



Контроль / Control



Модификация 1 / Modification 1



Модификация 2 / Modification 2



Модификация 3 / Modification 3

Рисунок 4 – Развитие микрорастений на 40-й день выращивания
Figure 4 – Micro plant development on the 40th day of cultivation

На 50-й день выращивания растения извлекались из пробирок для проведения учета урожайности.

Таблица 3 – Урожайность микрорастений на субстратах разной гормональной модификации на 50-й день, шт.

Table 3 – Yield of micro plants on substrates of different hormonal modifications on the 50th day, pcs

Вариант/ Повторность / Option/Repetition	Контроль / Control	Модификация 1 / Modification 1	Модификация 2 / Modification 2	Модификация 3 / Modification 3
I	0,5	1,5	0	2,0
II	1,0	1,0	0	2,0
III	0,5	1,0	0	1,5
Среднее / Average	0,66	1,16	0	1,83

НСР₀₅ = 0,47 шт.
НСР₀₅ = 0,47 рс.

Определяющим критерием эффективности изучаемых гормональных модификаций явилась их способность индуцировать процесс клубнеобразования *in vitro*.

Наибольший выход микроклубней был достигнут на варианте Модификация 3, составив в среднем 1,83 клубня с растения. Этот результат достоверно превышал показатели всех других вариантов, включая Модификацию 1. Следовательно, тройная комбинация фитогормонов оказалась оптимальной для стимулирования клубнеобразования у микро-растений картофеля сорта «Индиго» в данных условиях.

Достаточно высокая и статистически значимая урожайность была отмечена также на варианте Модификация 1 – 1,16 клубня с растения. Этот результат подтверждает, что сочетание брассинолида с ауксином само по себе способно активировать процессы, ведущие к клубнеобразованию, хотя и менее эффективно, чем в присутствии цитокинина.

На контрольном варианте процесс клубнеобразования только начинался на 50-е сутки культивирования, по средним данным урожайность составила 0,66 шт. с одного растения. На варианте среды с брассинолидом и кинетином развитие столонов и соответственно микроклубней не отмечалось. Наиболее активное формирование клубней было отмечено на модификации среды с тремя фитогормонами (брассинолид, ИУК и кинетин) – 1,83 шт. клубня с растения. Вариант с брассинолидом и ИУК немного уступал по урожайности, результат составил 1,16 шт. с одного экспланта.

Контрольный вариант характеризовался минимальным и запоздалым началом процесса клубнеобразования, что отразилось на низкой средней урожайности к 50-м суткам – 0,66 клубня. Это указывает на недостаточность классической для микроклонального размножения комбинации цитокинина и ауксина для эффективной стимуляции клубнеобразования.

Наиболее показательным является результат варианта Модификация 2, где клубнеобразование полностью отсутствовало. Этот факт, в совокупности с данными о сильном ингибировании вегетативного роста, служит прямым доказательством глубокого антагонистического взаимодействия брассинолида и цитокинина в регуляции обоих ключевых процессов развития картофеля *in vitro* – вегетативного роста и развития запасующих органов.

Таким образом, ауксин выступает необходимым элементом для реализации его ростостимулирующего потенциала брассинолида, в то время как цитокинин выполняет роль тонкого регулятора, перенаправляющего ресурсы из чрезмерного стеблевого роста в процесс органогенеза клубней.

Данные по урожайности однозначно демонстрируют, что для эффективного клубнеобразования *in vitro* необходима не просто стимуляция роста, а специфическая гормональная комбинация, в котором ауксин выступает обязательным компонентом для синергии с брассинолидом, а низкая концентрация цитокинина выполняет критически важную регулируемую функцию, существенно усиливая конечный репродуктивный выход.

Таблица 4 – Коэффициенты корреляции (r) между параметрами развития микро-растений картофеля
Table 4 – Correlation coefficients (r) between the development parameters of potato micro plants

Признак 1 / Sign 1	Признак 2 / Sign 2	r	Характер связи / Type of connection
Количество клубней / Number of tubers	Высота растений / Height of plants	+ 0,666	Прямая средняя / Direct average
Количество клубней / Number of tubers	Длина междоузлий / Internode length	+ 0,667	Прямая средняя / Direct average
Высота растений / Height of plants	Длина междоузлий / Internode length	+ 0,998	Прямая сильная / Direct strong

Для количественной оценки взаимосвязи между ключевыми параметрами развития микро-растений картофеля был проведен корреляционный анализ, который выявил сильную положительную корреляцию между высотой растений и длиной междоузлий ($r = 0,998$, $p < 0,001$). Данная зависимость подтверждает, что наблюдавшийся в опыте интенсивный линейный рост был обусловлен удлинением междоузлий, а не увеличением числа узлов.

В то же время корреляция показателей вегетативного роста с урожайностью микро-клубней оказалась средней: связь высоты с количеством клубней составила $r = 0,666$, а длины междоузлий $r = 0,667$ ($p < 0,05$ для обоих случаев). Выявленная средняя положительная связь означает, что общее развитие ассимиляционного аппарата является важным, но не единственным определяющим фактором для клубнеобразования. Наиболее

высокая урожайность была достигнута не при максимальных значениях ростовых параметров, а при их оптимальном, сбалансированном соотношении, которое, вероятно, создавало более благоприятный гормональный и метаболический фон для формирования запасовых органов.

Обсуждение. Таким образом, при проведении исследований были получены следующие результаты:

- для сорта картофеля «Индиго» *in vitro* установлено, что синтетический брассинолид в комбинации с ауксином оказывает выраженный синергический эффект на вегетативный рост микрорастений, увеличивая их высоту более чем в 2 раза по сравнению с контролем (до 6,0 см) преимущественно за счёт растяжения междоузлий;

- комбинация брассинолида с цитокинином без добавления ауксина оказывает сильное антагонистическое действие, приводящее к угнетению как вегетативного роста, так и к полному подавлению процесса клубнеобразования, что свидетельствует о критической роли ауксина в процессе органогенеза;

- выявлена оптимальная гормональная комбинация для активации клубнеобразования *in vitro* – брассинолид (0,25 мг/л), ИУК (1 мг/л) и кинетин (0,25 мг/л). Данная схема обеспечивает сбалансированный рост и максимальный выход микроклубней – 1,83 шт. с растения, что в 2,8 раза превышает контрольный показатель;

- корреляционный анализ показал, что вегетативный рост и клубнеобразование связаны опосредованно, а наибольшая урожайность достигается не при максимальных ростовых показателях, а при определенном гормональном балансе, который создаёт благоприятный фон для формирования запасовых органов.

Заключение. Сочетание синтетического гормона брассинолида с ИУК способствовало повышению ростостимулирующего эффекта у эксплантов картофеля, а также активному развитию ассимиляционного аппарата: растения были выше других образцов на 2,06-4,5 см. При этом количество листьев оставалось на уровне контроля и других модификаций, а разница в высоте достигалась за счёт растяжения междоузлий (особенно между 3-4, 4-5 листьями). Добавление в среду кинетина снижало эффект вытяжения стебля и способствовало равномерному развитию междоузлий:

- экзогенный фитогормон брассинолид в сочетании с ИУК также способствовали процессу формирования микроклубней у растений картофеля (1,16 шт.). Однако наивысшая урожайность была достигнута при использовании всех трех фитогормонов (1,8 шт.): брассинолида, кинетина и ИУК;

- комбинация гормонов брассинолида с кинетином без добавления ауксина ингибировала не только вегетативное развитие микрорастений картофеля – экспланты были ниже контроля на 0,94 см и 2,44-4,5 см в сравнении с другими модификациями, – но и процесс клубнеобразования.

Conclusions. Thus, during the research, the following results were obtained:

- the combination of the synthetic hormone brassinolide with IAA contributed to an increase in the growth-stimulating effect of potato explants, as well as the active development of the assimilation apparatus: plants were higher than other samples by 2.06-4.5 cm. At the same time, the number of leaves remained at the level of the control and other modifications, and the height difference was achieved by stretching the internodes (especially between 3-4 and 4-5 leaves). The addition of kinetin to the medium reduced the effect of stem stretching and contributed to the uniform development of internodes;

- exogenous phytohormone brassinolide in combination with IAA also contributed to the formation of microtubers in potato plants (1,16 pcs). However, the highest yield was achieved using all three phytohormones (1.8 pcs): brassinolide, kinetin and IAA;

- the combination of brassinolide hormones with kinetin without auxin addition inhibited not only the vegetative development of potato micro plants, explants were lower than control by 0.94 cm and 2.44-4.5 cm in comparison with other modifications, but also the tuber formation process.

Библиографический список

1. Alencar A. A. D. S., Sudré C. P., Araújo M. D. S. B. D., Lobato A. K. D. S. Brassinosteroids: Relevant evidence related to mitigation of abiotic and biotic stresses in plants. *Agronomy*. 2024. No 14. Art. 840.
2. Garrido-Auñón F. et al. Brassinosteroids: An Innovative Compound Family That Could Affect the Growth, Ripening, Quality, and Postharvest Storage of Fleshy Fruits. *Plants*. 2024. Vol. 13. No. 21. Art. 3082.

3. Kolomeichuk L. V. et al. Effects of 24-Epibrassinolide and Its Conjugate with Succinic Acid on the Resistance of Rapeseed Plants to Chloride Salinization. *Biological Sciences Proceedings*. 2025. Vol. 521. No. 1. Pp. 111-116.
4. Furio R. N., Salazar M. S. et al. Brassinosteroid application enhance the tolerance to abiotic stresses, production and quality of strawberry fruits. *Horticulturae*. 2022. No 8. Art. 572.
5. Hayat S., Yusuf M., Bharwaj R., Bajguz A. *Brassinosteroids: Plant Growth and Development*. Springer Nature. Singapore, 2019.
6. Khan T. A., Kappachery S. et al. Brassinosteroid signaling pathways: Insights into plant responses under abiotic stress. *Int. J. Mol. Sci.* 2023. No 24. Art. 17246.
7. Samira I. M., Mansour S. B. 24-epibrassinolide enhances flower and fruit production of pepper (*Capsicum annum* L.) under saltstress. *J. Stress Physiol. Biochem.* 2012. No 8. Pp. 224-233.
8. Sharma J., Sharma A. Role of Brassinosteroids in plants responses to salinity stress: A review. *J. Appl. Nat. Sci.* 2022. No 14. Pp. 582-599.
9. Yang Y., Chu C., Qian Q., Tong H. Leveraging brassinosteroids towards the next green revolution. *Trends Plant Sci.* 2024. No 29. Pp. 86-98.
10. Каретников А. И. и др. Изучение влияния прайминга лактон- и кетонсодержащими брассиностероидами на образование клубней и столонов картофеля сорта Луговской. *Биология растений в эпоху глобальных изменений климата: тезисы докладов*. Уфа: Уфимский Федеральный исследовательский центр РАН, 2023. С. 168.
11. Коломейчук Л. В., Ефимова М. В. Влияние брассиностероидов на формирование защитных механизмов растений картофеля при солевом стрессе. *Настоящее и будущее биотехнологии растений: материалы Международной научной конференции*. Минск: ИВЦ Минфина, 2023. С. 76.
12. Черныш М. А. и др. Модификация процессов роста и набора биомассы протокормов *Phalaenopsis × hybridum* Blume в культуре in vitro под действием брассинолида и кастастерона. *Журнал Белорусского государственного университета. Биология*. 2018. № 2. С. 105-113.

References

1. Alencar A. A. D. S., Sudré C. P., Araújo M. D. S. B. D., Lobato A. K. D. S. Brassinosteroids: Relevant evidence related to mitigation of abiotic and biotic stresses in plants. *Agronomy*. 2024. No 14. Art. 840.
2. Garrido-Auñón F. et al. Brassinosteroids: An Innovative Compound Family That Could Affect the Growth, Ripening, Quality, and Postharvest Storage of Fleshy Fruits. *Plants*. 2024. Vol. 13. No 21. Art. 3082.
3. Kolomeichuk L. V. et al. Effects of 24-Epibrassinolide and Its Conjugate with Succinic Acid on the Resistance of Rapeseed Plants to Chloride Salinization. *Biological Sciences Proceedings*. 2025. Vol. 521. No 1. Pp. 111-116.
4. Furio R. N., Salazar M. S. et al. Brassinosteroid application enhance the tolerance to abiotic stresses, production and quality of strawberry fruits. *Horticulturae*. 2022. No 8. Art. 572.
5. Hayat S., Yusuf M., Bharwaj R., Bajguz A. *Brassinosteroids: Plant Growth and Development*. Springer Nature. Singapore, 2019.
6. Khan T. A., Kappachery S. et al. Brassinosteroid signaling pathways: Insights into plant responses under abiotic stress. *Int. J. Mol. Sci.* 2023. No 24. Art. 17246.
7. Samira I. M., Mansour S. B. 24-epibrassinolide enhances flower and fruit production of pepper (*Capsicum annum* L.) under saltstress. *J. Stress Physiol. Biochem.* 2012. No 8. Pp. 224-233.
8. Sharma J., Sharma A. Role of Brassinosteroids in plants responses to salinity stress: A review. *J. Appl. Nat. Sci.* 2022. No 14. Pp. 582-599.
9. Yang Y., Chu C., Qian Q., Tong H. Leveraging brassinosteroids towards the next green revolution. *Trends Plant Sci.* 2024. No 29. Pp. 86-98.
10. Karetnikov A. I. et al. Study of the effect of priming with lactone- and ketone-containing brassinosteroids on the formation of tubers and stolons in potatoes of the Lugovskoy variety. *Plant Biology in the Era of Global Climate Change: Abstracts of Papers*. Ufa: Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2023. P. 168.
11. Kolomeichuk L. V., Efimova M. V. The effect of brassinosteroids on the formation of protective mechanisms in potato plants under salt stress. *The Present and Future of Plant Biotechnology: Proceedings of the International Scientific Conference*. Minsk: IVC of the Ministry of Finance, 2023. P. 76.
12. Chernysh M. A. et al. Modification of the Growth and Biomass Accumulation Processes of *Phalaenopsis × hybridum* Blume in In Vitro Culture under the Influence of Brassinolide and Castasterone. *Journal of the Belarusian State University. Biology*. 2018. No 2. Pp. 105-113.

Информация об авторах

Гиченкова Ольга Геннадьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), ORCID: 0000-0001-5982-3114, e-mail: olga.gichenkova@mail.ru

Маликова Полина Сергеевна, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), ORCID: 0009-0009-8035-3562, e-mail: polina_aleksashenkova@mail.ru

Лаптина Юлия Александровна, ведущий научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, ФИЦ «Немчиновка» (Российская Федерация, 143026 Московская обл., Одинцово, р. п. Новоивановское, ул. Агрохимиков, 6), ORCID: 0000-0001-5982-3114, e-mail: ylaptina82@mail.ru

Authors Information

Gichenkova Olga Gennadievna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), ORCID: 0000-0001-5982-3114, e-mail: olga.gichenkova@mail.ru

Malikova Polina Sergeevna, Graduate Student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), ORCID: 0009-0009-8035-3562, e-mail: polina_aleksashenkova@mail.ru

Laptina Yulia Aleksandrovna, Leading Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, FRC «Nemchinovka» (Russian Federation, 143026 Moscow oblast, Odintsovo, Novoivanovskoye, Agrokhimikov str., 6), ORCID: 0000-0001-5982-3114, e-mail: ylaptina82@mail.ru

THE ASSESSMENT AND THE PROSPECTS OF THE COMBINED BIOTECHNOLOGY APPLICATION IN THE AGRICULTURAL RICE AND AQUACULTURE PRODUCTION^{1,2}Glazunova I. V., ²Karpenko N. P., ³Shiryaeva M. A.¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
Moscow, Russian Federation²Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov
Moscow, Russian Federation³Federal Scientific Center of Hygiene named after F. F. Erisman of the Federal Service for Supervision
of Consumer Rights Protection and Human Well-being
Mytischki, Russian Federation

Corresponding author E-mail: ivglazunova@mail.ru

Received 31.10.2025

Submitted 12.01.2026

Summary

The article presents results of research on the current state and prospects of applying combined biotechnology for agricultural rice production and aquaculture in low-lying areas of the Red River Delta (Hong River basin, Vietnam). The study evaluated advantages and disadvantages of integrated rice-aquaculture systems, methods of shrimp and fish farming on rice fields, economic profitability for farmers (river-, pond- and field-based aquaculture), water consumption forecasts and the effectiveness of water-management measures up to 2028. Key findings: integrated rice-aquaculture systems increase annual rice yield by ~4 %, reduce nitrogen concentration in ponds by ~16 % and soil leaching by ~13 % versus rice monoculture; water intensity of field-based aquaculture is 25-30 % lower than in traditional methods; pollution load on the river may decrease by 80-92 % when combined biotechnology is applied. Economic and productivity gains of combined models and IMTA benefits are shown and discussed.

Abstract

Introduction. Expanding sustainable agricultural technologies that increase productivity while reducing environmental pressure is a priority for food security. Integrated rice-aquaculture models (rice-fish, rice-shrimp, IMTA and related systems) are increasingly used in Southeast Asia to raise rice yields, reduce input needs and provide additional income from aquaculture products. **Object.** Samples of production technologies and implemented farm models of combined rice and aquaculture systems in low-lying districts of the Red River Delta (Vietnam), with focus on the Hong River basin and pilot farms. **Materials and methods.** The study combined: systematization and analysis of implemented integrated technologies; field and farm case data from pilot implementations; comparative assessment of productivity, nutrient balances and pollutant loads; economic analysis of incomes and profits for river-, pond- and field-based aquaculture; and modelling forecasts of water consumption and effectiveness of water-management measures through 2028. IMTA and other integrated approaches were evaluated using published indicators and project monitoring data from pilot sites. **Results and conclusion.** Integrated rice-aquaculture systems demonstrated multiple benefits versus rice monoculture and separate aquaculture: annual rice yield increase $\approx 4\%$; nitrogen content in ponds decreased $\approx 16\%$, soil leaching reduced $\approx 13\%$; combined systems reduce methane emissions (system dependent; an average reduction $\approx 11\%$ reported across studied implementations); IMTA reduced organic deposits and increased fish yield (reported reductions/increases: organic deposits $\approx 7\%$, fish yield $\approx 20\%$); water intensity of aquaculture on rice fields is 25...30 % lower than in traditional aquaculture methods; projected pollution load on the river decreases by 80...92 % with introduction of combined biotechnology and appropriate water-management measures. Economic assessment of pilot models showed substantially higher incomes and profits for combined rice-aquaculture models versus monoculture rice systems (examples from pilot farms presented in local currency and converted estimates). The study concludes that combined biotechnology for rice and aquaculture is a promising, resource-efficient approach for low-lying delta areas and provides recommendations for wider implementation, water-management measures and scaling to ~200 thousand ha of lowlands in the Hong River delta region.

Keywords: rice cultivation development, rice farming, combined agricultural technologies, rice farming systems, fish farming systems, and aquaculture production.

Citation. Glazunova I. V., Karpenko N. P., Shiryaeva M. A. The assessment and the prospects of the combined biotechnology application in the agricultural rice and aquaculture production. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 158-168 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-17.

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 633.15+639.3

**ОЦЕНКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ
ПРОИЗВОДСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО РИСА И АКВАКУЛЬТУР**^{1,2}Глазунова И. В., кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник²Карпенко Н. П., доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник³Ширяева М. А., младший научный сотрудник¹Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева
г. Москва, Российская Федерация²Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова
г. Москва, Российская Федерация³Федеральный научный центр гигиены имени Ф. Ф. Эрисмана Федеральной службы по надзору
в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека
г. Мытищи, Российская Федерация

Актуальность. Расширение применения устойчивых сельскохозяйственных технологий, повышающих продуктивность при одновременном снижении нагрузки на окружающую среду, является приоритетом для продовольственной безопасности. Интегрированные модели «рис–аквакультура» (рис–рыба, рис–креветка, IMTA и родственные системы) всё шире применяются в Юго-Восточной Азии для повышения урожайности риса, сокращения потребности в ресурсах и получения дополнительного дохода от продукции аквакультуры. **Объект.** Объектом исследования являются образцы производственных технологий и реализованные на фермах модели комбинированных систем рисоводства и аквакультуры в низинных районах дельты Красной реки (Вьетнам), с концентрацией на бассейне реки Хонг. **Материалы и методы.** В исследовании были объединены: систематизация и анализ внедрённых интегрированных технологий; полевые и хозяйственные данные с пилотных участков; сравнительная оценка продуктивности, балансов питательных веществ и нагрузки загрязняющих веществ; экономический анализ доходов и прибылей для речной, прудовой и полевой аквакультуры; а также моделирование прогнозов водопотребления и эффективности мер водоуправления до 2028 года. IMTA и другие интегрированные подходы оценивались с использованием опубликованных индикаторов и данных мониторинга проектов на пилотных площадках. **Результаты и заключение.** Интегрированные системы «рис–аквакультура» продемонстрировали множественные преимущества по сравнению с рисовой монокультурой и отдельной аквакультурой: годовое увеличение урожайности риса $\approx 4\%$; снижение содержания азота в прудах $\approx 16\%$, сокращение выщелачивания почвы $\approx 13\%$; комбинированные системы уменьшают выбросы метана (в зависимости от системы; среднее снижение $\approx 11\%$ по данным изученных реализаций); IMTA сокращала органические отложения и увеличивала рыбную продукцию (сообщённые изменения: органические отложения $\approx 7\%$, прирост рыбной продукции $\approx 20\%$); водоёмкость аквакультуры на рисовых полях на 25...30 % ниже, чем у традиционных методов выращивания аквакультуры в прудах; прогнозируемая нагрузка загрязняющих веществ на реку уменьшается на 80...92 % при внедрении комбинированной биотехнологии и соответствующих мер водоуправления. Экономическая оценка пилотных моделей показала существенно более высокие доходы и прибыли у комбинированных моделей рис–аквакультуры по сравнению с рисовой монокультурой (примеры с пилотных ферм представлены в национальной валюте и в пересчёте). Исследование приводит к выводу, что комбинированная биотехнология для рисоводства и аквакультуры является перспективным ресурсосберегающим подходом для низинных дельтовых территорий и содержит рекомендации по широкому внедрению, мерам водоуправления и масштабированию на ≈ 200 тыс. га низин в дельте реки Хонг.

Ключевые слова: развитие рисоводства, рисоводство, комбинированные сельскохозяйственные технологии, системы рисоводства, системы рыбоводства, производство аквакультуры.

Цитирование. Глазунова И. В., Карпенко Н. П., Ширяева М. А. Оценка и перспективы применения комбинированной биотехнологии производства сельскохозяйственного риса и аквакультур. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 158-168. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-17.

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. В последние годы в странах Юго-Восточной Азии (Китай, Вьетнам, Индия, Таиланд и др.) становится весьма популярным в аграрном секторе совместное посменное выращивание сельскохозяйственного риса и разведение водных животных (современных аквакультур), в частности различных видов креветок, раков, крабов, рыбы. Этому способствует природные условия дельты реки Меконг, территория которой наиболее благоприятна для совместного производства риса и выращивания креветок, а исполь-

зование модели «одновременного выращивания риса и разведения креветок» улучшает экологическое состояние экосистем. Кроме того, использование такой модели является и эффективным методом очистки солёных вод в сезон дождей, при которой замедляются процессы засоления почв и продлеваются сроки сельскохозяйственного использования земель под посевы риса. В данной технологии широко заинтересованы сельхозпроизводители и аквакультурные фермеры, которые используя эти технологии, получают высокую прибыль. Такая технология во Вьетнаме уже используется более 20 лет, ее внедрение позволяет не только получать высокие уловы креветок, но и высокие урожаи риса без применения удобрений и пестицидов. Предполагается, что в ближайшее время для креветководов может быть доступно около 140 тыс. га.

Следует отметить, что потенциал расширения и использования технологии модели «рис-креветки» достаточно высок и позволяет странам Юго-Восточной Азии сделать существенные шаги в структуризации сельского хозяйства прибрежных территорий речных систем [1, 2, 3, 4].



Рисунок 1 – Производство риса на террасированных участках Китая
(рисовая терраса на берегу реки Юаньцзян) Источник: pikabu.ru

Figure 1 – Rice production on terraced fields in China (rice terrace on the banks of the Yuanjiang River)
Source: pikabu.ru

В России в настоящее время только делаются попытки выращивания пресноводных креветок в теплых водах, преимущественно в южных регионах, например, в дельте р. Волги. Такие технологии в стране находятся в стадии разработки, однако имеются фрагментарные эффективные хозяйства, где начинают использовать современные технологии [5].

Рис является основным продуктом питания, которым кормится около половины населения мира, и почти весь рис выращивается как монокультура (выращивание одного урожая на поле каждый сезон). Системы выращивания риса и выращивания водных животных (таких как рыба, креветки и утки) существуют уже более 1000 лет [6-10]. Но сегодня такое сельское хозяйство встречается очень редко: только 1 % мирового производства риса приходится на интегрированные фермерские хозяйства [11].

Применение комбинированных биотехнологий совместного выращивания сельскохозяйственного риса и аквакультур позволит в перспективе решить проблему продовольственной безопасности [12, 13].

Цель, задачи и методы исследования. Продовольственная безопасность любого государства является не только основой его национальной, но и существенным фактором социально-экономической политики и повышения качества жизни населения. Выращивание риса в сочетании с разведением водных животных помогает повысить урожайность риса, сократить выбросы парниковых газов и увеличить доходы от сельскохозяйственного произ-

водства зерна. Согласно проведенным исследованиям, традиционные методы выращивания риса в Юго-Восточной Азии в сочетании с рыбным или другим водным животноводством могут удовлетворить глобальные потребности в области продовольственной безопасности, улучшить здоровье людей и безопасность окружающей среды, одновременно принося производителям дополнительные 150 миллиардов долларов в год по всему миру [14, 15, 16].

Цель исследования состояла в объективной оценке эффективности применения комбинированной биотехнологии, объединяющей производство сельскохозяйственного риса и аквакультур, а также разработке научно-обоснованной стратегии её широкого внедрения. Основные решаемые задачи:

- рассмотреть существующие и перспективные методы выращивания креветок на рисовых полях на период с 2020 по 2028 год;
- оценить перспективы использования комбинированной технологии выращивания риса и аквакультур на территории бассейна реки Хонг до 2028 года;
- проанализировать и оценить экономическую прибыль фермеров при выращивании аквакультур в условиях реки Хонг, прудов и рисовых полей на основании данных за 2020-2022 годы;
- подготовить прогноз водопотребления при выращивании аквакультуры в бассейне реки Хонг на период до 2028 года.

Основными методами исследований являются: обобщение результатов использования совместных технологий выращивания производственного риса и аквакультур; анализ методов выращивания креветок на рисовых полях; комплексные интегрированные оценки влияния различных методов выращивания аквакультуры (в реках, в прудах и на полях) на водоемкость и загрязняющую нагрузку на водные ресурсы с учетом прогнозов развития водопользования; разработка рекомендаций по водоохранным мероприятиям; экономические оценки.

Регион дельты реки Хонг во Вьетнаме является одним из ключевых районов сельскохозяйственного производства страны. Весь регион имеет 207 858 га затопленных полей и 44 499 га потерянных затонувших полей (<https://eng.vnua.edu.vn/>).

Были проведены исследования и оценено текущее состояние производства риса и рыбы в низменных районах дельты реки; преимущества и недостатки модели выращивания риса и аквакультуры на местах, на основе которых можно предложить эффективные решения по реализации. Проект успешно передал процесс производства риса и аквакультуры фермерам посредством успешного строительства двух моделей фермерского хозяйства: 1 – получение одного урожая риса и получение одного улова рыбы, и другой модели – получение двух отдельных культур риса и одного улова рыбы в масштабе 60 гектаров исследуемой области. При этом получали до 5,5 тонн рыбы с 1 га рисовых полей за 6 месяцев ведения сельского хозяйства [4, 5]. Общий доход от моделей достиг 192405-225390 млн донгов/га (549728-643971 руб/га) (1 руб = 350-400 донгов), прибыль от 59197-71344 млн донгов/га (169134-203840 руб/га), что в 2,4-3,3 раза выше, чем в модели выращивания двух отдельных культур риса, и в 1,2-1,4 раза выше, чем в модели 1 рис – 1 рыба (цены 2022 года, курс донг – 2025 года).

Судя по полученным результатам, экономический эффект от проекта проявляется в районах с затонувшими полями, которые невозможно засеять в сезон паводков, где нельзя выращивать озимые культуры и не удается полностью использовать свой потенциал, способствовал увеличению производства на той же площади, тем самым увеличивая доходы фермеров, сокращая земельные работы, использование пестицидов и повышая производительность. Урожайность риса сегодня очень важна. Модель выращивания одного урожая риса – одного урожая рыбы дает доход от 192405-202440 млн донгов/га (549728-578400 руб/га), прибыль от 59197-68632 млн донгов/га (169134-196091 руб/га), что выше модели выращивания двух культур риса при монокультуре риса населения – 45332 млн донгов/га (129520 руб/га, экономическая эффективность в 3,0-3,3 раза выше. По сравнению с моделью выращивания риса и рыбы вне производства, модель проекта дает более высокую прибыль: 13587-19607 млн донгов/га (38662-56020 руб/га), что эквивалентно 29,2-40,0 %. Модель выращивания двух культур риса – одного урожая рыбы дает доход 225 390 млн донгов/га (643971 руб/га, прибыль 71344 млн донгов/га (203840 руб/га, что выше, чем модель выращивания двух культур риса одного урожая риса 41444 млн донгов/га (126982 руб/га) экономическая эффективность выше в 2,4 раза. По сравнению с моделью выращивания двух культур риса и од-

ной культуры рыбы вне производства, модель проекта дает более высокую прибыль в размере 20014 миллионов донгов/га (57182 руб/га), что эквивалентно 41,8 %. Долгосрочные эффекты: результаты выполненных исследований возможно использовать при расширении более 200 тысяч гектаров низменных земель в дельте Красной реки в последующие годы. При этом будет комплексно использоваться такие природные ресурсы, как земля, воду и обильные трудовые ресурсы, чтобы постепенно превратить рассматриваемый район в уникальную зону сельскохозяйственного производства в регионе с безопасными продуктами, поставляющий обществу рис и продукцию аквакультуры.

Результаты исследования. Исследования показали, что сочетание выращивания риса с аквакультурой существенно повышает не только эффективность землепользования, но и снижает потребность в коммерческих удобрениях, благодаря удобрениям животного происхождения, богатым питательными веществами. Обнаружено, что при сборе урожая риса, стерня разлагается и становится источником пищи для аквакультур. Проведенный анализ существующих технологий в этой области позволил оценить эффективность систем совместного выращивания риса и животных по всему миру. Результаты показали, что интегрированные системы «рис-аквакультура» увеличили годовой урожай риса на 4 %, снизили содержание азота в прудах на 16 % и уменьшили выщелачивание почвы на 13 % по сравнению с монокультурами риса [4, 5, 22, 23]. Исследованиями также выявлено, что комбинированные системы выращивания риса и животных сокращают выбросы метана на 11 % по сравнению с системами монокультуры риса [22, 23]. Так, по предварительным оценкам, интегрированные системы выращивания риса, утки и риса-креветок сократят выбросы метана примерно на 40 %, а интегрированные системы выращивания риса и рыбы, по оценкам, увеличат выбросы метана на 29 % [4, 5, 22, 23]. По мнению авторов, различия в выбросах метана между системами интегрированного земледелия могут быть связаны с концентрацией кислорода, присутствующей в каждой системе, причем выбросы метана увеличиваются при низком уровне кислорода. Рыба, плавающая по полю, потребляет кислород в системе, что приводит к увеличению выбросов метана. Утки и креветки вводят кислород в систему, копая и обрабатывая почву на рисовых полях, сокращая выбросы метана. Внедрение интегрированных систем выращивания риса и животноводства во всем мире происходит медленно, поскольку требует новых технологий, ресурсов (таких как капитал, рабочая сила, инфраструктура и рыночные сети) и политики.

Провинция Намдинь во Вьетнаме имеет большой потенциал для развития устойчивой рыболовной отрасли: площадь аквакультуры составляет более 17 000 гектаров, а береговая линия протяженностью 72 км имеет богатую и разнообразную прибрежную аллювиальную экосистему [9]. Ежегодный рост индустрии морепродуктов всегда достигает более 4,5 %. Средняя продуктивность аквакультуры Хонг составляет более 150 000 т/год. В 2022 году общий объем производства морепродуктов в провинции достигнет более 187 300 тонн, стоимость продукции отрасли морепродуктов достигнет 11 млрд донгов. Это составляет 31,5 % структуры сельскохозяйственной отрасли, что на 6,9 % больше, чем в 2021 году, создавая рабочие места и увеличивая доход для многих людей в этом районе.

Перспективные модели рыбоводства в реке, в прудах и на полях в сочетании с органическим выращиванием риса и некоторые экономические показатели показаны в таблице 1.

Из таблицы видно, что при сравнении вариантов получения продукции аквакультуры при искусственных вариантах выращивания в рыбозаводных прудах и на рисовых полях (при одновременном выращивании риса) затраты на выращивание в 1,4 раза ниже при выращивании аквакультуры в рыбозаводных прудах, при дополнительной экономической выгоде фермеров 8,1 млрд донг в год. Как показывает эколого-экономический анализ, выполненный на основе водохозяйственных балансовых расчетов с учетом качества воды, при развитии выращивания аквакультуры на рисовых полях водопотребление из реки снизится на 34 %, а качество воды в реке перейдет из категории «очень грязная», в категорию «чистая» для прогнозного 2035 года при 75 % обеспеченности по стоку реки.

Учитывая необходимость развития сельского хозяйства в устойчивом направлении, модель рыбоводства в сочетании с производством органического риса поддерживается и внедряется Центром применения науки и технологий и защиты растений района Ки Ань в деревне Фу Минь, коммуна Ки Фу, Кентукки. Район Ань (провинция Хатинь) площадью 3 га. Исходя из результатов, достигнутых в весеннем урожае 2023 года, модель продолжит внедряться в летне-осенний урожай и послужит основой для тиражирования в районе в последующие годы.

Таблица 1 – Эколого-экономические показатели моделей выращивания аквакультуры
Table 1 – Environmental and economic indicators of aquaculture cultivation models

Модели выращивания аквакультуры / Aquaculture cultivation models	Эколого-экономические показатели / Ecological and economic indicators				
	Рыбопродуктивность, тонн в год / Fish production, tons per year	Затраты на выращивание, донг/м ² / Growing costs, VND/m ²	Экономическая прибыль фермеров, млрд. донг в год / Economic profit of farmers, billion VND per year	Прогнозный класс качества воды в реке в контрольном створе на 2035 год / Predicted water quality class in the river at the control station for 2035	Объемы водопотребления, млрд куб/м / Water consumption volumes, billion cubic meters
Выращивание аквакультуры в реке / Growing aquaculture in the river	100000	-	43,5	очень грязная / very dirty	-
Выращивание аквакультуры в прудах / Growing aquaculture in ponds	36000	500000	15	грязная / dirty	7,82
Выращивание аквакультуры в рисовых полях / Growing aquaculture in rice fields	14000	350000	8,1	чистая / clean	5,12

В весеннем урожае 2023 года деревня Фуминь (коммуна Кифу, округ Киань) внедрила модель производства органического риса в сочетании с выращиванием окуня с квадратной головкой на поле площадью 3 гектара, накопленном на многих ранее небольших участках. Все это поле было перепланировано народом до его границ и участков.

Урожайность собранного риса в 2022 году составила 5,4 ц/га, при этом выживаемость прямоголового окуня составляет около 80 %, а расчетная продуктивность рыбы составляет около 6 тонн. Полученные результаты показывают, что такая комбинированная модель рыбоводства в сочетании с выращиванием риса приносит много преимуществ и обеспечивает более высокую продуктивность риса, чем традиционное выращивание риса. В частности, эти два вида рыб не конкурируют друг с другом за пищу, а также находятся в симбиотических отношениях с растениями риса. Процесс внедрения экономит затраты на пестициды и гербициды, поскольку рыбы, скребущие грязь, ищут добычу на дне, что будет способствовать уничтожению насекомых, вредителей и болезней. Рыбные экскременты также являются источником органических удобрений для риса. Это не только увеличивает урожайность риса, но и хорошо влияет на рост рыбы. Кроме того, без использования пестицидов рыба, выращенная на рисовых полях, использует натуральную пищу, поэтому мясо рыбы имеет восхитительное качество, оно нравится потребителям, и его можно продавать по хорошей цене. Что касается риса ST25, то это высококачественный сорт риса, полностью удобренный микробными органическими удобрениями. По сравнению с другими сортами риса, рис ST25 имеет меньше вредителей и болезней благодаря применению процессов органического земледелия. Схема выращивания креветок на рисовых полях представлена на рисунке 2.

В качестве метода очистки стоков с рисовых полей была рекомендована IMTA (Интегрированная мультитрофная аквакультура (integrated multitrophic aquaculture), которая считается наиболее устойчивым методом очистки сточных вод аквакультуры [17, 18]. Здесь отходы с одного трофического уровня становятся пищей для другого трофического уровня, что облегчает производство товарного продукта с минимальными дополнительными затратами [19, 20, 22]. В системе IMTA для рыбы и моллюсков было зарегистрировано сокраще-

ние органических отложений на 7 % и увеличение рыбной продукции на 20 %. Соответствующая прибыль была более чем на 230 % и 68 % больше, чем у изолированных монокультур рыбы и моллюсков, соответственно [22, 23]. Кроме того, дополнительные экономические выгоды включают производство полезных N-соединений, представляющих коммерческий интерес, таких как фикобилипротеины, используемые в качестве маркеров флуоресценции, микоспориноподобные аминокислоты, фенольные соединения, используемые в качестве УФ-экранирующих веществ и т. д. Все это делает ИМТА устойчивым вариантом для очистки сточных вод аквакультуры. Требования к большим сельскохозяйственным площадям и трудности в координации различных видов деятельности являются основными проблемами, с которыми сталкивается эта система и которые требуют дальнейших технологических вмешательств [23].

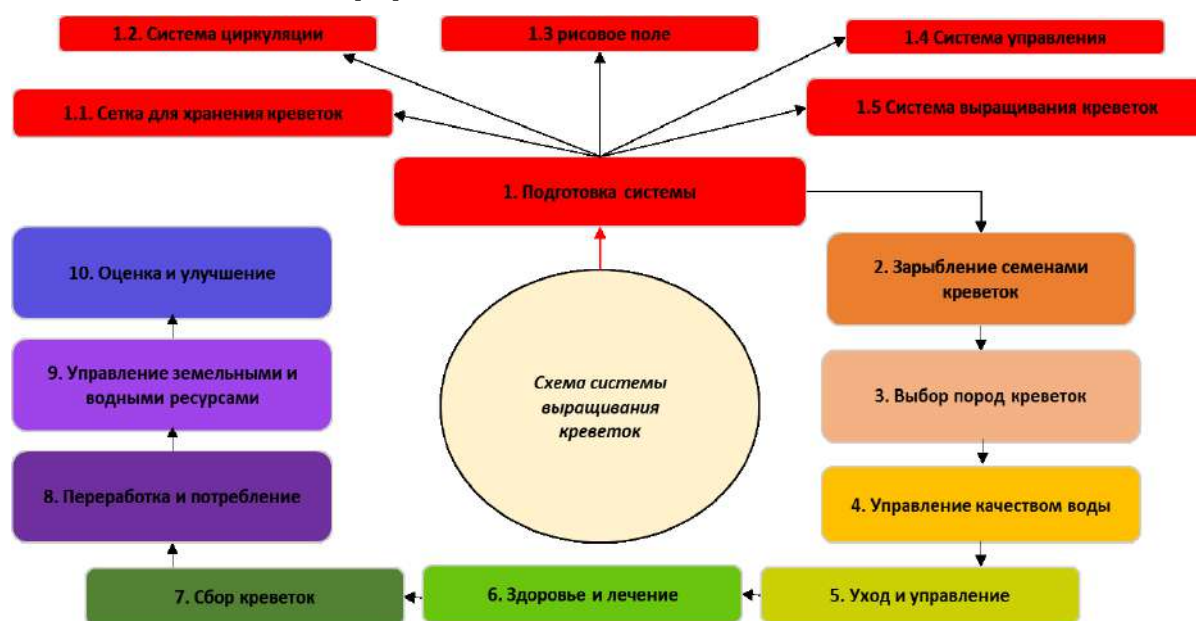


Рисунок 2 – Методы выращивания креветок на рисовых полях
Figure 2 – Shrimp farming methods in rice fields

Обсуждение результатов. Для обоснования и перспективы использования технологии выращивания комбинированной технологии был составлен прогноз водопотребления аквакультуры в бассейне реки Хонг (рисунок 3).

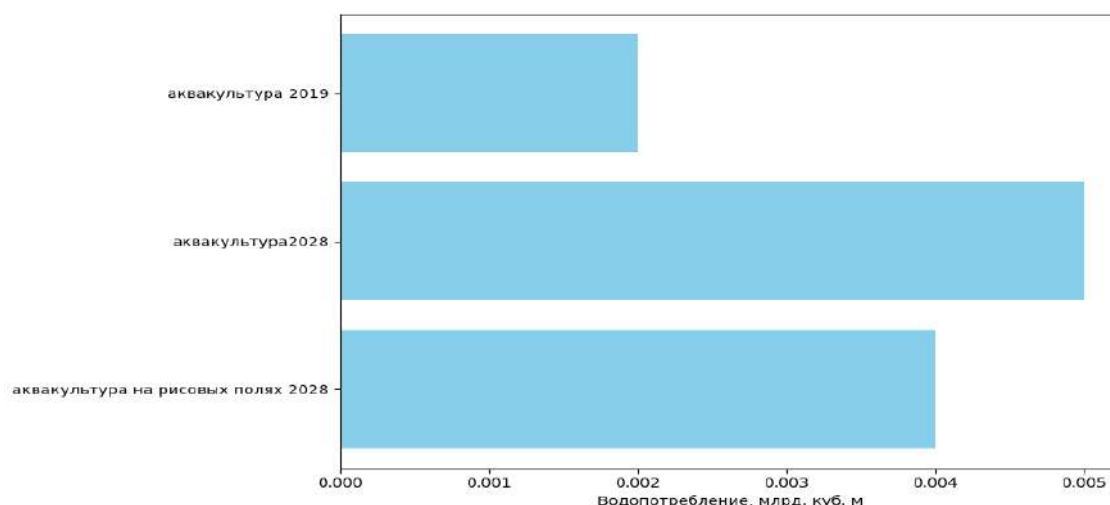


Рисунок 3 – Прогноз водопотребления при выращивании аквакультуры в бассейне реки Хонг, млрд м³
Figure 3 – Forecast water consumption for aquaculture in the Hong River basin, billion m³

Был проведен анализ водохозяйственных мероприятий на перспективу до 2035 года без учета выращивания аквакультуры на рисовых полях по загрязняющей нагрузке (рисунок 4).

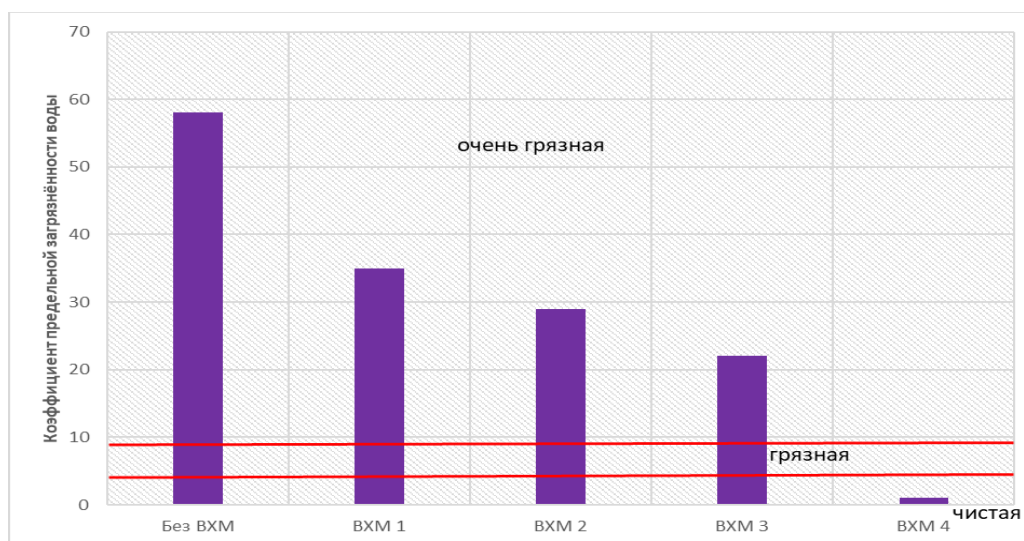


Рисунок 4 – Анализ эффективности водохозяйственных мероприятий на перспективу до 2035 года без учета выращивания аквакультуры на рисовых полях по загрязняющей нагрузке (Кпз)

Условные обозначения: без ВХМ – без водохозяйственных мероприятий; ВХМ 1 – введение наилучших доступных технологий водоподдачи и водоотведения; ВХМ 2 – повторное использование дренажного стока для нужд орошения; ВХМ 3 – мероприятия по снижению загрязняющей нагрузки диффузных стоков с сельскохозяйственных полей; ВХМ 4 – комбинированной биотехнологии производства сельскохозяйственного риса и аквакультур

Figure 4 – Water management measures effectiveness analysis for the period up to 2035, excluding aquaculture cultivation in rice fields, based on pollutional stress (Critical indicators of water pollution (KPZ))

Legend: no WMM – no water management measures; WMM 1 – introduction of best available water supply and wastewater treatment technologies; WMM 2 – reuse of drainage runoff for irrigation purposes;

WMM 3 – measures to reduce the pollutant load of diffuse runoff from agricultural fields;

WMM 4 – combined biotechnology for the production of agricultural rice and aquaculture

По результатам комплексной интегрированной оценки водоемкость выращивания аквакультуры на рисовых полях на 25...30 % ниже при традиционных методах выращивания аквакультуры, а загрязняющая нагрузка на реку снижается на 80...92 % при введении комбинированной биотехнологии производства сельскохозяйственного риса и аквакультур.

Заключение. Проведены исследования по анализу и использованию современных технологий совместного выращивания сельскохозяйственного риса и аквакультур. Оценено текущее состояние производства сельскохозяйственного риса и аквакультуры в низменных районах дельты реки Хонг (Вьетнам) и установлены основные преимущества и недостатки модели выращивания риса и аквакультуры на местах, на основе которых можно рекомендовать наиболее эффективные решения по их реализации. Выявлено, что комбинированные системы «рис-аквакультура» увеличивают годовой урожай риса на 4 %. Наблюдается снижение содержания азота в прудах на 16 % и уменьшение выщелачивание почвы на 13 % по сравнению с монокультурами риса. Для изучаемого региона проведен анализ эффективности водохозяйственных мероприятий на перспективу до 2028 года при выращивании аквакультуры на рисовых полях по водоемкости и загрязняющей нагрузке на реку. По результатам комплексной интегрированной оценки водоемкость выращивания аквакультуры на рисовых полях оказалась на 25...30 % ниже, чем при традиционных методах выращивания аквакультуры в прудах, а загрязняющая нагрузка на реку снижается на 80...92 % при введении комбинированной биотехнологии производства сельскохозяйственного риса и аквакультур.

Исследовательская работа позволила выявить ряд значимых результатов, подтверждающих положительные стороны комплексного подхода в производстве риса и аквакультуры:

1. Комплексные интегрированные системы позволили добиться увеличения урожайности риса приблизительно на 4 % по сравнению с традиционной монокультурой. Этот вывод основан на результатах экспериментальной проверки, проводимой в течение трех сезонов выращивания (2020-2022 гг.).

2. Показатели накопления питательных веществ в почве снизились вследствие эффективного круговорота биогенных компонентов между культурой риса и популяциями культивируемых гидробионтов. Концентрация нитратов в водной среде рисовых чеков уменьшилась на 16 %, а вымывание минеральных соединений из почвы сократилось на 13 %.

3. Совместное применение совмещённой системы выращивания обеспечило снижение интенсивности деградационных процессов в почвенном покрове и поддержало баланс макроэлементов в воде, используемой для полива. Таким образом, общая экологическая устойчивость ландшафта значительно возросла.

4. Важнейшим показателем стал значительный положительный финансовый эффект: чистая прибыль фермерских хозяйств выросла в среднем на 35 % по итогам трёхлетнего периода наблюдений (с 2020 по 2022 год включительно). Примечательно, что первоначальные капиталовложения оказались вполне оправданными и возвратились инвесторам менее чем за три сезона эксплуатации усовершенствованного способа ведения хозяйства.

Conclusion. Research has been conducted on the analysis and use of modern technologies for the joint cultivation of agricultural rice and aquaculture. The current state of agricultural rice and aquaculture production in the low-lying areas of the Hong River Delta (Vietnam) has been assessed, and the main advantages and disadvantages of the local rice and aquaculture cultivation model have been identified, based on which the most effective solutions for their implementation can be recommended. It has been found that combined rice-aquaculture systems increase the annual rice yield by 4 %. There has been a 16 % decrease in nitrogen content in ponds and a 13 % decrease in soil leaching compared to rice monocultures. For the study region, an analysis of the effectiveness of water management measures for the period up to 2028 was conducted for aquaculture cultivation in rice fields based on water consumption and the polluting load on the river. According to the results of a comprehensive integrated assessment, the water consumption of aquaculture cultivation in rice fields was 25 % lower...It is 30 % lower than traditional aquaculture methods in ponds, and the polluting load on the river is reduced by 80-92 % when combined biotechnology is used for agricultural rice and aquaculture.

The research work has revealed a number of significant results that confirm the positive aspects of an integrated approach to rice and aquaculture production:

1. Integrated systems have led to an increase in rice yield of approximately 4 % compared to traditional monoculture. This conclusion is based on the results of an experimental test conducted over three growing seasons (2020-2022).

2. The accumulation of nutrients in the soil has decreased due to the efficient cycling of biogenic components between rice crops and cultivated hydrobiont populations. The concentration of nitrates in the water environment of rice paddies decreased by 16 %. The leaching of mineral compounds from the soil decreased by 13 %.

3. The combined use of the combined cultivation system reduced the intensity of degradation processes in the soil cover and maintained the balance of macronutrients in the water used for irrigation. As a result, the overall ecological sustainability of the landscape increased significantly.

4. The most important indicator was the significant positive financial effect: the net profit of the farms increased by an average of 35 % over the three-year observation period (from 2020 to 2022, inclusive). It is noteworthy that the initial investment was fully justified and returned to the investors in less than three seasons of using the improved farming method.

Библиографический список

1. Ярных Э. А., Симонова М. Д. Агроэкология в контексте устойчивого развития: совершенствование системы показателей целей устойчивого развития. Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. 2022. № 6. С. 24-33.
2. Bakhtanin A. M., Ratkovich L. D., Glazunova I. V. Aspects of Multi-Year Flow Control In Relation To Trans-boundary Rivers. International Journal of Advanced Science and Technology. 2020. № 05. Pp. 2418-2439.
3. Ронжин А. Л., Нгия Л. В., Шувалов Н. Оптимизация технологической карты допустимых системотехнических решений задачи видеоаналитики аквакультуры. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Физика. 2024. Т. 16. № 2. С. 50-58.
4. Pham H. H., Tran D. T., Nguyen T. T., Thi Thanh Nguyen M., Pham D. T., Duong H. V., Nguyen C. X. Molecular identification of *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense (Foc) causing Fusarium wilt disease of Tieu Hong banana cultivar in the Red River Delta of Vietnam. Archives of Phytopathology and Plant Protection. 2024. V. 57. № 6. Pp. 470-490.
5. Truong Q. H., Le Ngoc T., Hoang T. N. H. Management of World Biosphere Reserves in Vietnam: Case Study at Cu Lao Cham-Hoi in Biosphere Reserve. VNU Journal of Science: Policy and Management Studies. 2024. V. 40. № 1.
6. Ле В. Н., Ронжин А. Л. Обзор интеллектуальных систем управления и робототехнических задач в производстве аквакультуры. Морские интеллектуальные технологии. 2024. С. 171.
7. Киселева Н. П. Обзор современного состояния и направлений совершенствования системы производственного экологического контроля в части специфики водопользования и охраны водных объектов. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2022. № 4 (48). С. 47.

8. Russo A., Cirella G. T. Urban Ecosystem Services: Agroecology, Green Spaces and Environmental Quality for Sustainable Futures. *Land*. 2025. 2. Art. 288.
9. Nelson K., Yen B. T., Trang V. H., Cuong O. Q., Tran N. B. FarMoRe provides an inclusive digital solution to co-create agroecology at scale for rice production in Vietnam. 2024.
10. Ma F., Chen B., Xue L., Hong L., Wang L., Ma L. River patterns transition of subaqueous distributary channels in delta front and its significances for petroleum geology: an insight from Paleogene Yabus Formation in the Sag A of Melut Basin, South Sudan. *Frontiers of Earth Science*. 2025. Pp. 1-14.
11. Ширяева М. А., Науменко Н. О., Карпенко Н. П. Применение инновационных технологий гидрологического мониторинга в целях прогнозирования качества воды водного объекта. *Медицина труда и экология человека*. 2024. № 2. С. 175-190.
12. 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.
13. Thoa H. T. Experience in developing lecturers in the fields of agriculture, forestry, and aquaculture in various countries: Lessons for colleges under the Ministry of Agriculture and Rural Development in Vietnam. *Tennessee Research International of Social Sciences*. 2024. V. 6. № 1. Pp. 38-51.
14. Giang P. Q., Khanal R. What next for marine ecosystem management in Vietnam: assessment of coastal economy, climate change, and policy implication. *Environmental Research Communications*. 2024. No 2. Art. 025002.
15. Vu N. H., Chi N. T. K. Stakeholders' assessment of feed produced from nutrients recovered from aquaculture waste in an emerging economy. *Aquaculture*. 2024. V. 593. Art. 741333.
16. Агеев В. Ю., Костоусов В. Г. Оценка и перспективы развития аквакультуры в Республике Беларусь в свете общемировых тенденций. *Вопросы рыбного хозяйства Беларуси*. 2025. Т. 1. № 40. С. 7-33.
17. Ванюкова Д. Д., Левковец А. Ю. Разработка водохозяйственного баланса реки Колыма. *Вестник науки*. 2025. Т. 3. № 1 (82). С. 1405-1412.
18. Пашыев Т. Д., Розыева З. Эффективное использование водных ресурсов с учетом уровня и минерализации грунтовых вод. *Вода в Центральной Азии: будущее в сотрудничестве*. 2024. С. 156.
19. Болгов М. В., Беляев А. И. Водные проблемы Нижней Волги: основные факторы и компенсирующие мероприятия. *Известия РАН. Серия географическая*. 2024. Т. 87. № 6. С. 862-874.
20. Жаналиева Р. Н., Багбеков Р. К., Манглиева Ж. X., Эргашева Ш. А. Изучение проблем водных ресурсов Казахстана и стран Центральной Азии. *Journal of Advances in Engineering Technology*. 2024. № 2. С. 58-65.
21. Александровская Л. А. Совершенствование подходов к использованию водных ресурсов в системе сельскохозяйственного орошения. *Экономика и экология территориальных образований*. 2024. Т. 8. № 1. С. 54-60.
22. Hong H., Wang B., Xue D. Impact of Hinterland Manufacturing on the Development of Container Ports: Evidence from the Pearl River Delta, China. *Chinese Geographical Science*. 2024. V. 34. № 5. Pp. 886-898.
23. Cai C. et al. Seasonal effects of hydrodynamics and biofouling on the vertical transport of microplastics in the Vietnam coastal region, South China Sea. *Journal of Hazardous Materials*. 2025. Art. 139744.

References

1. Yarnykh E. A., Simonova M. D. Agroecology in the Context of Sustainable Development: Improving the System of Indicators for Sustainable Development Goals. *Proceedings of the Plekhanov Russian University of Economics*. 2022. No 6. Pp. 24-33.
2. Bakhtarin A. M., Ratkovich L. D., Glazunova I. V. Aspects of Multi-Year Flow Control In Relation To Transboundary Rivers. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2020. № 05. Pp. 2418-2439.
3. Ronzhin A. L., Ngia L. V., Shuvalov N. Optimization of the Technological Map of Admissible System Engineering Solutions for the Aquaculture Video Analytics Task. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematics. Mechanics. Physics*. 2024. Vol. 16. No 2. Pp. 50-58.
4. Pham H. H., Tran D. T., Nguyen T. T., Thi Thanh Nguyen M., Pham D. T., Duong H. V., Nguyen C. X. Molecular identification of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) causing *Fusarium* wilt disease of Tieu Hong banana cultivar in the Red River Delta of Vietnam. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*. 2024. V. 57. № 6. Pp. 470-490.
5. Truong Q. H., Le Ngoc T., Hoang T. N. H. Management of World Biosphere Reserves in Vietnam: Case Study at Cu Lao Cham-Hoi in Biosphere Reserve. *VNU Journal of Science: Policy and Management Studies*. 2024. V. 40. N 1.
6. Le V. N., Ronzhin A. L. Overview of Intelligent Control Systems and Robotic Tasks in Aquaculture Production. *Marine Intelligent Technologies*. 2024. P. 171.
7. Kiseleva N. P. Overview of the Current State and Directions for Improving the System of Production Environmental Control in Terms of the Specifics of Water Use and Protection of Water Objects. *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Applied Ecology. Urbanistics*. 2022. No 4 (48). P. 47.
8. Russo A., Cirella G. T. Urban Ecosystem Services: Agroecology, Green Spaces and Environmental Quality for Sustainable Futures. *Land*. 2025. 2. Art. 288.
9. Nelson K., Yen B. T., Trang V. H., Cuong O. Q., Tran N. B. FarMoRe provides an inclusive digital solution to co-create agroecology at scale for rice production in Vietnam. 2024.
10. Ma F., Chen B., Xue L., Hong L., Wang L., Ma L. River patterns transition of subaqueous distributary channels in delta front and its significances for petroleum geology: an insight from Paleogene Yabus Formation in the Sag A of Melut Basin, South Sudan. *Frontiers of Earth Science*. 2025. Pp. 1-14.
11. Shiryayeva M. A., Naumenko N. O., Karpenko N. P. Application of innovative technologies of hydrological monitoring for the purpose of forecasting the water quality of a water object. *Occupational Medicine and Human Ecology*. 2024. No. 2. Pp. 175-190.
12. Glazunova I. V., Sokolova S. A., Yashin V. M. Assimilation capacity of elements of reclaimed agro-landscapes in the creation of bioplots. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024. Vol. 14. No 2. Pp. 108-127.
13. Thoa H. T. Experience in developing lecturers in the fields of agriculture, forestry, and aquaculture in various countries: Lessons for colleges under the Ministry of Agriculture and Rural Development in Vietnam. *Tennessee Research International of Social Sciences*. 2024. V. 6. № 1. Pp. 38-51.
14. Giang P. Q., Khanal R. What next for marine ecosystem management in Vietnam: assessment of coastal economy, climate change, and policy implication. *Environmental Research Communications*. 2024. No 2. Art. 025002.

15. Vu N. H., Chi N. T. K. Stakeholders' assessment of feed produced from nutrients recovered from aquaculture waste in an emerging economy. *Aquaculture*. 2024. V. 593. Art. 741333.
16. Ageets V. Yu., Kostousov V. G. Assessment and prospects of aquaculture development in the Republic of Belarus in the light of global trends. *Issues of fisheries of Belarus*. 2025. Vol. 1. No 40. Pp. 7-33.
17. Vanyukova D. D., Levkovets A. Yu. Development of the water management balance of the Kolyma River. *Bulletin of science*. 2025. Vol. 3. No 1 (82). Pp. 1405-1412.
18. Pashcheyev T. D., Rozyeva Z. Efficient Use of Water Resources, Taking into Account the Level and Mineralization of Groundwater. *Water in Central Asia: The Future in Cooperation*. 2024. P. 156.
19. Bolgov M. V., Belyaev A. I. Water Problems in the Lower Volga Region: Main Factors and Compensatory Measures. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series*. 2024. Vol. 87. No 6. Pp. 862-874.
20. Zhanalieva R. N., Bagbekov R. K., Manglieva Zh. Kh., Ergasheva Sh. A. Study of the Problems of Water Resources in Kazakhstan and the Central Asian Countries. *Journal of Advances in Engineering Technology*. 2024. No 2. Pp. 58-65.
21. Aleksandrovskaya L. A. Improvement of approaches to the use of water resources in the agricultural irrigation system. *Economy and Ecology of Territorial Entities*. 2024. Vol. 8. No. 1. Pp. 54-60.
22. Hong H., Wang B., Xue D. Impact of Hinterland Manufacturing on the Development of Container Ports: Evidence from the Pearl River Delta, China. *Chinese Geographical Science*. 2024. V. 34. №. 5. Pp. 886-898.
23. Cai C. et al. Seasonal effects of hydrodynamics and biofouling on the vertical transport of microplastics in the Vietnam coastal region, South China Sea. *Journal of Hazardous Materials*. 2025. Art. 139744.

Информация об авторах

Глазунова Ирина Викторовна, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева (Российская Федерация, г. Москва), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4931-2008>, Web of Science Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/AAE-3507-2022>, SPIN-код: 7508-2272, AuthorID: 127917, e-mail: ivglazunova@mail.ru

Карпенко Нина Петровна, доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр гидро-техники и мелиорации имени А. Н. Костякова (Российская Федерация, г. Москва), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6638-149X>, Web of Science Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/AAD-9045-2022>, SPIN-код: 3054-6462, AuthorID: 532745, e-mail: nkarpenko@yandex.ru

Ширяева Маргарита Александровна, младший научный сотрудник, Федеральный научный центр гигиены имени Ф. Ф. Эрисмана Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Российская Федерация, Московская область, г. Мытищи), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8019-1203>, Web of Science Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/HKV-8583-2023>, SPIN-код: 4706-0330, AuthorID: 1081861, e-mail: Shiryayeva.MA@fncg.ru

Authors' Information

Glazunova Irina Victorovna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Russian Federation, Moscow), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4931-2008>, Web of Science Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/AAD-9045-2022>, SPIN code: 3054-6462, AuthorID: 127917, e-mail: ivglazunova@mail.ru

Karpenko Nina Petrovna, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, A. N. Kostyakov Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation (Russian Federation, Moscow), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6638-149X>, Web of Science Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/AAD-9045-2022>, SPIN code: 3054-6462, AuthorID: 532745, e-mail: nkarpenko@yandex.ru

Shiryayeva Margarita Aleksandrovna, Junior Researcher, Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Well-being (Russian Federation, Mytischki), ORCID: <http://orcid.org/0000-0000-0000-000X>, Web of Science Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/HKV-8583-2023>, SPIN code: 4706-0330, AuthorID: 1081861, e-mail: Shiryayeva.MA@fncg.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-18

THE SOIL-LIKE MATERIAL FERTILITY POTENTIAL AND ENVIRONMENTAL CONSTRAINTS: THE PLANT SELECTION JUSTIFICATION FOR RECLAMATION**Gracheva N. V., Khramova V. N., Kartushina Yu. N., Sivolobova N. O.***Volgograd State Technical University
Volgograd, Russian Federation*Corresponding author E-mail: gracheva.tasha@yandex.ru

Received 02.12.2025

Submitted 10.03.2026

Summary

Multivariate statistical methods were used to characterize soil-like material (SLM) from an old landfill in terms of the following agrochemical parameters: pH, organic matter content, available phosphorus, available potassium, ammonium nitrogen, nitrate nitrogen, exchangeable calcium, exchangeable magnesium, and sulfur. The variability in the chemical composition of SLM is shown to be caused by the combined transformation of organic and gypsum-containing waste, differing degrees of mineralization completion, and the presence of cover soil in the SLM, which together account for 82.46 % of the data variance. Multivariate analysis identified three stable agrochemical types of SLM. Some are suitable for direct use, while others require pretreatment to address chemical imbalances that could compromise safety or plant growth. Based on these findings, a reclamation seed mixture suitable for degraded lands in arid climates was selected, comprising perennial grasses and legumes. The proposed approach enables the safe utilization of SLM, reducing pressure on natural soils and implementing circular economy principles under arid climatic conditions.

Abstract

Introduction. Soil degradation is one of the most pressing environmental challenges. Globally, an estimated 24 billion tons of soil are lost annually due to erosion and degradation. Moreover, the formation of a 1-cm humus horizon requires at least 100 years, rendering soils a practically non-renewable resource on human timescales. This underscores the urgent need to identify alternative fertile substrates, particularly for the reclamation of degraded lands. In this context, soil-like material (SLM) formed through the biological transformation of organic waste in landfills represents a promising secondary resource for integration into land management practices. A fundamental criterion for assessing SLM suitability as a substitute for fertile topsoil is ensuring ecological safety, as its chemical composition may contain elements at concentrations capable of disrupting soil processes, suppressing vegetation, or causing secondary environmental contamination. This study is relevant because it develops reliable criteria and methods for evaluating the suitability of soil-like material (SLM) in land reclamation while accounting for its agrochemical heterogeneity and associated ecological constraints. **Object.** Soil-like material (SLM) from the landfill located in the Voroshilovsky District of Volgograd, Russia. **Materials and methods.** Key agrochemical properties, including organic matter, available phosphorus and potassium, ammonium and nitrate nitrogen, exchangeable calcium and magnesium, available sulfur, and pH, were determined using standard Russian State methods: GOST 26213-91, GOST 26205-91, GOST 26489-85, GOST 26487-85, GOST 26490-85, GOST 26423-85. Statistical analysis included descriptive statistics, Pearson correlation analysis, principal component analysis (PCA) with Quartimax rotation, and hierarchical cluster analysis using Ward's method. **Results and Conclusions.** The variability in SLM agrochemical properties and its associated ecological constraints depend on the composition of co-transformed waste streams, the degree of mineralization completion, and the characteristics of the cover soil. Based on the identified SLM types, practical recommendations for its application were developed, and a plant species composition was selected for the reclamation of degraded lands.

Keywords: use of soil-like material, soil fertility, organic waste transformation.

Citation. Gracheva N. V., Khramova V. N., Kartushina Yu. N., Sivolobova N. O. The soil-like material fertility potential and environmental constraints: the plant selection justification for reclamation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 168-179 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-18.

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

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

УДК 504.064:631.4

ПЛОДОРОДНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ПОЧВОПОДОБНОГО МАТЕРИАЛА: ОБОСНОВАНИЕ ПОДБОРА РАСТЕНИЙ ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

Грачева Н. В., кандидат технических наук, доцент

Храмова В. Н., доктор биологических наук, профессор

Картушина Ю. Н., кандидат геолого-минералогических наук, доцент

Сиволобова Н. О., кандидат биологических наук, доцент

*ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»
г. Волгоград, Российская Федерация*

Аннотация. В работе представлены результаты многомерного статистического анализа агрохимических показателей (рН, гумус, подвижный фосфор, подвижный калий, аммиачный и нитратный азот, обменный кальций, обменный магний, сера) почвоподобного материала (ППМ) со старой свалки. Показано, что изменчивость химического состава ППМ обусловлена совместной трансформацией органических и содержащих гипс отходов и различной законченностью процессов минерализации, а также наличием в ППМ покровного грунта, объясняющих 82,46 % дисперсии данных. Выявлено три устойчивых агрохимических типа ППМ и экологические ограничения их использования. Показано, что одни типы ППМ можно использовать без подготовки, другие требуют подготовки для корректировки и улучшения агрохимических показателей. С учетом полученных данных подобрана травосмесь для рекультивации нарушенных земель в условиях аридного климата, включающая многолетние злаковые и бобовые растения. Предложенный подход позволяет обеспечить безопасное использование ППМ, снижая нагрузку на природные почвы и реализуя принципы циркулярной экономики в условиях аридного климата.

Актуальность. Деградация плодородных почв является одной из острых экологических проблем. Ежегодно глобально теряется около 24 млрд тонн плодородного слоя, а в аридных регионах темпы деградации выше среднемировых. При этом формирование 1 см гумусного горизонта требует не менее 100 лет, что делает почвы практически невозобновляемым ресурсом. Это определяет необходимость поиска альтернативных плодородных субстратов, особенно для проведения рекультивации нарушенных земель. В этом контексте почвоподобный материал (ППМ), формирующийся в ходе биологической трансформации органических отходов на свалках, представляет собой перспек-

тивный объект для вовлечения в хозяйственный оборот в качестве вторичного ресурса. Основопологающим фактором при оценке пригодности ППМ в качестве альтернативы плодородному слою почвы является обеспечение экологической безопасности, поскольку его химический состав может содержать элементы в концентрациях, способных нарушать почвенные процессы, угнетать растительность или вызывать вторичное загрязнение окружающей среды. Актуальность исследования определяется необходимостью разработки научно обоснованных критериев и методов оценки пригодности ППМ для рекультивации нарушенных земель с учётом их агрохимической неоднородности и экологических ограничений. **Объект исследования.** Почвоподобный материал, сформированный в теле свалки, расположенной в Ворошиловском районе Волгограда. **Материалы и методы.** Ключевые агрохимические показатели, включая содержание органического вещества, доступного фосфора и калия, аммонийного и нитратного азота, обменного кальция и магния, доступной серы и pH, были определены с использованием стандартных российских государственных методов: ГОСТ 26213-91, ГОСТ 26205-91, ГОСТ 26489-85, ГОСТ 26487-85, ГОСТ 26490-85, ГОСТ 26423-85. Для анализа данных использованы описательная статистика, корреляционный анализ Пирсона, анализ главных компонент с вращением Quartimax, иерархический кластерный анализ с использованием метода Уорда. **Результаты и выводы.** Изменчивость агрохимических показателей ППМ и его экологические ограничения зависят от состава совместно трансформируемых отходов, законченности процессов минерализации и характеристик покровного грунта. С учетом выявленных типов ППМ разработаны рекомендации по его использованию и подобран состав растений для рекультивации нарушенных земель.

Ключевые слова: использование почвоподобного материала, плодородие почв, трансформация органических отходов.

Цитирование. Грачева Н. В., Храмова В. Н., Картушина Ю. Н., Сиволобова Н. О. Плодородный потенциал и экологические ограничения почвоподобного материала: обоснование подбора растений для рекультивации. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 168-179. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-18.

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. Охрана окружающей среды является одним из трех аспектов целей устойчивого развития, включающего, в том числе, повышение эффективности использования ресурсов и переход к рациональным моделям потребления и производства (ЦУР 12) [1]. В этом контексте почвоподобный материал (ППМ), формирующийся в ходе биологической трансформации органических отходов на свалках, представляет собой перспективный объект для вовлечения в хозяйственный оборот в качестве вторичного ресурса [2-4]. Его потенциал обусловлен не только значительными объёмами накопленных свалочных масс и высокой долей в них ППМ [2], но и выраженными плодородными свойствами, связанными с высоким содержанием гумуса и макроэлементов [5]. Использование ППМ в качестве плодородного грунта позволит снизить нагрузку на природные почвенные ресурсы, изымаемые для проведения рекультивации нарушенных земельных участков, минимизировать объёмы отходов, размещаемых на полигонах при ликвидации свалок, и реализовать принципы циркулярной экономики в сфере обращения с отходами. Основопологающим фактором при оценке пригодности ППМ в качестве альтернативы плодородному слою почвы является обеспечение экологической безопасности, поскольку его химический состав может содержать элементы в концентрациях, способных нарушать почвенные процессы, угнетать растительность или вызывать вторичное загрязнение окружающей среды.

Ранее проведенные исследования показали, что загрязнение ППМ на свалках неравномерно, и в некоторых случаях значительная его часть может быть использована [6]. Однако вопросы, связанные с экологическими ограничениями материала, обусловленными его агрохимическими особенностями, и подбором растений-рекультивантов с учётом этих специфических условий, до сих пор остаются недостаточно изученными. В предыдущих исследованиях установлено, что ППМ характеризуется высокой степенью гумусированности и обеспеченностью макроэлементами, что свидетельствует о его плодородном потенциале [5]. Однако наличие питательных веществ не гарантирует агрономическую пригодность материала. Дисбаланс агрохимических показателей создает экологические ограничения, которые препятствует устойчивой рекультивации.

Целью настоящего исследования является комплексная оценка плодородного потенциала ППМ на основе многомерного анализа данных агрохимических параметров и выявление экологических ограничений, обусловленных спецификой его химического состава, с последующим обоснованием подбора растений для рекультивации нарушенных земель, способных адаптироваться к этим условиям.

Материалы и методы. Исследования были проведены на ППМ, образцы которого были отобраны из вскрытых стихийным производством земляных работ пластов свалочных масс с глубины 2-5 метров на свалке, расположенной в Ворошиловском районе г. Волгоград (ноябрь 2021 г.). Выбор глубины отбора проб обусловлен данными предыдущих исследований, согласно которым ППМ, расположенный в свалочном теле на глубине ниже 2,5 м, характеризуется отсутствием и низким уровнем загрязнения [6]. Всего было отобрано 15 смешанных проб.

Аналитические исследования выполнены в испытательной лаборатории ФГБУ «Станция агрохимической службы «Михайловская»» (Волгоградская область) в ноябре-декабре 2021 г.

Были определены следующие параметры, характеризующие плодородие и экологическую безопасность ППМ:

- гумус по методу Тюринга (ГОСТ 26213-91);
- подвижный фосфор по методу Мачигина (ГОСТ 26205-91);
- подвижный калий по методу Мачигина (ГОСТ 26205-91);
- аммиачный азот (ГОСТ 26489-85);
- нитратный азот ионометрическим методом (ГОСТ 26489-85);
- обменный кальций (ГОСТ 26487-85);
- обменный магний (ГОСТ 26487-85);
- подвижная сера (ГОСТ 26490-85);
- pH (водная вытяжка), (ГОСТ 26423-85).

Сравнение агрохимических показателей ППМ проведено с данными для светло-каштановых почв, типичных для Волгоградской области в районе исследования [5].

Статистическая обработка полученных данных включала расчет средних значений, стандартного отклонения и коэффициента вариации. Корреляционный анализ Пирсона был применен для выявления линейных зависимостей между агрохимическими показателями.

Метод главных компонент (PCA) с вращением Quartimax был использован для снижения размерности данных и выявления скрытых факторов, определяющих плодородный потенциал и экологические ограничения. Адекватность PCA определялась по значению критерия Кайзера-Мейера-Олкина ($KMO > 0,7$) и тесту сферичности Бартлетта ($p < 0,05$) (Astel et al., 2011). Для выявления внутренней структуры агрохимического состава ППМ выполнен иерархический кластерный анализ (HCA) с использованием квадрата евклидова расстояния в качестве меры диссимильности и метода Уорда для объединения кластеров (Astel et al., 2011). Все расчёты выполнены в программе XLSTAT при уровне значимости $p < 0,05$.

Обоснование ассортимента растений-рекультивантов было проведено с учетом выявленных экологических ограничений на основе анализа данных, представленных в научной литературе (Ильин и др., 1988; Кандроков, 2009; Nefed'eva и др., 2019; Рудик, 2015; Шахов, 1956), а также [7, 8].

Результаты и обсуждение. В таблице 1 представлена описательная статистика данных содержания гумуса и питательных элементов в ППМ.

Таблица 1 – Описательная статистика агрохимических показателей почвоподобного материала (n = 15)
Table 1 – Descriptive statistics of agrochemical parameters of soil-like material (n = 15)

Параметр / Parameter	Значение параметра / Parameter value			
	Максимальное/ Минимальное / Maximum/ Minimum	Среднее / Average	Стандартное отклонение / Standard deviation	Коэффициент вариации / Coefficient of variation
pH	8,6 / 7,5	7,93	0,25	3,18
Гумус, % / Organic matter, %	7,4 / 1,3	4,19	2,28	54,48
P ₂ O ₅ , мг/кг / mg/kg	51,4 / 22,8	38,779	8,64	22,28
K ₂ O, мг/кг / mg/kg	1600 / 150	779,39	530,18	68,03
N-NO ₃ , мг/кг / mg/kg	347 / 6,2	84,98	109,78	129,19
N-NH ₄ , мг/кг / mg/kg	16,6 / 5,4	11,71	3,39	28,93
Ca, мг/кг / mg/kg	7500 / 1600	4189,33	2149,18	51,30
Mg, мг/кг / mg/kg	620 / 160	356,0	145,25	40,80
S, мг/кг / mg/kg	990 / 8,8	520,77	445,36	85,52

Анализ описательной статистики выявил высокую неоднородность и пространственную изменчивость ППМ по таким параметрам, как нитратный азот, подвижная сера, калий, гумус, магний и кальций (коэффициент вариации $> 30\%$). Высокая изменчивость, вероятно, обусловлена антропогенным происхождением компонентов ППМ – включением органических отходов, строительных материалов и пересыпных грунтов, – а также незавершенной гомогенизацией или неравномерной трансформацией веществ в условиях техногенного субстрата. Это объясняет как высокие абсолютные концентрации, так и их неравномерное распределение. Использование такого неоднородного материала в рекультивационных работах может привести к нестабильным агрохимическим и фитоценотическим результатам, что обуславливает необходимость обязательного этапа гомогенизации (усреднения) перед применением ППМ. Значения коэффициента вариации для аммонийного азота (28,93 %) и подвижного фосфора (22,28 %) указывают на умеренную изменчивость, свидетельствуя о сравнительно равномерном распределении этих элементов в объеме материала. Наименьшее значение коэффициента вариации определено для pH. Значения этого параметра изменяются в узком диапазоне и соответствуют слабощелочной среде, за исключением максимального (щелочная среда) и минимального (нейтральная среда) значения [5]. Стабильная слабощелочная среда обеспечивает однородные химические условия во всей массе ППМ. Согласно данным описательной статистики обеспокоенность вызывает содержание подвижного калия (779 мг/кг K_2O по Мачигину) и подвижной серы (520,77 мг/кг). Средние значения калия превышают агрохимически оптимальный уровень для сельскохозяйственных культур (200-300 мг/кг) более чем в 2 раза [5]. Средняя концентрация подвижной серы значительно превышает фоновые значения для почв Волгоградской области (5,4-6,2 мг/кг) по данным многолетних наблюдений за 1988-2016 гг., и обуславливает отнесение исследуемого материала в соответствии с классификацией Агрохимслужбы России к 3-й группе – с высоким содержанием серы (> 12 мг/кг) (Аристархов, 2016; Сухова и др., 2017). Высокое содержание подвижной серы предположительно обусловлено присутствием в ППМ строительных отходов, содержащих гипс [2, 9].

Высокая изменчивость отдельных показателей указывает на сложную внутреннюю структуру ППМ, обусловленную не только гетерогенностью исходных компонентов, но и взаимосвязями между химическими элементами, формирующимися в процессе трансформации. Характер и сила этих взаимосвязей были оценены с помощью корреляционного анализа Пирсона (таблица 2).

Таблица 2 – Корреляционная матрица Пирсона
Table 2 – Pearson correlation matrix

Параметр / Parameter	pH	Гумус / Organic matter	P_2O_5	K_2O	N- NO_3	N- NH_4	Ca	Mg	S
pH	1	-0,26	0,28	-0,23	-0,26	-0,44	-0,33	-0,21	-0,40
Гумус / Organic matter	-0,26	1	-0,87	0,88	0,36	0,42	0,84	0,79	0,82
P_2O_5	0,28	-0,87	1	-0,71	-0,35	-0,53	-0,85	-0,70	-0,86
K_2O	-0,23	0,88	-0,71	1	0,66	0,38	0,83	0,71	0,76
N- NO_3	-0,26	0,36	-0,35	0,66	1	0,21	0,70	0,18	0,60
N- NH_4	-0,44	0,42	-0,53	0,38	0,21	1	0,44	0,46	0,49
Ca	-0,33	0,84	-0,85	0,83	0,70	0,44	1	0,62	0,95
Mg	-0,21	0,79	-0,70	0,71	0,18	0,46	0,62	1	0,67
S	-0,40	0,82	-0,86	0,76	0,60	0,49	0,95	0,67	1

Корреляционный анализ выявил два противоположных по направленности агрохимических блока в ППМ. Первый блок включает гумус, подвижный калий, обменный кальций, магний и подвижную серу, между которыми наблюдаются очень тесные положительные связи ($r = 0,71-0,95$). Наиболее выражена корреляция между кальцием и серой ($r = 0,95$), что указывает на их совместное поступление из общего источника – вероятно, содержащих гипс строительных отходов (гипсокартона, штукатурки) [2, 9]. В слабощелочной среде (pH 7,5-8,6) наиболее вероятной формой фиксации кальция являются органо-кальциевые комплексы – кальциевые соли гуминовых кислот, что способствует стабилизации гумуса и улучшению структурных свойств материала. Такая связь объясняет высокую корреляцию между гумусом и кальцием ($r = 0,84$). Молярное соотношение кальция и серы

($\approx 6:1$) значительно превышает стехиометрию сульфата кальция ($1:1$), что может быть обусловлено различной подвижностью этих ионов в почвоподобном материале. Кальций эффективно удерживается поглощающим комплексом гумуса ППМ, а сульфат-анионы не связываются с ППМ и склонны к вымыванию при увлажнении. Поэтому, несмотря на общий источник и равное поступление компонентов в ППМ, со временем происходит селективное «обеднение» материала сульфатами и рост соотношения кальций: сера. Одновременно высокая корреляция катионов и подвижной серы с гумусом ($r = 0,79-0,88$) указывает на то, что пространственное сопряжение органических отходов и антропогенных включений способствует их взаимной трансформации и приводит к формированию гетерогенных гумусовых агломератов, обогащённых калием, кальцием, магнием и сульфатами. Необходимо отметить, что в катионной части комплекса наблюдается значительное преобладание кальция над магнием. Среднее соотношение по массе ($\text{Ca}:\text{Mg} \approx 12:1$) превышает оптимальное значение для светло-каштановых почв ($\text{Ca}:\text{Mg} 5:1$) [10] и может создавать условия для катионного антагонизма, при котором избыток кальция затрудняет поглощение магния растениями, несмотря на достаточное его содержание в ППМ. Это обстоятельство следует учитывать при подборе рекультивационных культур и, при необходимости, предусматривать внесение магниевых удобрений.

Второй блок, представленный подвижным фосфором, демонстрирует устойчивые отрицательные корреляции со всеми элементами первого блока. Это указывает на принципиальное различие в происхождении и пространственном распределении фосфора по сравнению с другими питательными элементами. Среднее содержание подвижного фосфора ($38,3 \text{ мг/кг } \text{P}_2\text{O}_5$) соответствует повышенному уровню обеспеченности [11] и близко к оптимальному диапазону для светло-каштановых почв ($30-35 \text{ мг/кг } \text{P}_2\text{O}_5$) [12]. Такой уровень свидетельствует о том, что источником фосфора в ППМ, вероятно, являются переотложенные грунты естественного происхождения, обладающие умеренным содержанием фосфатов. Несмотря на агрономическую достаточность, фосфор не вовлечён в основной техногенный агрохимический цикл, формируемый совместным поступлением органических и гипсо-содержащих отходов. Это обстоятельство может приобрести значение при долгосрочном использовании ППМ в рекультивационных целях, особенно в условиях интенсивного выноса фосфора растениями-рекультивантами и отсутствия его пополнения за счёт внесения фосфорных удобрений.

Нитратный азот занимает промежуточное положение в структуре агрохимических связей ППМ: он положительно коррелирует с калием, кальцием и серой ($r = 0,60-0,70$), но демонстрирует слабую связь с магнием ($r = 0,18$) и умеренную – с гумусом ($r = 0,36$). Наблюдаемая корреляция может отражать пространственную и процессную сопряжённость: в зонах, обогащённых органическими отходами, одновременно происходят формирование гумуса и интенсивная нитрификация, приводящая к накоплению нитратов. Таким образом, связь N-NO_3 с гумусом служит индикатором незавершённой стабилизации органического вещества и локальной микробной активности, характерной для стадии активной трансформации биомассы. Высокие концентрации нитратов обуславливают риски загрязнения подземных и поверхностных вод, их аккумуляции в растительной массе и последующего накопления в трофических цепях.

Таким образом, структура ППМ определяется наложением двух процессов: (1) совместным преобразованием органических и строительных отходов, приводящим к формированию доминирующего гумусового катионно-сульфатного комплекса, обогащённого калием, кальцием, магнием и сульфатами; (2) ограниченным поступлением фосфора, обусловленным отсутствием или низким содержанием фосфатсодержащих компонентов в составе исходных материалов.

Выявленные корреляционные зависимости указывают на наличие сложной внутренней структуры в химическом составе почвоподобного материала. Однако корреляционный анализ, будучи парным методом, не позволяет оценить совокупное влияние множества взаимосвязанных параметров и выявить скрытые факторы, определяющие агрохимическую специфику и рекультивационный потенциал ППМ.

Для решения этой задачи был применён метод анализа главных компонент (РСА), позволяющий снизить размерность данных и интерпретировать систему взаимосвязанных переменных через ограниченное число ортогональных факторов, отражающих основные источники вариации. Анализ главных компонент был выполнен с использованием корреляционной матрицы и стандартизации переменных.

Адекватность применения РСА подтверждена:

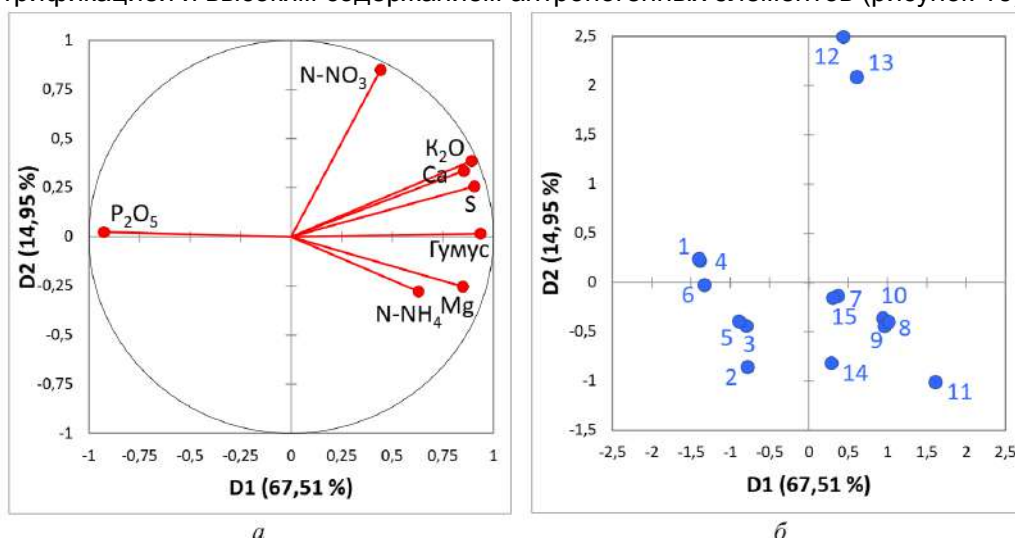
- значением критерия Кайзера-Мейера-Олкина ($KMO = 0,735 > 0,7$), что указывает на достаточную степень взаимосвязанности переменных;
- и значимым результатом теста сферичности Бартлетта ($p < 0,001$), свидетельствующим о том, что корреляционная матрица отличается от единичной и пригодна для факторизации.

Параметр pH был исключён из анализа главных компонент ввиду его низкой корреляции с остальными агрохимическими показателями ($|r| < 0,45$) и минимальной пространственной изменчивости.

Для интерпретации отобраны первые две главные компоненты, объясняющие в совокупности 82,46 % общей дисперсии, что соответствует общепринятым стандартам в области агрохимии и почвенной экологии. На рисунке 1 представлены результаты анализа главных компонент после Quartimax-ротации агрохимических показателей ППМ. Показано, что первая главная компонента (D1) объясняет 67,51 % общей дисперсии, а вторая главная компонента (D2) – 14,95 %.

Первая компонента (D1) отражает доминирующий техногенный процесс – совместное присутствие гумуса, калия, кальция, магния и сульфатов (рисунок 1а). Образцы с положительными значениями D1 (7-15) характеризуются высоким содержанием этих элементов и могут рассматриваться как агрохимически обогащенные агломераты (рисунок 1б). Фосфор (P_2O_5), расположенный в противоположной части плоскости по компоненте D1, подтверждает свою независимость от основного антропогенного потока (рисунок 1а). Образцы с отрицательными значениями D1 (1-6 и др.) демонстрируют состав, близкий к природным почвам, с относительно высоким содержанием фосфора и низким уровнем антропогенных компонентов (рисунок 1б).

Вторая компонента (D2) связана с содержанием нитратного азота (рисунок 1а). Наиболее выражена она в образцах 12 и 13, что указывает на локальные зоны с интенсивной нитрификацией и высоким содержанием антропогенных элементов (рисунок 1б).



Примечание: проекции переменных на плоскость первых двух главных компонент (а), распределение наблюдений (образцов) в факторном пространстве (б).

Note: projections of variables onto the plane of the first two main components (a), distribution of observations (samples) in the factor space (b).

Рисунок 1 – Результаты анализа главных компонент (PCA) агрохимических показателей почвоподобного материала ($n = 15$), после Quartimax-ротации

Figure 1 – Results of principal component analysis (PCA) of agrochemical parameters of soil-like material ($n = 15$), after Quartimax-rotation

Таким образом, анализ главных компонент подтвердил гетерогенную природу ППМ и позволил выделить три основные группы образцов: антропогенно-обогащенные, антропогенно-обогащенные с незавершенной нитрификацией и близкие природным светло-каштановым почвам, что имеет практическое значение для целевого использования материала в рекультивационных работах.

Хотя анализ главных компонент позволил выявить ключевые факторы, формирующие агрохимическую структуру почвоподобного материала, и визуализировать распределение образцов в факторном пространстве, он не обеспечивает формального разделения объектов на однородные группы. Для решения задачи классификации проб по комплексу признаков был применён иерархический кластерный анализ. Данный подход позволил объединить образцы в кластеры с учётом многомерного сходства по всем агрохимическим параметрам (рисунок 2).

Результаты иерархического кластерного анализа объектов (рисунок 2) показали, что 15 образцов почвоподобного материала объединяются в три кластера при уровне различия ≈ 20 . Кластер 1 (образцы 1-6) – пробы с низким содержанием антропогенных компонентов и относительно высоким уровнем фосфора. Кластер 2 (образцы 12, 13) – химически нестабильные пробы с высоким содержанием гумуса, катионов и нитратов. Кластер 3 (образцы 7-11, 14, 15) – антропогенно-обогащённые пробы с высоким содержанием гумуса, катионов и сульфатов, но низким уровнем нитратов.

Полученные кластеры полностью согласуются с распределением образцов в факторном пространстве PCA (рисунок 1б), подтверждая наличие трёх основных типов агрохимических профилей в ППМ.

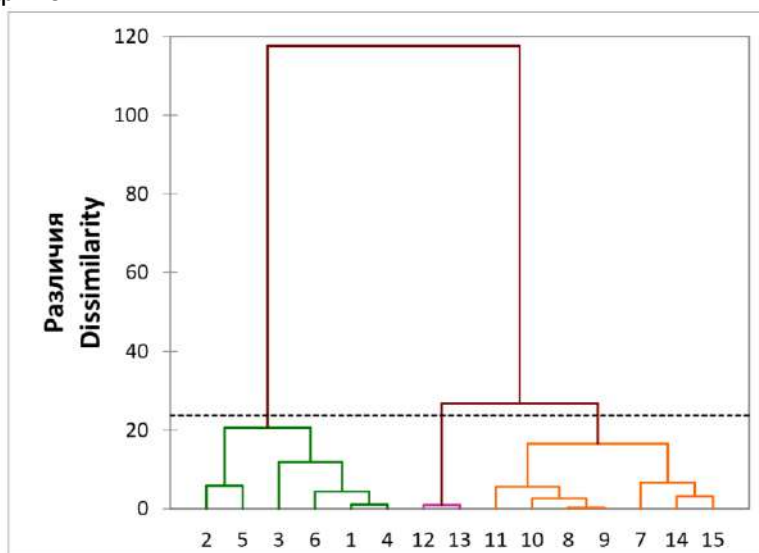


Рисунок 2 – Дендрограмма иерархического кластерного анализа агрохимических параметров почвоподобного материала (n = 15)

Figure 2 – Dendrogram of hierarchical cluster analysis of agrochemical parameters of soil-like material (n = 15)

В таблице 3 представлены агрохимические профили выявленных типов ППМ.

Таблица 3 – Средние значения агрохимических параметров по типам ППМ
Table 3 – Mean agrochemical characteristics by type of SLM

Параметр / Parameter	Тип 1 (n=6) / Type 1 (n=6)	Тип 2 (n=2) / Type 2 (n=2)	Тип 3 (n=7) / Type 3 (n=7)
Гумус, % / Organic matter, %	1,83	5,00	5,97
P ₂ O ₅ , мг/кг / mg/kg	46,80	35,50	32,83
K ₂ O, мг/кг / mg/kg	218	1380	1089
N-NO ₃ , мг/кг / mg/kg	12,68	343	73,21
N-NH ₄ , мг/кг / mg/kg	9,65	11,85	13,43
Ca, мг/кг / mg/kg	1993	7090	5243
Mg, мг/кг / mg/kg	220	340	477
S, мг/кг / mg/kg	42,33	987	798

Примечание: Тип 1 – образцы с низким содержанием антропогенных компонентов; Тип 2 – химически нестабильные образцы; Тип 3 – антропогенно-обогащённые образцы.

Note: Type 1 – samples with low content of anthropogenically components, Type 2 – chemically unstable samples; Type 3 – anthropogenically -enriched samples.

Тип 1 (n=6) характеризуется низкими концентрациями всех антропогенных компонентов: содержание калия (218 мг/кг), кальция (1993 мг/кг) и серы (42,33 мг/кг) в 3,5-23 раза ниже, чем в других кластерах. При этом отмечается наиболее высокое содержание подвижного фосфора (46,8 мг/кг), что подтверждает происхождение ППМ преимущественно из естественного источника.

Тип 2 (n=2) представляет собой химически нестабильные ППМ с очень высокими значениями гумуса (5,00 %), калия (1380 мг/кг), кальция (7090 мг/кг) и, особенно, нитратного азота (343 мг/кг) – последний превышает средний уровень по выборке почти в 4 раза. Это указывает на локальные зоны интенсивной минерализации органического вещества.

Тип 3 (n=7) – антропогенно-обогащённые образцы – демонстрирует высокие, но менее экстремальные значения питательных элементов по сравнению с Типом 2. В этой группе зафиксировано максимальное содержание гумуса (5,97 %) и магния (477 мг/кг), что может свидетельствовать о более завершённой стадии трансформации органических отходов в стабильные гумусовые соединения.

Таким образом, кластерный анализ позволил количественно охарактеризовать три основных типа агрохимических профилей, имеющих практическое значение для использования при рекультивации. Низкое содержание сульфатов и катионов в Типе 1 делает его близким к грунтам естественного происхождения, тогда как высокие концентрации в Типах 2 и 3 требуют учёта при подборе рекультивационных культур, устойчивых к избытку кальция и сульфатов.

Согласно полученным результатам, ППМ с низким содержанием антропогенных компонентов (Тип 1) может использоваться без коррекции в качестве базового плодородного слоя благодаря высокому содержанию подвижного фосфора и отсутствию избытка сульфатов и катионов. ППМ антропогенно-обогащённый (Тип 3) может быть использован после обязательной гомогенизации для исключения локальных «горячих» точек и подбора рекультивационных культур, устойчивых к высокому содержанию сульфатов, к физиологическому недостатку магния, обусловленному дисбалансом Ca:Mg. ППМ с незавершёнными процессами нитрификации (Тип 2) требует биостабилизации: выдержки для завершения минерализации органического вещества и снижения концентрации нитратов, внесения магнийсодержащих удобрений для коррекции соотношения Ca:Mg, а также подбора растений, устойчивых к высокому содержанию нитрат-ионов.

Таким образом, основными ограничениями для использования ППМ в качестве плодородного слоя являются:

- избыток нитратов, обусловленный незавершённостью процессов нитрификации;
- избыток сульфатов и кальция, обусловленный присутствием гипсо-содержащих строительных отходов;
- физиологическая недоступность магния вследствие катионного антагонизма при высоком соотношении Ca:Mg;
- снижение биодоступности фосфора в условиях слабощелочной среды.

Следовательно, растения, используемые при рекультивации, должны не только обладать устойчивостью к указанным факторам, но и способствовать улучшению агрохимических свойств ППМ (например, через вынос солей или мобилизацию фосфора).

На основе выявленных агрохимических профилей ППМ и с учетом специфики аридного климата Волгоградской области разработаны рекомендации по подбору растений-рекультивантов. Для эффективной рекультивации рекомендуется использовать травосмеси различного состава (Nefed'eva и др., 2019).

При использовании первого типа ППМ, характеризующегося достаточным содержанием фосфора, умеренным уровнем магния и отсутствием выраженного засоления, целесообразен высев многолетних растений, включающих засухоустойчивые злаки: житняк гребневидный (*Agropyron cristatum*) сорта «Викрав» и пырей удлиненный (*Elymus elongatus*) сорта «Ставропольский 1» [8] в сочетании с бобовыми культурами: люцерной посевной (*Medicago sativa*) и эспарцетом песчаным (*Onobrychis arenaria*) [9]. Подобранные компоненты обладают комплементарными корневыми системами (мочковатые у злаков, стержневые у бобовых) и согласованными физиологическими особенностями, что минимизирует внутриценотическую конкуренцию и способствует формированию устойчивого симбиотического агроценоза. Все виды адаптированы к слабощелочной среде (pH 7,5-8,6), эффективно используют доступные формы питательных элементов и обеспечивают надёжную защиту от эрозии при минимальных затратах. В случае необходимости мобилизации фосфора (если

pH > 8,0) допускается однократный посев гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum*), способной снижать pH в ризосфере и повышать доступность фосфатов, на один сезон с последующей заменой на многолетники.

При использовании ППМ второго типа, характеризующегося экстремально высоким содержанием нитратов (до 347 мг/кг), рекомендуется двухэтапная стратегия. На первом этапе (1-2 года) проводится фитоочистка с использованием быстрорастущих аккумуляторов нитратов – подсолнечника однолетнего (*Helianthus annuus*) (Ильин и др., 1988) и горчицы сарептской (*Brassica juncea*) (Кандроков, 2009). На втором этапе (начиная с 3-го года) закладывается устойчивый многолетний травостой на основе тех же злаков и бобовых. При этом для люцерны рекомендуется предварительное внесение доломитовой муки с целью коррекции соотношения Ca:Mg (в среднем 21:1) и предотвращения магниевое голодания.

ППМ третьего типа, обогащённый кальцием, калием и сульфатами при выраженном дисбалансе Ca:Mg (в среднем 11:1), также требует подготовки. На первом этапе (1 год) осуществляется агрохимическая коррекция путём внесения доломитовой муки. При необходимости мобилизации фосфора (в условиях pH > 8,0) допускается однократный посев гречихи посевной. На втором этапе (с 2-го года) закладывается многолетний травостой с преобладанием пырея удлинённого и житняка гребневидного, в сочетании с эспарцетом песчаным (как основным бобовым компонентом) и ограниченным количеством люцерны – только при подтверждённой стабилизации соотношения Ca:Mg.

Дифференцированный подход к подбору растений, основанный на типизации ППМ с помощью многомерного анализа, позволяет не только обеспечить приживаемость рекультивационных культур, но и целенаправленно улучшать агрохимические свойства субстрата, превращая техногенный материал из объекта утилизации в ценный ресурс для восстановления нарушенных земель.

Заключение. На основании многомерного статистического анализа агрохимических показателей (pH, гумус, подвижный фосфор, подвижный калий, аммиачный азот, нитратный азот, обменный кальций, обменный магний, сера) почвоподобного материала со старой свалки, выявлены три устойчивых агрохимических типа ППМ и обоснованы дифференцированные подходы к их использованию при рекультивации. Показано, что изменчивость химического состава ППМ обусловлена совместной трансформаций органических и содержащих гипс отходов, различной законченностью процессов минерализации и включением покровного грунта, что объясняет 82,46 % дисперсии данных.

Эффективность различных подходов к использованию ППМ при рекультивации обусловлена соответствием выбранных методов и растений-рекультивантов специфике экологических ограничений каждого типа ППМ:

1. Для ППМ 1 Типа (агрохимический профиль близок светло-каштановым почвам) рекомендована непосредственная рекультивация без предварительной подготовки. Травосмесь из злаков (житняк гребневидный, пырей удлинённый) и бобовых (люцерна посевная, эспарцет песчаный) формирует устойчивый многолетний травостой, адаптированный к слабощелочной среде, что обеспечивает надёжную защиту от ветровой эрозии в аридных условиях.

2. Для ППМ 2 Типа (экстремально высокое содержание нитратов, избыток кальция и сульфатов, дисбаланс Ca:Mg) рекомендована двухэтапная рекультивация с предварительной фитоочисткой. На первом этапе подсолнечник и горчица как быстрорастущие культуры-аккумуляторы интенсивно поглощают нитраты и выносят их с биомассой, снижая концентрацию до безопасного уровня. Одновременно внесение доломитовой муки корректирует соотношение кальция и магния, устраняет катионный антагонизм и обеспечивает физиологическую доступность магния для последующего травостоя.

3. Для ППМ 3 Типа (избыток кальция и сульфатов, дисбаланс Ca:Mg, низкая биодоступность фосфора при pH > 8,0) рекомендована агрохимическая коррекция с биологической мобилизацией питательных элементов. Внесение доломитовой муки нормализует соотношение Ca:Mg, а однократный посев гречихи мобилизует фосфор за счёт выделения органических кислот в ризосферу с локальным снижением pH.

На втором этапе при использовании ППМ 2 и 3 Типов формируют многолетний травостой из бобовых и злаков с эспарцетом песчаным в качестве основной бобовой культуры, что обеспечивает приживаемость многолетнего травостоя при высоком содержании кальция.

Предложенный подход позволяет эффективно использовать ППМ как вторичный ресурс, снижая нагрузку на природные почвы и реализуя принципы циркулярной экономики в условиях аридного климата. Рекомендуется включать многомерный анализ в стандартную оценку ППМ и разрабатывать нормативы его применения по агрохимическим типам. Дальнейшие исследования должны быть направлены на расширение данных по агрохимическим типам ППМ.

Conclusions. This study presents the first application of a suite of multivariate statistical methods to characterize soil-like material (SLM) from an old landfill based on key agrochemical parameters: pH, organic matter content, available phosphorus and potassium, ammonium and nitrate nitrogen, exchangeable calcium and magnesium, and sulfur. This enabled the identification of three stable agrochemical types of SLM and their ecological constraints. The chemical variability of SLM is attributed to the combined transformation of organic waste and gypsum-containing residues, differences in mineralization, and variable admixtures of cover soil, which together account for 82.46 % of the total variance. The first SLM type is characterized by agrochemical parameter values close to those of light chestnut soils and can be used as a fertile layer. The second type is characterized by high organic matter content, along with elevated concentrations of potassium, calcium, nitrate, and sulfate ions, whereas the third type shows similarly high organic matter, potassium, calcium, and sulfate contents but lower nitrate concentrations.

The effectiveness of the proposed reclamation approaches for soil-like material (SLM) is determined by the correspondence between selected methods and plant species for the specific ecological constraint characteristic of each SLM type:

Type 1 SLM is suitable for direct reclamation without preliminary treatment. A grass-legume mixture comprising *Agropyron cristatum*, *Elytrigia elongata*, *Medicago sativa*, and *Onobrychis arenaria* forms a stable perennial sward adapted to weakly alkaline conditions (pH 7.5-8.6), providing reliable protection against wind erosion under arid climate conditions.

Type 2 SLM requires a two-stage reclamation scheme with preliminary phytoremediation. During the first stage, sunflower (*Helianthus annuus*) and mustard (*Brassica juncea*) – fast-growing nitrate-accumulator crops – intensively absorb nitrates and remove them with harvested biomass, reducing concentrations to safe levels. Concurrent application of dolomitic lime corrects the Ca:Mg ratio, eliminates cation antagonism, and ensures physiological availability of magnesium for the subsequent perennial sward.

Type 3 SLM necessitates combined agrochemical correction and biological mobilization of nutrients. Dolomitic lime application normalizes the Ca:Mg ratio, while a single-season buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) crop mobilizes phosphorus through exudation of organic acids into the rhizosphere, inducing local acidification and enhancing phosphate solubility.

In the second stage of reclamation for both Type 2 and Type 3 SLM, a perennial grass-legume sward is created, with sandy sainfoin (*Onobrychis arenaria*) as the main legume. This species ensures successful establishment and persistence of the vegetation cover under conditions of elevated calcium content.

The proposed approach enables the effective utilization of SLM as a secondary resource, reducing pressure on natural soils and implementing circular economy principles under arid climate conditions. We recommend that multivariate analysis be integrated into standard SLM assessment protocols and that application guidelines be developed based on agrochemical typology. Future research should focus on expanding the database of SLM agrochemical types to support evidence-based land reclamation practices.

Библиографический список

1. Сахаров А. Г., Колмар О. И. Перспективы реализации Целей устойчивого развития ООН в России. Вестник международных организаций. 2019. Т. 14. № 1. С. 189-206.
2. Chandana N., Goli V. S. N. S., Mohammad A., Singh D. N. Characterization and Utilization of Landfill-Mined-Soil-Like-Fractions (LFMSF) for Sustainable Development: A Critical Appraisal. Waste and Biomass Valorization. 2021. № 12. Pp. 641-662.
3. Datta M., Somani M., Ramana G. V., Sreekrishnan T. R. Feasibility of re-using soil-like material obtained from mining of old MSW dumps as an earth-fill and as compost. Process Safety and Environmental Protection. 2021. № 147. Pp. 477-487.
4. Rawat P., Mohanty S. Parametric study on dynamic characterization of municipal solid waste fine fractions for geotechnical purpose. Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste. 2022. № 26 (1). Pp. 1-12.
5. Грачева Н. В., Желтобрюхов В. Ф., Картушина Ю. Н., Романова Е. Л., Щербакова А. Ю. Оценка плодородия почвоподобного материала свалок. Инженерный Вестник Дона. 2025. № 8 (128). С. 990-1004.
6. Gracheva N., Khantimirova S., Zheltobryukhov V. A new approach for the assessment of the environmental risk of a soil-like fraction in landfills due to PTE contamination. Environmental Monitoring and Assessment. 2024. № 196. Art. 904.
7. Кравцов В. В., Кравцов В. А., Капустин А. С. Сорта многолетних трав для создания и улучшения сеенокосов и пастбищ в засушливых зонах Юга России. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2. С. 52-55.
8. Казиев М-Р. А., Ибрагимов К. М., Умаханов М. А., Теймуров С. А. Эспарцет песчаный: монография. Махачкала: Издательство АЛЕФ, 2022. 234 с.
9. Хантимирова С. Б., Мишустин О. А., Желтобрюхов В. Ф. Экологический мониторинг объекта размещения отходов Тракторозаводского района города Волгограда. Инженерный Вестник Дона. 2021. № 6 (78). С. 272-278.
10. Окопелова А. А., Егорова Г. С., Желтобрюхов В. Ф., Рахимова Н. А. Химические свойства почв УНПЦ «Горная Поляна». Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса. 2015. № 2 (38). С. 69-72.
11. Музраев В. Н. Влияние различных доз и сочетаний минеральных удобрений на урожай и качество ярового ячменя в сухостепной зоне Республики Калмыкия: диссертация. Москва, 2022. 163 с.
12. Титова В. И. К вопросу о рациональном использовании почв с очень высоким содержанием фосфора в интенсивном земледелии. Агрохимический вестник. 2017. № 1. С. 2-6.

References

1. Sakharov A. G., Kolmar O. I. Prospects for Implementing the United Nations Sustainable Development Goals in Russia. *Bulletin of International Organizations*. 2019. Vol. 14. No. 1. Pp. 189-206.
2. Chandana N., Goli V. S. N. S., Mohammad A., Singh D. N. Characterization and Utilization of Landfill-Mined-Soil-Like-Fractions (LFMSF) for Sustainable Development: A Critical Appraisal. *Waste and Biomass Valorization*. 2021. № 12. Pp. 641-662.
3. Datta M., Somani M., Ramana G. V., Sreekrishnan, T. R. Feasibility of re-using soil-like material obtained from mining of old MSW dumps as an earth-fill and as compost. *Process Safety and Environmental Protection*. 2021. № 147. Pp. 477-487.
4. Rawat P., Mohanty S. Parametric study on dynamic characterization of municipal solid waste fine fractions for geotechnical purpose. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*. 2022. № 26 (1). Pp. 1-12.
5. Gracheva N. V., Zheltobryukhov V. F., Kartushina Yu. N., Romanova E. L., Shcherbakova A. Yu. Assessment of the fertility of soil-like material in landfills. *Engineering Bulletin of the Don*. 2025. № 8 (128). Pp. 990-1004.
6. Gracheva N., Khantimirova S., Zheltobryukhov V. A new approach for the assessment of the environmental risk of a soil-like fraction in landfills due to PTE contamination. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2024. № 196. Art. 904.
7. Kravtsov V. V., Kravtsov V. A., Kapustin A. S. Varieties of perennial grasses for creating and improving hayfields and pastures in the arid zones of Southern Russia. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2019. № 2. Pp. 52-55.
8. Kaziev M. R. A., Ibragimov K. M., Umakhanov M. A., Teymurov S. A. Sandy esparcet: monograph. Makhachkala: ALEF Publishing House, 2022. 234 p.
9. Khantimirova S. B., Mishustin O. A., Zheltobryukhov V. F. Environmental monitoring of a waste disposal facility in Traktorzavodsky district of Volgograd. *Engineering Bulletin of the Don*. 2021. N 6 (78). Pp. 272-278.
10. Okolelova A. A., Egorova G. S., Zheltobryukhov V. F., Rakhimova N. A. Chemical properties of soils of the UNPC "Gornaya Polyana". *Proceedings of the Nizhnevolzhsky agro-university complex*. 2015. N 2(38). Pp. 69-72.
11. Muzraev V. N. The influence of various doses and combinations of mineral fertilizers on the yield and quality of spring barley in the dry steppe zone of the Republic of Kalmykia: dissertation. Moscow, 2022. 163 p.
12. Titova V. I. On the issue of rational use of soils with very high phosphorus content in intensive agriculture. *Agricultural and chemical bulletin*. 2017. No 1. Pp. 2-6.

Информация об авторах

Грачева Наталья Владимировна, кандидат технических наук, доцент, кафедры, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), e-mail: gracheva.tasha@yandex.ru

Храмова Валентина Николаевна, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), e-mail: hramova_vn@mail.ru

Картушина Юлия Николаевна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), e-mail: kartysina@rambler.ru

Сиволобова Наталья Олеговна, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), e-mail: svlbva.n@inbox.ru

Authors' Information

Gracheva Natalya Vladimirovna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd V. I. Lenin Ave., 28), e-mail: gracheva.tasha@yandex.ru

Khramova Valentina Nikolaevna, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd V. I. Lenin Ave., 28), e-mail: hramova_vn@mail.ru

Kartushina Yuliya Nikolaevna, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd V. I. Lenin Ave., 28), e-mail: kartysina@rambler.ru

Sivolobova Natalya Olegovna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd V. I. Lenin Ave., 28), e-mail: svlbva.n@inbox.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-19

THE MODERN ASSESSMENT OF THE WATER BODY QUALITY AND THE POTENTIAL OF THE ENVIRONMENTAL CRITERIA**Kulik A. K., Kulik D. K., Sazonov V. E., Istomin A. P.**

*Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: kulika@vfanc.ru

Received 15.01.2026

Submitted 10.03.2026

The research was conducted within the framework of the state assignment FNFE-2025-0004 "Theoretical Basis and Concept of Adaptive Solutions for Managing Phytocological Resources of Agricultural Landscapes in the Arid Zone of the Russian Federation at the Basin Level, Using System Dynamics Modeling of Soil-Hydrological Processes, Multifactorial Analysis of Climate Change Impact and Anthropogenic Loads."

Summary

The aim of the study is to assess the water quality of the water bodies (the Volga River and the Volgograd Reservoir) at various cross-sections based on comprehensive indices and the content levels of certain heavy metals in bottom sediments and hydrobionts (fish and mollusks).

Abstract

Introduction. The aim of the study is to assess the water quality of water bodies (the Volga River, the Volgograd Reservoir, and rivers of the Don Basin) at various cross-sections based on complexity coefficients and the content levels of certain heavy metals in bottom sediments and hydrobionts (fish and mollusks). **Object.** The object of the study is the hydrochemical composition of the Volga River (three cross-sections), the Volgograd Reservoir (two cross-sections), and their bottom sediments, as well as the content levels of heavy metals (cadmium, mercury, lead, copper, and arsenic) in the muscle tissues of hydrobionts (fish and mollusks), including rivers of the Don Basin. **Materials and Methods.** In assessing the levels of hydrochemical indicators that determine the value of the complexity coefficient, the content levels of a number of heavy metals (cadmium, mercury, lead, arsenic, and copper) in bottom sediments and in hydrobionts (pike-perch (*Sander lucioperca* L.), river perch (*Perca fluviatilis* L.), duck mussel (*Anodonta cygnea* L.)) were used as informative indicators. Based on the obtained data, Bottom Accumulation Coefficients (BAC) and Bioaccumulation Factors (BAF) for hydrobionts were determined for mercury and copper. The assessment of the hydrochemical state (based on the value of the complexity coefficient) of the Volga River, the Volgograd Reservoir, and the rivers of the Don Basin was conducted based on information from the Volgograd Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring – a branch of the Federal State Budgetary Institution "North Caucasian Administration for Hydrometeorology and Environmental Monitoring", presented in the annual Reports on the State of the Environment in the Volgograd Region. **Results and Conclusions.** Analysis of data on the content levels of heavy metals in the bottom sediments of the Volgograd Reservoir allowed the elements to be ranked in the following sequence: $Pb > Cu > As > Hg$; for rivers of the Don Basin: $Pb > Cu > As$. For hydrobionts: in mollusks of the Volgograd Reservoir: $Cu > Pb > Cd > As > Hg$; for rivers of the Don Basin: $Pb > Cu > As$. For fish of the Volgograd Reservoir: $Cu > Pb > As > Hg > Cd$; for rivers of the Don Basin: $Cu > Pb$. The identified levels of pollution in bottom sediments and hydrobionts, despite significant values of the Bottom Accumulation Coefficient (BAC) for mercury (4.2×10^4) and copper (1.1×10^4), and the Bioaccumulation Factor (BAF) for hydrobionts (mollusks – 4.7×10^3 , fish – 6.2×10^3), do not allow for a correct assessment of the negative ecological situation, as stable chemical pollution must persist for at least three years.

Given the above, an assessment methodology is required that would objectively characterize water bodies using a triad of criteria: hydrochemical, geochemical, and biological. Furthermore, the assessment of contaminant levels in hydrobionts must account for spatial and temporal indicators.

Keywords: water bodies, reservoirs, rivers of the Don basin, water pollution, bottom sediments, hydrobionts.

Citation. Kulik A. K., Kulik D. K., Sazonov V. E., Istomin A. P. The modern assessment of the water body quality and the potential of the environmental criteria. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 179-187 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-19.

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

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

УДК 556.53+574.52

**СОВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ
И ПОТЕНЦИАЛ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ**

Кулик А. К., ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук

Кулик Д. К., главный научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук

Сазонов В. Е., главный специалист

Истомин А. П., заместитель директора

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования проведены 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. До настоящего времени утвержденная методология экологической оценки качества поверхностных вод отсутствует. Реальная антропогенная нагрузка на экосистемы требует объективных количественных показателей изменения природной среды и соответствующих критериев оценки.

Изменение гидрологического и гидрохимического режима крупных водных объектов может способствовать последующим негативным явлениям, в частности приводить к значительному накоплению экотоксикантов в почве, растительном и животном мире (в первую очередь в гидробионтах).

В настоящее время загрязнение воды водных объектов определяется классом опасности веществ и кратностью превышения предельно допустимой концентрации (ПДК).

Целью исследования является оценка качества воды водных объектов (река Волга, Волгоградское водохранилище и реки Донского бассейна) на различных створах по коэффициентам комплексности и уровням концентраций ряда токсичных металлов в донных отложениях, а также в мышечных тканях водных организмов (ихтиофауны и моллюсков). **Объект.** В фокусе исследования находились химические характеристики воды и донных осадков, отобранных на нескольких створах реки Волги и Волгоградского водохранилища. Параллельно анализировались концентрации тяжелых металлов в гидробионтах, включая виды, обитающие в реках Донского бассейна. В ходе работы для оценки состояния вод, в том числе через расчет коэффициента комплексности, применялись данные по содержанию тяжелых металлов (кадмий, ртуть, свинец, медь и мышьяк) в мышечных тканях гидробионтов (рыбы и моллюски), включая реки Донского бассейна. **Материалы и методы.** При оценке уровней гидрохимических показателей, формирующих величину коэффициента комплексности в качестве информативных показателей использованы уровни содержания ряда тяжелых металлов (кадмий, ртуть, свинец, мышьяк и медь) в донных отложениях и в гидробионтах (судак обыкновенный (*Sander lucioperca* L.), окунь речной (*Perca fluviatilis* L.), беззубка (*Anodonta cygnea* L.)). На основании полученных данных определены коэффициенты донной аккумуляции и коэффициенты накопления для гидробионтов по ртути и меди.

Оценка гидрохимического состояния (по величине коэффициента комплексности) реки Волги, Волгоградского водохранилища и рек Донского бассейна проведена на основании информации Волгоградского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Северо-Кавказское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», представленной в ежегодных Докладах о состоянии окружающей среды Волгоградской области. **Результаты и выводы.** Анализ данных по уровням содержания тяжелых металлов в донных отложениях Волгоградского водохранилища позволил распределить элементы в следующей последовательности – $Pb > Cu > As > Hg$, для рек Донского бассейна – $Pb > Cu > As$. Для гидробионтов: по моллюскам Волгоградского водохранилища – $Cu > Pb > Cd > As > Hg$, для рек Донского бассейна – $Pb > Cu > As$. Для рыб Волгоградского водохранилища – $Cu > Pb > As > Hg > Cd$, для рек Донского бассейна – $Cu > Pb$.

Выявленные уровни загрязнения донных отложений и гидробионтов, несмотря на значительные показатели коэффициента донной аккумуляции (КДА) по ртути ($4,2 \cdot 10^4$), по меди ($1,1 \cdot 10^4$) и коэффициента накопления (КН) для гидробионтов (моллюски – $4,7 \cdot 10^3$, рыбы – $6,2 \cdot 10^3$), не позволяют корректно оценить негативную экологическую ситуацию, так как стабильное химическое загрязнение должно сохраняться в течение трех лет.

Учитывая изложенное, необходима методология оценки, позволяющая объективно характеризовать водные объекты, используя триаду критериев: гидрохимических, геохимических и биологических. При этом оценка уровней содержания загрязняющих веществ в организме гидробионтов должна учитывать пространственно-временные показатели.

Ключевые слова: водные объекты, водохранилища, реки Донского бассейна, загрязнение водных объектов, донные отложения, гидробионты.

Цитирование. Кулик А. К., Кулик Д. К., Сазонов В. Е., Истомин А. П. Современная оценка качества водных объектов и потенциал экологических критериев. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 179-187. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-19.

Авторский вклад. Планирование, выполнение и анализ данного исследования проводились авторами совместно. Все соавторы принимали участие в подготовке публикации и несут ответственность за содержание итогового варианта статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Введение. На сегодняшний день отсутствует утвержденная методология экологической оценки качества поверхностных вод. Наблюдаемое антропогенное воздействие на экосистемы требует объективных количественных показателей изменения природной среды и соответствующих критериев оценки.

Изменение гидрохимического и гидрологического режимов крупных водоёмов сопровождается негативными явлениями, приводит к накоплению экотоксикантов в донных отложениях и в гидробионтах.

Существующие классификации (качества поверхностных вод) по гидрохимическим и гидробиологическим показателям оценивают состояние водных объектов через соответствующие классы. С учетом гидрохимических показателей выделяется 5 классов: 1-й класс – условно чистые; 2-й – слабо загрязненные; 3-й – загрязненные; 4-й – грязные; 5-й – экстремально грязные. Качество вод по гидробиологическим показателям оценивают 6 классами: I класс – очень чистые, II – чистые, III – умеренно загрязненные, IV – загрязненные, V – грязные и VI – очень грязные.

В настоящее время загрязнение воды водных объектов определяется классом опасности веществ и кратностью превышения ПДК. При этом выделяется «высокое загрязнение» и «экстремально высокое загрязнение». Для веществ 1 класса опасности «высокое загрязнение» оценивается в случаях превышения ПДК от 3 раз, для веществ 2 класса – при достижении превышений ПДК до 5 раз. «Экстремально высокое загрязнение» оценивается в случаях кратности превышения ПДК в 5 раз и более (для веществ 1-2 классов), от 50 и более (для веществ 3-4 классов). Вместе с тем, интенсивность негативного фактора (загрязнения) оценивается концентрацией вредного вещества и не учитывает временной интервал, (продолжительность негативного воздействия).

Целью исследования является количественное определение содержания загрязняющих веществ в изучаемых водных объектах на различных створах по коэффициентам комплексности и уровням содержания некоторых тяжелых металлов в донных отложениях и гидробионтах (рыбы и моллюски).

Материалы и методы. Оценка гидрохимического состояния (по величине коэффициента комплексности) реки Волги и Волгоградского водохранилища проведена на основании информации Волгоградского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ЦГМС), опубликованной в ежегодных Докладах о состоянии окружающей среды Волгоградской области (Доклад о состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2007 году. 2008. С. 208-210) [1-3].

Коэффициенты донной аккумуляции (КДА) и коэффициенты накопления (КН) в гидробионтах рассчитаны по данным, представленным в Докладах о состоянии окружающей природной среды [1-3], с использованием соответствующих критериев оценки степени химического загрязнения поверхностных вод (Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. 1992. С. 26-28).

Результаты и обсуждение. Для оценки состояния водных объектов использован Метод комплексной оценки степени загрязнения поверхностных вод по гидрохимическим показателям (Руководящий документ РД 52.24.643-2002) позволяющий получить информацию об уровне загрязнения водоемов. Перечень обязательных и рекомендуемых показателей для характеристики состояния вод представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Набор параметров, используемых для оценки состояния водных объектов в рамках комплексного анализа

Table 1 – Parameters used in the comprehensive assessment of water body conditions
Перечень / List

Обязательный / Obligatory	Рекомендуемый / Recommended
Растворенный в воде кислород / Oxygen dissolved in water	Ртуть / Mercury
Биохимическое потребление кислорода за пять суток (БПК ₅) / Biochemical oxygen consumption	Кадмий / Cadmium
Химическое потребление кислорода (ХПК) / Chemical oxygen consumption	Свинец / Lead
Фенолы / Phenols	Мышьяк / Arsenic
Нефтепродукты / Petroleum products	Бор / Boron
Нитрит-ионы / Nitrite ions	Фтор / Fluorine
Нитрат-ионы / Nitrate ions	Алюминий / Aluminium
Аммоний-ион / Ammonium ion	Формальдегид / Formaldehyde
Железо общее / Common iron	Сульфиды / Sulfides
Медь / Copper	Анилин / Aniline
Цинк / Zinc	Сероводород / Hydrogen sulfide
Никель / Nickel	Метилмеркаптан / Methyl Mercaptan
Марганец / Manganese	Хлорорганические пестициды (ХОП) / Organochlorine pesticides
Хлориды / Chlorides	Фосфорорганические пестициды (ФОП) / Organophosphorus pesticides
Сульфаты / Sulfates	

Согласно нормативным требованиям, обязательному контролю подлежат пять химических элементов (Fe, Cu, Zn, Ni, Mn). Дополнительно рекомендуется отслеживать еще семь (Hg, Cd, Pb, As, B, Al, F). Кроме того, ингредиенты, которые важны для водопользователя при решении научно-исследовательских и производственных задач могут дополнять

представленный перечень. Необходимо обратить внимание, что до настоящего времени определение «высокого» и «экстремально высокого» уровня загрязнения воды водных объектов по гидрохимическим показателям определяется кратностью превышения норматива (ПДК), тогда как период подобного воздействия не регламентирован, то есть стабильность сохранения опасных параметров не учитывается. В данном аспекте «Критериями оценки экологической обстановки территорий...» предложены коэффициенты донной аккумуляции (КДА) и коэффициент накопления в гидробионтах (КН), позволяющие косвенно оценивать длительность воздействия.

Относительным показателем степени загрязнения поверхностных вод выступает коэффициент комплексности загрязненности воды (К), который выражается в процентах и изменяется от 1 до 100 при ухудшении качества. Динамика указанного показателя за 2006-2007 и 2023-2024 гг. (по данным Волгоградского ЦГМС) представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Величины коэффициента комплексности за 2006-2007 и 2023-2024 гг.
Table 2 – Complexity coefficient values for 2006-2007 and 2023-2024

Водный объект, пункт / Water body, point	Коэффициент комплексности, % / The coefficient of complexity, %	
	2006/2007 гг.	2023/2024 гг.
Волгоградское водохранилище, 1,5 км выше Камышина / Volgograd Reservoir, 1.5 km above Kamyshin	41 (40-47) / 33 (30-36)	26 (11-44) / 24 (11-44)
Волгоградское водохранилище, 2,5 км выше ГЭС (Волжский) / Volgograd Reservoir, 2.5 km above the HPP (Volzhsky)	35 (27-47) / 36 (27-47)	31 (15-70) / 28 (20-50)
р. Волга, 0,5 км ниже ГЭС / Volga river, 0.5 km below the HPP	33 (25-33) / 36 (31-44)	35 (15-63) / 27 (13-38)
р. Волга, 20,8 км ниже ГЭС / Volga river, 20.8 km below the HPP	36 (25-44) / 39 (25-56)	37 (15-63) / 32 (13-50)
р. Волга, 47,1 км ниже ГЭС / Volga river, 47.1 km below the HPP	37 (27-44) / 35 (25-56)	38 (23-63) / 41 (23-63)

Возрастание значения коэффициента комплексности свидетельствует о повышении загрязненности водного объекта, снижении качества воды на фоне антропогенного воздействия. Анализ представленных данных позволяет констатировать незначительное увеличение коэффициента комплексности в городской черте. На этих же створах регистрируются максимальные уровни БПК₅ и ХПК.

Существующая гидробиологическая оценка строится на регистрации состояния основных сообществ (фито- и зоопланктона, перифитона, зообентоса), с получением соответствующих количественных показателей, преобразуемых в гидробиологические индексы, которые и выступают критериями оценки качества вод (с выделением соответствующего класса). Таким образом, влияние загрязняющих веществ на водные объекты выражается через категории качества.

Вместе с тем необходимость реализации статьи 57 «Порядок установления зон экологического бедствия, зон чрезвычайных ситуаций» Федерального закона от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» требует разработки соответствующих критериев выделения зон экологического неблагополучия.

Ранее последовательные границы изменения состояния экосистем и степени химического загрязнения поверхностных вод, воздуха и гидробионтов оценивались в соответствии с «Критериями оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия» (Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. 1992. С. 26-28).

Гидрохимические показатели оказывают существенное влияние на величину коэффициента комплексности. Так, величина БПК₅ и ХПК отнесены к обязательным при характеристике гидрохимического состояния, а их соотношение используется для оценки трофности водоема. Величина БПК₅ характеризует суммарное содержание органических веществ, которые подвергаются биохимической деструкции, а окисляемость (ХПК) выступает интегральным показателем содержания органических и минеральных веществ, которые разрушаются в присутствии сильных окислителей. В настоящее время ХПК признан одним

из значимых показателей антропогенного загрязнения водоемов и широко используется в практике оценки водных объектов. Уровни значений рассматриваемых показателей представлены в ежегодных Докладах о состоянии окружающей среды Волгоградской области, а отношение БПК₅ к ХПК для различных водоемов составляет 0,08-0,12. Так, на границе с Саратовской областью этот показатель (для Волгоградского водохранилища) составляет 0,10, перед плотиной ГЭС – 0,12. Использование данного показателя позволяет прогнозировать последующее «поведение» токсикантов в водных экосистемах. Стабильные в водной среде загрязняющие вещества (ХОП, пиридины, анионы Br, J, NO₂ и др), не подвергающиеся деструкции могут длительно сохраняться в водных объектах, переноситься течением на значительные расстояния, накапливаться в донных отложениях, гидробионтах и определять стабильное химическое загрязнение [4-6]. Необходимо отметить, что величина отношения БПК₅/ХПК используется в качестве критерия (показатель биологической диссимилиации) оценки опасности для природной среды [7]. Учитывая, что для рассматриваемых показателей (БПК₅, ХПК) утверждены нормативы оценки загрязнения поверхностных вод (ПДК_{р.х.} 2,0 и 15,0 мг/л) оптимальный коэффициент биологической диссимилиации оценивается величиной 0,13, а снижение его величины, при сохранении нормативного уровня биохимического потребления кислорода свидетельствует об увеличении уровня содержания трудноокисляемых веществ и возрастании опасности загрязнения водоёма.

При оценке уровней гидрохимических показателей, определяющих величину коэффициента комплексности, также использовали показатели содержания пяти элементов (кадмий, ртуть, свинец, медь и мышьяк) в донных отложениях и в гидробионтах, которые наблюдались на соответствующих пунктах водных объектов. Для ртути и меди рассчитаны коэффициенты накопления в гидробионтах (судак, окунь, беззубка) и коэффициент донной аккумуляции. При этом принципиальное значение приобретает разработка количественных показателей изменений природных сред (атмосферы, гидросферы, почвы и биоты), временные периоды воздействия и выявление ранних признаков негативных явлений [8, 9].

Содержание тяжелых металлов (ТМ) в гидробионтах различных трофических уровней представлено широким диапазоном. Так, содержание в рыбе (судак) кадмия составляет от следовых количеств (менее 0,002) до 0,005, свинца – 0,08-0,30, меди – 0,60-1,04, мышьяка – 0,01-0,05, ртути 0,025 мг/кг. Содержание ТМ в моллюсках (беззубка) составляет: кадмия – 0,09-0,13, свинца – 0,10-0,20, меди – 0,30-0,60, мышьяка – 0,06-0,09, ртути 0,006-0,019 мг/кг. Полученные результаты демонстрируют значительную вариабельность в степени аккумуляции тяжелых металлов даже у гидробионтов, обитающих в сходных условиях. Можно заключить, что спектр накопленных металлов в организмах является индикатором их присутствия в абиотических компонентах экосистемы (воде и донных отложениях), а четкая картина такого накопления формируется, как правило, в результате длительного, хронического загрязнения [10-12].

Используя полученные количественные данные о содержании тяжелых металлов в донных отложениях и в организме гидробионтов (мышечная ткань) с различными пищевыми рационами нами рассчитаны коэффициенты накопления ртути и меди (таблица 3). Для сопоставления величин накопления представлены данные по рекам Донского бассейна.

Для Волгоградского водохранилища КДА по ртути составляет $3,4-4,2 \cdot 10^4$, по меди $6,1-10,0 \cdot 10^3$, для гидробионтов КН оцениваются на уровне $6,2 \cdot 10^3$ (ихтиофауна), $1,5-4,7 \cdot 10^3$ (моллюски). При этом в реках Донского бассейна накопление ртути в донных отложениях и гидробионтах не выявлено. Значительные уровни меди определены в донных отложениях Волгоградского водохранилища (12,3-20,0 мг/кг) и в реках Донского бассейна (0,8-6,8 мг/кг). При этом величины (КДА) по данному элементу составили $6,1 \cdot 10^3-1,1 \cdot 10^4$ для донных отложений Волгоградского водохранилища.

Содержание меди в гидробионтах оцениваются следующими величинами (КН): в Волгоградском водохранилище по моллюскам $1,5-3,0 \cdot 10^2$, по хищным рыбам (судак, окунь) – $5,2 \cdot 10^2$; в реках Донского бассейна по моллюскам – $3,5 \cdot 10^2$, по хищным рыбам – $5,2 \cdot 10^2$. Наблюдаемые уровни рассматриваемого элемента отражают его содержание в донных отложениях. Отметим, что коэффициенты накопления меди в организме гидробионтов на порядок ниже, чем у ртути (по Волгоградскому водохранилищу), несмотря на превышение уровня его содержания в донных отложениях и гидробионтах. Указанная ситуация связана со значительным различием нормативов (ПДК_{р.х.}) для рассматриваемых элементов.

Таблица 3 – Уровни содержания тяжелых металлов в донных отложениях и гидробионтах (мг/кг)
Table 3 – Heavy metal levels in bottom sediments and hydrobionts (mg/kg)

Тяжелые металлы / Heavy metals	Донные отложения / Bottom sediments		Гидробионты / Hydrobionts			
	Волгоградское водохранилище / Volgograd Reservoir	реки* Донского бассейна / rivers* of the Don basin	Моллюски / shellfish		хищные рыбы / predatory fish	
			Волгоградское водохранилище / Volgograd Reservoir	реки* Донского бассейна / rivers* of the Don basin	Волгоградское водохранилище / Volgograd Reservoir	реки* Донского бассейна / rivers* of the Don basin
Кадмий / Cadmium	< 0,1	< 0,1	0,09-0,13	< 0,002	0,005	< 0,002
Ртуть / Mercury	0,15-0,21 3,4-4,2·10 ⁴	< 0,01	0,006-0,019 1,5-4,7·10 ³	< 0,002	0,025 6,2·10 ³	< 0,002
Свинец / Lead	11,3-24,7	0,5-2,1	0,1-0,2	0,07-0,15	0,3	0,08
Мышьяк / Arsenic	1,8-3,3	0,1-2,4	0,06-0,09	0,01-0,06	0,05	< 0,01
Медь / Copper	12,3-20,0 6,1·10 ³ -1,1·10 ⁴	0,8-6,8	0,3-0,6 1,5-3,0·10 ²	0,069 3,5·10 ²	1,04 5,2·10 ²	0,6 3,0·10 ²

*(Хопер, Медведица, Иловля / Koper, Medveditsa, Ilovlya)

Анализ полученных данных показал, что величины коэффициентов донной аккумуляции по ртути для Волгоградского водохранилища составляют $3,4-4,2 \cdot 10^4$, коэффициенты накопления для гидробионтов (моллюски, рыбы) $1,5-4,7 \cdot 10^3$ и $6,2 \cdot 10^3$ соответственно, а также аналогичный показатель по меди $6,1-10,0 \cdot 10^3$ (КДА), позволяют предположить о неблагоприятной экологической ситуации по рассмотренному коэффициенту (КДА). По величине КН в гидробионтах $1,5-5,2 \cdot 10^2$ наблюдается относительно удовлетворительная ситуация. Необходимо также отметить, что использование рассмотренных критериев оценки степени химического загрязнения вод производится при стабильном сохранении загрязнения вод в течение трех лет.

Закключение. Анализ данных геохимической ассоциации изученных элементов (по величинам уровней содержания) в донных отложениях и в организме гидробионтов Волгоградского водохранилища позволил распределить элементы представленные в таблице 3 в следующей последовательности: Pb > Cu > As > Hg, для рек Донского бассейна – Cu > Pb > As. Для гидробионтов: по моллюскам Волгоградского водохранилища Cu > Pb > Cd > As > Hg, для рек Донского бассейна – Pb > Cu > As. Для рыб Волгоградского водохранилища: Cu > Pb > As > Hg > Cd, для рек Донского бассейна – Cu > Pb. Используя в качестве критериев коэффициенты донной аккумуляции (по Hg и Cu), загрязнение воды Волгоградского водохранилища оценивается величиной КДА по ртути – $3,4-4,2 \cdot 10^4$, по КН для гидробионтов $1,5-4,7 \cdot 10^3$ (моллюски) и $6,2 \cdot 10^3$ (рыбы).

Оценочные показатели по меди для Волгоградского водохранилища достигают максимальных значений, как по уровням содержания ($12,3-20,0$ мг/кг) в донных отложениях, так и по величинам КДА $6,1 \cdot 10^3$ – $1,1 \cdot 10^4$. Для гидробионтов (моллюски, рыбы) по рассматриваемому элементу коэффициенты накопления на порядок ниже, чем для донных отложений и находятся в интервале следующих величин $1,5$ – $5,2 \cdot 10^2$ (моллюски, рыбы Волгоградского водохранилища) и $3 \cdot 10^2$ – $3,5 \cdot 10^2$ (рыбы, моллюски рек Донского бассейна). Анализ результатов геохимических показателей свидетельствуют о значительных уровнях накопления тяжелых металлов в донных отложениях по меди $1,1 \cdot 10^4$.

Выявленные уровни загрязнения донных отложений и гидробионтов несмотря на значительные показатели КДА по ртути ($4,2 \cdot 10^4$), меди ($1,1 \cdot 10^4$) и КН для гидробионтов (моллюски – $4,7 \cdot 10^3$, рыбы – $6,2 \cdot 10^3$), не позволяют корректно оценить негативную экологическую ситуацию, так как действующие критерии признают значимым лишь то загрязнение, которое носит не разовый, а стабильный характер, подтвержденный данными мониторинга за три последовательных года. (Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. 1992. С. 26-28).

Величины коэффициентов донной аккумуляции позволяют оценивать ежегодное приращение депонированных уровней изученных элементов, ранжируя реальное техногенное воздействие на водный объект.

Учитывая изложенное, необходима методология оценки, позволяющая объективно характеризовать водные объекты, используя триаду критериев: гидрохимических, геохимических и биологических (в том числе гидробионты с различными пищевыми рационами). При этом оценка уровней содержания загрязняющих веществ в организме гидробионтов должна учитывать пространственно-временные показатели [13].

Conclusion. Analysis of the geochemical association data of the studied elements (based on concentration levels) in the bottom sediments and in the organisms of hydrobionts of the Volgograd Reservoir allowed us to rank the elements presented in Table 3 in the following sequence: Pb > Cu > As > Hg; for the rivers of the Don Basin: Cu > Pb > As. For hydrobionts: in mollusks of the Volgograd Reservoir: Cu > Pb > Cd > As > Hg; for the rivers of the Don Basin: Pb > Cu > As. For fish of the Volgograd Reservoir: Cu > Pb > As > Hg > Cd; for the rivers of the Don Basin: Cu > Pb.

Using the bottom accumulation coefficients (for Hg and Cu) as criteria, the pollution of the Volgograd Reservoir water is estimated by the BAC value for mercury – $3.4\text{--}4.2 \cdot 10^4$, and by the BC for hydrobionts: $1.5\text{--}7 \cdot 10^3$ (mollusks) and $6.2 \cdot 10^3$ (fish).

The assessment indicators for copper in the Volgograd Reservoir reach maximum values both in terms of concentration levels ($12.3\text{--}20.0$ mg/kg) in bottom sediments and in terms of BAC values: $6.1 \cdot 10^3\text{--}1.1 \cdot 10^4$. For hydrobionts (mollusks, fish), the accumulation coefficients for the element in question are an order of magnitude lower than for bottom sediments and are within the following ranges: $1.5\text{--}5.2 \cdot 10^2$ (mollusks, fish of the Volgograd Reservoir) and $3 \cdot 10^2\text{--}3.5 \cdot 10^2$ (fish, mollusks of the Don Basin rivers).

Analysis of the geochemical indicator results indicates significant levels of heavy metal accumulation in bottom sediments for copper: $1.1 \cdot 10^4$.

The identified levels of pollution in bottom sediments and hydrobionts, despite significant BAC values for mercury ($4.2 \cdot 10^4$) and copper ($1.1 \cdot 10^4$), and BC values for hydrobionts (mollusks – $4.7 \cdot 10^3$, fish – $6.2 \cdot 10^3$), do not allow for a correct assessment of a negative ecological situation, as stable chemical pollution must persist for three years (Criteria for Assessing the Ecological State of Territories to Identify Zones of Emergency Ecological Situation and Zones of Ecological Disaster. 1992. Pp. 26-28.).

The values of the bottom accumulation coefficients allow for the assessment of the annual increase in deposited levels of the studied elements, ranking the actual anthropogenic impact on the water body.

Given the above, a methodology for assessment is needed to objectively characterize water bodies using a triad of criteria: hydrochemical, geochemical, and biological. Furthermore, the assessment of pollutant concentration levels in hydrobiont organisms should consider spatiotemporal indicators [13].

Библиографический список.

1. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации. Росгидромет. Москва, 2024.
2. Доклад о состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2023 году. 2024. С. 60-64.
3. Доклад о состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2024 году. 2025. С. 53-57.
4. Ушакова Е. С., Меньшикова Е. А., Пузик А. Ю., Волкова М. А. Эколого-геохимическая оценка загрязнения донных отложений (подходы, мониторинг, утилизация). Экология и промышленность России. 2024. № 4. С. 66-71.
5. Динкелакер Н. Ф. Й., Агаханянц П. Ф., Динкелакер Н. В., Дидиков А. Е., Мешечко М. И. Содержание тяжёлых металлов в донных отложениях малых рек Республики Коми в условиях сплошных рубок. Московский экономический журнал. 2024. Т. 9. № 8. С. 156-170.
6. Захаричева А. А., Булкин В. В. Исследование водоёмов округа Муром на содержание тяжёлых металлов. Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2022. № 2 (44). С. 41-45.
7. Приказ Минприроды РФ от 31.03.2025 N 158.
8. Молев М. Д., Паскарелов С. И., Мирошниченко Д. Е. Оценка содержания тяжёлых металлов в донных отложениях реки Дон. Дневник науки. 2023. № 5 (77).
9. Аверин Д. Е., Зубарев В. А. Содержание тяжёлых металлов в компонентах малой реки, не подверженной влиянию антропогенной деятельности. Региональные проблемы. 2022. Т. 25. № 4. С. 22-30.
10. Поплавская О. Е., Тунакова Ю. А. Оценка уровня загрязнённости Волги. Наследие В. И. Вернадского и современные проблемы экологии. 2022. № 1. С. 70-75.
11. Алита С. Л., Атабиева Ф. А., Чередник Е. А., Отарова А. С. Качественная оценка уровня природного содержания соединений тяжёлых металлов в бассейнах рек Малка, Урух, Черек, Чегем. Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2021. № 5. С. 97-111.
12. Дрововозова Т. И., Булгакова Л. А., Власов М. В., Красовская Н. Н. Изучение содержания тяжёлых металлов в донных отложениях и воде в отводящем канале рисовой оросительной системы. Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14. № 4. С. 155-170.
13. Капелькина Л. П., Бардина Т. В. Подходы к проведению исследований объектов накопленного экологического вреда. Биосфера. 2023. Т. 15. № 3. С. 184-192.

References

1. Review of the State and Pollution of the Environment in the Russian Federation. Roshydromet. Moscow, 2024.
2. Report on the State of the Environment in the Volgograd Oblast in 2023. 2024. Pp. 60-64.
3. Report on the State of the Environment in the Volgograd Oblast in 2024. 2025. Pp. 53-57.
4. Ushakova E. S., Menshikova E. A., Puzik A. Yu., Volkova M. A. Ecological and Geochemical Assessment of Bottom Sediment Pollution (Approaches, Monitoring, Disposal). Ecology and Industry of Russia. 2024. No. 4. Pp. 66-71.
5. Dinkelaker N. F. Y., Agakhanyants P. F., Dinkelaker N. V., Didikov A. E., Meshechko M. I. Heavy Metal Content in Bottom Sediments of Small Rivers in the Komi Republic Under Clear-Cutting Conditions. Moscow Economic Journal. 2024. Vol. 9. No. 8. Pp. 156-170.
6. Zakharicheva A. A., Bulkin V. V. Study of Water Bodies in the Murom District for Heavy Metal Content. Mechanical Engineering and Life Safety. 2022. No. 2 (44). Pp. 41-45.
7. Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated March 31. 2025. No 158.
8. Molev M. D., Paskarelov S. I., Miroshnichenko D. E. Assessment of Heavy Metal Content in the Bottom Sediments of the Don River. Science Diary. 2023. No. 5 (77).
9. Averin D. E., Zubarev V. A. Heavy Metal Content in Components of a Small River Not Subject to Anthropogenic Influence. Regional Problems. 2022. Vol. 25. No. 4. Pp. 22-30.
10. Poplavskaya O. E., Tunakova Yu. A. Assessment of the Level of Pollution of the Volga River. The Heritage of V. I. Vernadsky and Modern Ecological Problems. 2022. No. 1. Pp. 70-75.
11. Alita S. L., Atabieva F. A., Cherednik E. A., Otarov A. S. Qualitative Assessment of the Natural Level of Heavy Metal Compounds in the Basins of the Malka, Uruk, Cherek, and Chegem Rivers. Water Management of Russia: Problems, Technologies, Management. 2021. No. 5. Pp. 97-111.
12. Drovovozova T. I., Bulgakova L. A., Vlasov M. V., Krasovskaya N. N. Study of Heavy Metal Content in Bottom Sediments and Water of a Discharge Canal of a Rice Irrigation System. Land Reclamation and Hydraulic Engineering. 2024. Vol. 14. No. 4. Pp. 155-170.
13. Kapelkina L. P., Bardina T. V. Approaches to Conducting Research on Objects of Accumulated Environmental Damage. Biosphere. 2023. Vol. 15. No. 3. Pp. 184-192.

Информация об авторах

Кулик Алексей Константинович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), e-mail: kulika@vfanc.ru

Кулик Дмитрий Константинович, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), e-mail: kulik-d@vfanc.ru

Сазонов Виталий Евгеньевич, главный специалист, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), e-mail: sazonov-v@vfanc.ru

Истомин Александр Петрович, заместитель директора, руководитель Центра по защите и восстановлению рек и водоемов, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), e-mail: Istomin-ap@vfanc.ru

Authors' Information

Kulik Aleksey Konstantinovich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Land Reclamation and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), e-mail: kulika@vfanc.ru

Kulik Dmitry Konstantinovich, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Land Reclamation and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), e-mail: kulik-d@vfanc.ru

Sazonov Vitaly Evgenyevich, Chief Specialist, Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Land Reclamation and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), e-mail: sazonov-v@vfanc.ru

Istomin Aleksandr Petrovich, Deputy Director, Head of the Center for River and Water Body Protection and Restoration, Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Land Reclamation and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), e-mail: Istomin-ap@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-20

THE METHOD FOR THE ANTHROPOGENIC PRESSURE QUANTITATIVE ASSESSMENT AT THE RECLAIMED AGRICULTURAL LANDSCAPE SUBLOCAL LEVEL**Lytov M. N.**

*Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: vkovniigim@yandex.ru

Received 25.01.2026

Submitted 10.03.2026

The research was carried out according to the state task plan of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation FNFR-2025-0003 "Monitoring of long-term irrigated agricultural landscapes to predict their condition, manage environmental sustainability and productivity using digital technologies in adaptive farming systems", registration number: 1022041300043-4-4.1.1.

Summary

The approaches have been scientifically substantiated and a methodology has been developed for quantifying anthropogenic pressure at the sublocal level of a reclaimed agricultural landscape.

Abstract

Introduction. The tasks related to the rationing of economic activity in the agricultural sector to ensure the sustainability of transformed, techno-natural ecosystems require a quantitative assessment of the level of anthropogenic pressure. The methods used today to assess the level of anthropogenic pressure are of an area nature and can be successfully applied at the regional, catchment area, or agricultural landscape level. This allows us to assess the general conditions of ecosystem development for a reclaimed agricultural landscape. At the same time, only average estimates of anthropogenic load will also be broadcast for the sub local level (production site). The purpose of the research was to substantiate scientific approaches and develop a method for quantifying anthropogenic pressure at the sublocal level of a reclaimed agricultural landscape. **Object.** The object of research is reclaimed, techno-natural ecosystems of agricultural use, segmented at the sublocal level. **Materials and methods.** The working hypothesis of the research is the assumption that, along with systematic assessments of the level of anthropogenic pressure, it is necessary to take into account sublocal ecological and reclamation processes supported by local activities. Such activities should have the same sublocal geographical reference and be assessed by local equivalents of anthropogenic pressure. The sustainability of an ecosystem is related to its ability to perceive a particular type of human activity without breaking biospheric ties. Ecosystem elements segmented at the sublocal level may have a different "ecological reserve" that allows them to compensate for the development of destructive processes. In practical terms, estimates of anthropogenic pressure at the sublocal level can be used to optimize technological complexes and systems of irrigated agriculture. **Results and conclusions.** Research has improved approaches to determining the level of anthropogenic pressure and developed numerical methods for estimating it at the sub-local level. It has been established that at the sub local level, agrotechnical and meliorative methods of cultivating crops are crucial, which are the main factors of anthropogenic pressure. The assessment of the cumulative effect of agricultural practices on the level of anthropogenic pressure can be carried out based on the method of energy equivalents, taking into account the basic coefficient of participation of agricultural practices and losses. A dependence is also proposed to assess the stabilizing potential of agricultural practices (technologies) as part of the total anthropogenic load. Estimates of the energy equivalents of anthropogenic pressure and the stabilizing potential of agricultural practices make it possible to optimize the parameters of agricultural technologies and farming systems to preserve ecosystem stability and productive longevity of irrigated lands.

Keywords: reclaimed agricultural landscapes, irrigated farming, anthropogenic load, ecosystem sustainability, the potential of agricultural technologies.

Citation. Lytov M. N. The method for the anthropogenic pressure quantitative assessment at the reclaimed agricultural landscape sublocal level. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 187-195 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-20.

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 631.6:631.587

СПОСОБ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ АНТРОПОГЕННОГО ДАВЛЕНИЯ НА СУБЛОКАЛЬНОМ УРОВНЕ МЕЛИОРИРОВАННОГО АГРОЛАНДШАФТА

Лытов М. Н., кандидат сельскохозяйственных наук

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники
и мелиорации им. А. Н. Костякова
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования проведены по плану государственного задания Минобрнауки России FNFR-2025-0003 «Мониторинг длительно орошаемых агроландшафтов для прогнозирования их состояния, управления экологической устойчивостью и продуктивностью с использованием цифровых технологий в адаптивных системах земледелия», регистрационный номер: 1022041300043-4-1.1.

Актуальность. Задачи, связанные с нормированием хозяйственной деятельности в аграрной сфере для обеспечения устойчивости преобразованных, техно-природных экосистем, требуют количественной оценки уровня антропогенного давления. Применяемые сегодня методы оценки уровня антропогенного давления имеют площадной характер и могут с успехом применяться на уровне региона, водосборной территории или агроландшафта. Это позволяет оценивать общие условия развития экосистемы для мелиорированного агроландшафта. При этом для сублокального уровня (производственный участок) также будут транслированы только усредненные оценки антропогенной нагрузки. Цель исследований сводилась к обоснованию научных подходов и разработки способа количественной оценки антропогенного давления на сублокальном уровне мелиорированного агроландшафта. **Объект.** Объектом исследований являются мелиорированные, техно-природные экосистемы сельскохозяйственного использования, сегментированные на сублокальном уровне.

Материалы и методы. Рабочей гипотезой исследований является предположение, что наряду с системными оценками уровня антропогенного давления, необходимо учитывать сублокальные эколого-мелиоративные процессы, поддерживаемые местными видами деятельности. Такие виды деятельности должны иметь такую же сублокальную географическую привязку и оцениваться местными эквивалентами антропогенного давления. Элементы экосистемы, сегментированные на сублокальном уровне, могут иметь иной «экологический резерв», позволяющий компенсировать развитие деструктивных процессов. В практическом аспекте оценки антропогенного давления на сублокальном уровне могут быть использованы для оптимизации технологических комплексов и систем орошаемого земледелия. **Результаты и выводы.** Исследованиями усовершенствованы подходы к определению уровня антропогенного давления и разработаны численные методы его оценки на сублокальном уровне. Установлено, что на сублокальном уровне решающее значение имеют агротехнические и мелиоративные приемы возделывания сельскохозяйственных культур, являющиеся основными факторами антропогенного давления. Оценка совокупного действия агроприемов по уровню антропогенного давления может выполняться на основе метода энергетических эквивалентов с учетом базового коэффициента участия агроприема и потерь. Также предложена зависимость для оценки стабилизирующего потенциала агроприемов (технологий) в составе совокупной антропогенной нагрузки. Оценки энергетических эквивалентов антропогенного давления и стабилизирующего потенциала агроприемов позволяют оптимизировать параметры агротехнологий и систем земледелия для сохранения устойчивости экосистемы и продуктивного долголетия орошаемых земель.

Ключевые слова: мелиорированные агроландшафты, орошаемое земледелие, антропогенная нагрузка, устойчивость экосистем, потенциал агротехнологий.

Цитирование. Лытов М. Н. Способ количественной оценки антропогенного давления на сублокальном уровне мелиорированного агроландшафта. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 187-195. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-20.

Авторский вклад. Представленный авторский коллектив данных исследований принимал непосредственное участие в планировании, закладке, проведении эксперимента и обработке результатов исследований. Все авторы настоящей статьи ознакомлены с ее содержанием и одобрили окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Уровень антропогенного давления и его структура являются важными показателями для изучения причинно-следственных связей и устойчивости экосистем во всех преобразованных и используемых человеком природных комплексах. Говоря об антропогенном давлении на природные комплексы, мы подразумеваем ту энергию (включая ее овеществленную форму), которая запускает трансформирование природных ландшафтов. Наряду с этим, антропогенное давление – это технологии, инфраструктура, искусственные объекты, потоки вещества и энергии, которые необходимы для обустройства природных комплексов, создания новых средств производства, а также комфортной среды для человека [1-4]. Разработка многолетних сценариев развития экосистемы в границах мелиорированного агроландшафта может осуществляться только в прямой взаимосвязи с уровнем и структурой антропогенного давления, как неотъемлемого атрибута тех самых инструментов, которые позволяют эти сценарии воплощать [5, 6].

Антропогенное давление воспринимают в качестве особого экологического фактора, который может оказывать существенное и даже критическое влияние на экосистему. Понятие антропогенного давления неразрывно связано с устойчивостью экосистемы. Вообще, одним из главных результатов исследований антропогенного давления является ее нормирование, преследующее целью сохранение устойчивости экосистемы, предотвращение развития деструктивных процессов. Нормированию уровня антропогенного давления, во взаимосвязи с оценкой устойчивости экосистемы, посвящены работы многих известных ученых [7-10]. В России создана и функционирует собственная система экологического нормирования, согласующаяся и опирающаяся на лучшие мировые наработки и результаты отечественных исследований. Система включает самые разные виды нормирования, закрепленные в официальных нормативных документах. Относительно рассматриваемой проблемы следует выделить [11-13]:

- нормирование допустимых нагрузок на экосистему, биоценоз, (мелиорированный) агроландшафт;
- нормирование единичных и комплексных показателей состояния экосистем и отдельных компонентов;
- ограничение токсичных агротехнологий с учетом ассимиляционной емкости экосистем;
- ограничение использования природных ресурсов с учетом экологического потенциала.

Все эти ограничения имеют целью сохранение устойчивости экосистемы, исключение процессов, ведущих к деградации, обеспечение развития с сохранением внутренних взаимосвязей и биосферных функций.

При решении задачи нормирования уровня антропогенного давления на экосистему используется площадной подход, с обобщением различных видов деятельности, показывающих, насколько интенсивно используется территория. Наряду с этим, оценки влияния различных видов деятельности на экосистему в значительной степени усреднены. Применяемые подходы не предполагают дифференцированных оценок для различных производственных участков в составе экосистемы, тогда как ряд экологически значимых показателей определяются преимущественно прямыми воздействиями. Для сельскохозяйственных агроландшафтов в целом, и мелиорированных, в частности, используются только общие оценки антропогенного давления различных агротехнологических моделей. Нет частных связей с агротехническими и мелиоративными операциями, что не позволяет оптимизировать агротехнологическую модель под конкретные условия экосистемы.

Цель исследований сводилась к обоснованию научных подходов и разработке способа количественной оценки антропогенного давления на сублокальном уровне мелиорированного агроландшафта.

Материалы и методы. Устойчивость по Лагранжу предполагает, что при внешних воздействиях экосистема способна развиваться в границах, определяющих зону «нормальных» значений ее состояний. Оценка устойчивости связана с изменением состояния экосистемы в зависимости от приложенной антропогенной нагрузки [14]:

$$k_{уст} = 1 - \frac{\Delta ПЭ}{\Delta АН}$$

где $k_{уст}$ – коэффициент устойчивости экосистемы; $\Delta ПЭ$ – изменение параметров экосистемы; $\Delta АН$ – приращение антропогенной нагрузки.

Как видно из приведенного выражения устойчивость системы снижается не в результате увеличения антропогенного давления, а в результате опережающего (по отношению к величине нагрузки) изменения состояния экосистемы. Вот эти опережающие изменения возникают в результате достижения какого-то порогового уровня антропогенного давления и являются основой для его нормирования.

Устойчивость экосистемы связана с ее способностью воспринимать тот или иной вид деятельности человека без разрыва биосферных связей, сохраняя стремление к возвращению в исходное состояние. Это, так называемый «экологический резерв», который находится в прямой связи с потенциалом самой экосистемы. Антропогенно-трансформированные экосистемы могут иметь иной потенциал и изменять его в зависимости от степени структурной оптимизации. Для агроэкосистем это означает потенциальную возможность повышать допустимые пределы антропогенной нагрузки и уровень интенсификации производства. С другой стороны имеет значение структура самой антропогенной нагрузки. В этом плане важно, чтобы антропогенная энергия не шла в разрез с естественными круговоротами вещества и энергии, не разрушала биосферные функции экосистемы. Структурная оптимизация составляющих антропогенного давления – это тоже возможность увеличения устойчивости экосистемы.

Все рассматриваемые выше задачи, связанные с нормированием хозяйственной деятельности для обеспечения устойчивости экосистем, требуют оценки, собственно, уровня антропогенного давления. Это абстрактный термин, связанный с человеческой деятельностью, который, на самом деле, обобщает совершенно разные виды деятельности, включая материальные объекты, механизированную энергию, продукты химического синтеза, ручной труд и т. д. Научные подходы, используемые для количественного обобщения этой деятельности, тоже разные.

Наиболее широко для оценки уровня антропогенного давления сегодня применяются методы, использующие балльную шкалу для различных показателей [15, 16]:

$$I_{АН} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot B_i}{S}$$

где B_i – балл, который присваивается различным природным или антропогенно-трансформированным объектам (пашня, сенокосы, пастбища, леса, овраги, залежь и др.) в составе агроландшафта; S_i – площадь территории агроландшафта, занятая соответствующим объектом; S – общая площадь агроландшафта.

К недостаткам этого метода следует отнести:

- необходимость научного обоснования величины балльной оценки. Использование экспертных оценок может быть источником субъективных ошибок;
- усредненность балльной оценки по видам антропогенной нагрузки. Например, балльная оценка пашни не делится по категориям использования, а, следовательно, не дифференцирована в зависимости от нагрузки.

Исследованиями [9] эта методика усовершенствована, предложено балльную оценку дифференцировать в зависимости от вида и масштаба антропогенной нагрузки, а индекс определять по зависимости:

$$I_{АН} = \frac{\sum_{i=1}^n B_i}{n}$$

где n – число учитываемых показателей для определения комплексного индекса антропогенной нагрузки.

Балльная оценка по видам (i) антропогенной нагрузки изменяется исходя из принадлежности значения нагрузки X_i к соответствующему диапазону в шкале нагрузок:

$$B_i = f((X_i) \in [X_{min}; X_{max}])$$

При этом X_i , как правило, выражается в количественных оценках масштаба i -того вида антропогенной нагрузки, таких как площадь, доля, число строений и т. д. Для оценки антропогенного давления на агроландшафты этого недостаточно, так как важно учитывать интенсивность применяемых агроприемов.

Применяемые сегодня методы оценки уровня антропогенного давления имеют площадной характер и могут с успехом применяться на уровне региона, водосборной территории или агроландшафта [17]. Это позволяет оценивать общие условия развития экосистемы для мелиорированного агроландшафта [18]. Для сублокального уровня, например, в границах сельскохозяйственного поля, также будут транслированы усредненные оценки антропогенной нагрузки. Для каких-то процессов такие оценки оправданы и даже предпочтительны (формирование гидрологического режима и мелиоративные риски, ветровая эрозия, диффузный сток и загрязнение водных объектов и др.). Однако, другие важные процессы (баланс органического вещества, мелиоративные риски, связанные с качеством оросительной воды) требуют четкого понимания антропогенной нагрузки на уровне поля, которая может существенно отличаться от усредненных оценок для агроландшафта. И если усредненные оценки антропогенной нагрузки позволяют провести структурную оптимизацию хозяйственного использования агроландшафта, то сублокальные необходимы для оптимизации агротехнологий.

Рабочей гипотезой исследований является предположение, что наряду с системными оценками уровня антропогенного давления, необходимо учитывать сублокальные эколого-мелиоративные процессы, поддерживаемые местными видами деятельности. Такие виды деятельности должны иметь такую же сублокальную географическую привязку и оцениваться местными эквивалентами антропогенного давления.

Результаты и обсуждение. Многолетние исследования показали, что на сублокальном уровне мелиорированного агроландшафта решающее значение имеют агротехнические и мелиоративные приемы возделывания сельскохозяйственных культур, являющиеся основными факторами антропогенного давления. Оценка совокупного действия агроприемов по уровню антропогенного давления может выполняться на основе метода энергетических эквивалентов. При этом важно учитывать потери вещества и энергии (овеществленной энергии) при выполнении агротехнической операции в агротехнологическом комплексе возделывания сельскохозяйственных культур. Собственно, эти потери представляют наибольшую опасность для экосистемы, так как не могут быть использованы (и утилизированы) в качестве производственного ресурса. В количественном плане непроизводительные потери ресурсов можно характеризовать коэффициентом полезного действия технологии.

Вместе с тем, даже при минимизации потерь, агротехнические и мелиоративные приемы, применяемые при производстве сельскохозяйственной продукции, оказывают определенное давление на экосистему в целом и на сублокальном уровне, в частности. Это связано с тем, что природные компоненты априори вовлечены в производство, а сельскохозяйственная деятельность оказывает непосредственное влияние на биосферные процессы.

Учитывая вышесказанное, уровень антропогенного давления на сублокальном уровне предлагается определять по зависимости:

$$P_{ад} = \sum_{i=1}^{i=n} k_{6i} \mathcal{E}_i + \sum_{i=1}^{i=n} \mathcal{E}_i \cdot (1 - k_{пд})$$

где $P_{ад}$ – совокупная оценка антропогенного давления в энергетическом эквиваленте, Дж; i – условный номер агротехнического или мелиоративного воздействия (агроприема, от 1 до n); $\mathcal{E}_i$ – оценка i -го агроприема в энергетическом эквиваленте; k_{6i} – базовый коэффициент участия i -го воздействия (агроприема) в суммарной оценке уровня антропогенного давления; $k_{пд}$ – коэффициент полезного использования воплощенной энергии i -го агроприема.

Компонента $(1 - k_{пд})$ – характеризует потери воплощенной энергии при выполнении i -го агроприема (инфильтрация оросительной воды, вымывание питательных элементов и т. д.), носящий деструктивный характер. Как видно, эта часть совокупной оценки антропогенного давления обратно пропорциональна коэффициенту полезного действия агроприема.

Значение базового коэффициента участия k_{6i} зависит от того, насколько органично технология встраивается в биосферные процессы на сублокальном и локальном уровнях. На начальных этапах коэффициент может иметь экспертную оценку (вес). Объективная оценка коэффициента k_{6i} пропорциональна квадрату корреляции между уровнем воздействия агроприема и показателями, характеризующими изменение состояния экосистемы ($\Delta ПЭ$):

$$\Delta ПЭ = f(\mathcal{E}_i, \sum \Phi_{(i)}); \quad r_{\Delta ПЭ:\mathcal{E}_i, \sum \Phi_{(i)}}; \quad k_{6i} \sim r_{\Delta ПЭ:\mathcal{E}_i, \sum \Phi_{(i)}}^2$$

где $\mathcal{E}_i$ – энергетический эквивалент антропогенного воздействия от i -той технологии (агроприема); $\sum \Phi_{(i)}$ – сумма факторов, действующих на экосистему одновременно с технологией (агроприемом), энергетический эквивалент антропогенного давления которой оценивается; $r_{\Delta ПЭ:\mathcal{E}_i, \sum \Phi_{(i)}}$ – частный коэффициент корреляции между показателями характеризующими изменение состояния экосистемы ($\Delta ПЭ$) и энергетическим эквивалентом антропогенного воздействия i -той технологии при одновременном действии совокупности факторов ($\sum \Phi_{(i)}$) на экосистему.

Таким образом, $P_{ад}$ – это часть антропогенной энергии, оказывающей давление на экосистему, носящей дестабилизирующий характер воздействия. Вместе с тем, неправильно считать, что хозяйственная деятельность человека носит лишь дестабилизирующий характер. Стабилизирующее действие агроприемов в составе совокупной антропогенной нагрузки предлагается определять по зависимости:

$$P_{а.ст} = \sum_{i=1}^{i=n} k_{6.ст(i)} k_{пд(i)} \mathcal{E}_i$$

где $P_{а.ст}$ – совокупная оценка стабилизирующего потенциала (агроприема, технологии) в энергетическом эквиваленте, Дж; i – условный номер агротехнического или мелиоративного воздействия (агроприема, технологии); $\mathcal{E}_i$ – оценка i -го агроприема в энергетическом эквиваленте; $k_{6.ст(i)}$ – базовый коэффициент участия i -го воздействия (агроприема) в суммарной оценке стабилизирующего потенциала; $k_{пд(i)}$ – коэффициент полезного использования воплощенной энергии i -го агроприема.

Совокупные оценки антропогенной нагрузки определяются суммой:

$$P_{ан} = P_{ад} + (-P_{а.ст})$$

Как видно из выражения, уровень антропогенного давления на сублокальном уровне мелиорированного агроландшафта (производственный участок) может быть сбалансирован применением природоохранных технологий. Необходимо четкое понимание системы биосферных функций, чтобы компенсировать дестабилизирующее действие агроприемов и, увеличить стабилизационный потенциал экосистемы. Преимущество предлагаемого подхода заключается в том, что его можно использовать для создания сбалансированных агротехнологических комплексов, сочетающих высокопродуктивное производство, сохранение стабильности экосистемы, и расширенное воспроизводство плодородия почвы.

Изменение состояния экосистемы определяется суммарной оценкой антропогенной нагрузки $P_{ан}$, с учетом ее экологической емкости. В качестве критерия сбалансированных агротехнологических комплексов можно использовать отношение стабилизационного потенциала агроприемов к уровню антропогенного давления:

$$K_{ст} = \frac{P_{а.ст}}{P_{ад}}$$

где $K_{ст}$ – коэффициент стабилизационного потенциала агротехнологических комплексов.

При значениях $K_{ст}$ до единицы технологические комплексы возделывания сельскохозяйственных культур в системе орошаемого земледелия нельзя считать сбалансированными. При значениях $K_{ст}$, в районе единицы используемые агроприемы в системе орошаемого земледелия сохраняют риски для устойчивого производства сельскохозяйственной продукции и сохранения эколого-мелиоративного благополучия земель. Для сохранения продуктивного долголетия орошаемых земель необходимо превышение стабилизационного потенциала агротехнологий на величину, компенсирующую стохастическую составляющую биосферных процессов, определяющих плодородие почвы и экологическую устойчивость мелиорированных агроландшафтов.

Выводы. Таким образом, исследованиями усовершенствованы подходы к оценке антропогенных нагрузок на локальном (агроландшафт, водосборная территория) и сублокальном (производственный участок) уровнях. Установлено, что на сублокальном уровне решающее значение имеют агротехнические и мелиоративные приемы возделывания сельскохозяйственных культур, являющиеся основными факторами антропогенного давления. Оценка совокупного действия агроприемов по уровню антропогенного давления может выполняться на основе метода энергетических эквивалентов с учетом базового коэффициента участия агроприема и потерь. Также предложена зависимость для оценки стабилизирующего потенциала агроприемов (технологий) в составе совокупной антропогенной нагрузки. Оценки энергетических эквивалентов антропогенного давления и стабилизирующего потенциала агроприемов позволяют оптимизировать параметры агротехнологий и систем земледелия для сохранения устойчивости экосистемы и продуктивного долголетия орошаемых земель. На уровне агроландшафта для оценки антропогенной нагрузки важно знать соотношение природных компонентов среды, уровень распаханности территории, степень концентрации животноводства, долю мелиорированных земель и др. Исследованиями предложено при учете доли мелиорированных земель в оценках уровня антропогенного давления ввести поправку на интенсивность применяемых мелиоративных приемов.

Conclusions. Thus, research has improved approaches to assessing anthropogenic loads at the local (agricultural landscape, catchment area) and sublocal (production site) levels. It has been established that at the subnational level, agrotechnical and meliorative methods of cultivating crops are crucial, which are the main factors of anthropogenic pressure. The assessment of the cumulative effect of agricultural measures on the level of anthropogenic pressure can be performed on the basis of the energy equivalents method, taking into account the basic coefficient of participation of agricultural measures and losses. A dependence is also proposed to assess the stabilizing potential of agricultural practices (technologies) as part of the total anthropogenic load. Estimates of the energy equivalents of anthropogenic pressure and the stabilizing potential of agricultural practices make it possible to optimize the parameters of agricultural technologies and farming systems to preserve ecosystem stability and productive longevity of irrigated lands. At the level of the agricultural landscape, in order to assess the anthropogenic load, it is important to know the ratio of the natural components of the environment, the level of ploughing of the territory, the degree of concentration of livestock production, the proportion of reclaimed land, etc. Studies have suggested that, when taking into account the share of reclaimed land in estimates of the level of anthropogenic pressure, an adjustment should be made for the intensity of reclamation techniques used.

Библиографический список

1. Суродеев М. С. Анализ подходов и современных представлений об агрогеосистемах. Тенденции развития науки и образования. 2025. № 119-3. С. 136-140.
2. Гурджиев Г., Назарова А., Гурбанбаева К., Байракова А. Агроэкологические системы и сохранение биоразнообразия в условиях интенсивного производства. In Situ. 2025. № 2. С. 47-49.
3. Сизов Ю. И., Медведева Л. Н. Природные и мелиоративные концепции формирования агроландшафтов. Орошаемое земледелие. 2022. № 4 (39). С. 62-67.
4. Бубер А. А., Лытов М. Н., Меньшикова С. А. Концептуальные подходы к проектированию комплексных мелиораций на уровне агро- и микроагроландшафтов. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 6 (78). С. 367-376.

5. Чебоचाков Е. Я., Шпедт А. А., Мартынова М. А., Иванов О. А., Капсаргин А. И., Муртаев В. Н. Дegradaция почв степных агроландшафтов Средней Сибири. *Аграрная наука*. 2025. № 7. С. 114-121.
6. Севрюгина Н. С., Загородний Н. А., Модина М. А., Константинова М. В. Моделирование устойчивого управления ресурсами окружающей среды на основе принципов экологической кибернетики. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2025. № 2. С. 37-42.
7. Хитров Н. Б., Горохова И. Н., Иванова В. В., Кравченко Е. И., Круглякова Н. Г., Роговнева Л. В., Рухович Д. И. Методические подходы и базовый уровень организации наземного мониторинга содержания и запасов органического углерода в пахотных светло-каштановых почвах, Волгоградская область. *Почвоведение*. 2024. № 12. С. 1667-1689.
8. Чибилев А. А., Григоревский Д. В., Мелешкин Д. С. Пространственная оценка уровня антропогенной нагрузки степных регионов России. *Ученые записки Казанского университета. Серия естественные науки*. 2019. Т. 161. Кн. 4. С. 590-606.
9. Саприн С. В., Садыгов Э. А. Оценка антропогенной нагрузки на агроландшафты Воронежской области. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2016. № 2 (49). С. 236-241.
10. Кузнецова И. В., Азовцева Н. А., Бондарев А. Г. Нормативы изменения физических свойств почв степной, сухой степной, полупустынной зон европейской территории России. *Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева*. 2011. Вып. 67. С. 3-19.
11. Дабахов М. В., Дабахова Е. В. Проблемы нормирования содержания химических элементов и соединений в почвах в рамках правоприменительной практики. *Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение*. 2024. № 2. С. 73-83.
12. Шевченко В. А., Исаева С. Д., Дедова Э. Б., Наумова Т. В. Современные вопросы совершенствования организационно-правовой базы мелиорации земель. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2023. № 1. С. 63-67.
13. Яковлев А. С. Вопросы экологического нормирования и установления фоновых значений свойств почв природных и природно-антропогенных объектов. *Почвоведение*. 2022. № 2. С. 252-260.
14. Дабахов М. В., Дабахова Е. В., Самоделкин Н. С. Методические подходы к оценке земель при определении их пригодности под различные виды сельскохозяйственных угодий. *Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии*. 2016. № 2 (10). С. 4-12.
15. Масютенко Н. П., Чужан Н. А., Масютенко М. Н., Кузнецов А. В. К комплексной оценке воздействия агротехнологии на плодородие, здоровье и устойчивость черноземов. *Достижения науки и техники АПК*. 2023. Т. 37. № 8. С. 12-18.
16. Масютенко М. Н., Масютенко Н. П. К разработке алгоритма оценки и нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафте. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018. № 6. С. 11-15.
17. Шелухин А. О. Оценка несущей способности ландшафта. *Системные технологии*. 2025. № 1 (54). С. 112-119.
18. Ольгаренко Г. В. Мелиоративный комплекс Российской Федерации: состояние и перспективы устойчивого развития. *Орошаемое земледелие*. 2025. № 2 (49). С. 14-21.

References

1. Surodeev M. S. Analysis of approaches and modern ideas about agricultural geosystems. *Trends in the development of science and education*. 2025. No. 119-3. Pp. 136-140.
2. Gurdzhiev G., Nazarova A., Gurbanbaeva K., Bayrakova A. Agroecological systems and biodiversity conservation in intensive production conditions. *In Situ*. 2025. No. 2. Pp. 47-49.
3. Sizov Yu. I., Medvedeva L. N. Natural and reclamation concepts of formation of agricultural landscapes. *Irrigated agriculture*. 2022. No. 4 (39). Pp. 62-67.
4. Buber A. A., Lytov M. N., Menshikova S. A. Conceptual approaches to the design of complex reclamation at the level of agricultural and micro agricultural landscapes. *Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2024. No. 6 (78). Pp. 367-376.
5. Chebochakov E. Ya., Shpedt A. A., Martynova M. A., Ivanov O. A., Kapsargin A. I., Murtayev V. N. Degradation of soils of steppe agricultural landscapes of Central Siberia. *Agrarian science*. 2025. No. 7. Pp. 114-121.
6. Sevryugina N. S., Zagorodny N. A., Modina M. A., Konstantinova M. V. Modeling of Sustainable Environmental Resource Management Based on the Principles of Ecological Cybernetics. *Proceedings of Tula State University. Earth Sciences*. 2025. No. 2. Pp. 37-42.
7. Khitrov N. B., Gorokhova I. N., Ivanova V. V., Kravchenko E. I., Kruglyakova N. G., Rogovneva L. V., Rukhovich D. I. Methodological approaches and the basic level of organization of ground-based monitoring of the content and reserves of organic carbon in arable light chestnut soils, Volgograd Region. *Soil Science*. 2024. No. 12. Pp. 1667-1689.
8. Chibilev A. A., Grigorevsky D. V., Meleshkin D. S. Spatial Assessment of the Level of Anthropogenic Load in the Steppe Regions of Russia. *Scientific notes of the Kazan University. Series: Natural Sciences*. 2019. Vol. 161. Book 4. Pp. 590-606.
9. Saprin S. V., Sadygov E. A. Assessment of the anthropogenic load on the agricultural landscapes of the Voronezh Region. *Bulletin of the Voronezh State Agrarian University*. 2016. No. 2 (49). Pp. 236-241.
10. Kuznetsova I. V., Azovtseva N. A., Bondarev A. G. Norms of Changes in the Physical Properties of Soils in the Steppe, Dry Steppe, and Semi-Desert Zones of the European Part of Russia. *Bulletin of the V. V. Dokuchaev Soil Institute*. 2011. Issue 67. Pp. 3-19.
11. Dabakhov M. V., Dabakhova E. V. Problems of regulation of the content of chemical elements and compounds in soils within the framework of law enforcement practice. *Moscow University Bulletin. Series 17: Soil Science*. 2024. No. 2. Pp. 73-83.
12. Shevchenko V. A., Isaeva S. D., Dedova E. B., Naumova T. V. Modern Issues of Improving the Organizational and Legal Framework for Land Reclamation. *Proceedings of the Russian Agrarian Science*. 2023. No. 1. Pp. 63-67.

13. Yakovlev A. S. Issues of environmental regulation and establishment of background values of soil properties of natural and natural-anthropogenic objects. *Soil Science*. 2022. No. 2. Pp. 252-260.
14. Dabakhova E. V., Dabakhov M. V., Samodelkin N. S. Methodological approaches to land assessment when determining their suitability for various types of agricultural land. *Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy*. 2016. No. 2 (10). Pp. 4-12.
15. Masutenko N. P., Chuyan N. A., Masutenko M. N., Kuznetsov A. V. On the Comprehensive Assessment of the Impact of Agricultural Technologies on the Fertility, Health, and Sustainability of Chernozems. *Achievements of Science and Technology in the Agro-Industrial Complex*. 2023. V. 37. No. 8. Pp. 12-18.
16. Masutenko M. N., Masutenko N. P. On the Development of an Algorithm for Assessing and Normalizing Anthropogenic Load in the Agricultural Landscape. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2018. No. 6. Pp. 11-15.
17. Shelukhin A. O. Assessment of the Carrying Capacity of the Landscape. *System Technologies*. 2025. No. 1 (54). Pp. 112-119.
18. Ol'garenko G. V. The Land Reclamation Complex of the Russian Federation: State and Prospects for Sustainable Development. *Irrigated Agriculture*. 2025. No. 2 (49). Pp. 14-21.

Информация об авторах

Лытов Михаил Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2743-9825>, e-mail: vkovniigim@yandex.ru

Author's Information

Lytov Michail Nikolaevich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Head of the Department, The All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture – the branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Melioration named after A. N. Kostyakov" (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev St., 9), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2743-9825>, e-mail: vkovniigim@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-21

THE STUDY OF THE WASTEWATER SEDIMENTS EFFECTIVENESS WHEN USED AS THE FERTILIZERS IN THE VEGETATION EXPERIMENTS WITH WINTER WHEAT

Manzhina S. A., Rusin L. I.

*Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems
Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: manz.svetlana@yandex.ru

Received 03.12.2025

Submitted 04.02.2026

The research was conducted within the framework of the initiative topic 1/25-And according to the thematic plan for conducting initiative applied scientific research by the federal State budgetary scientific institution "Russian Research Institute of Land Reclamation Problems" (FSBSI "RosNIIPM") for 2025 and the planning period of 2026 and 2027.

Summary

The article presents the results of a series of vegetation experiments conducted to determine the effectiveness of sewage sludge from wastewater treatment plants when used as fertilizers. The parameters of soils and plants in the variants after the application of sewage sludge, mineral complex fertilizer, litter manure of cattle and sheep, as well as litter chicken manure were studied. The research results have shown that when fertilizing soils with sewage sludge, the increase in biomass of winter wheat is greater than in other variants. The ecological parameters of the soils are not violated.

Abstract

Introduction. The reserves of nutrients in the soil can be replenished quite effectively with mineral fertilizers which give a good increase in the yield of agricultural crops, but additional mechanics are required to restore soil humus and stimulate the work of soil reducing microorganisms. Saproel, peat, plant residues, and waste products formed during animal husbandry and poultry farming are commonly used as organic fertilizers. Such fertilizers include sewage sludge from sewage treatment plants, but the practice of using them in our country is not widespread. The purpose of the research is to determine the effectiveness of wastewater precipitation from Kadamovsk sewage treatment plants when used as fertilizers in a vegetation experiment with controlled climatic conditions. **Materials and methods.** The experiment was carried out in the laboratory agrarian technical complex "Agrolab", in a fourfold repetition. Azophoska, bedding chicken manure, bedding cattle manure, bedding sheep manure and sewage sludge from sewage treatment plants in the city of Novocherkassk were used as fertilizers. Fertilizers were applied in the recommended doses. Winter wheat seeds of the "Elanchik" variety were used as a test plant. The recorded indicators are: germination energy and seed germination, biomass growth, sprout length, agrarian ecological characteristics of soils. **Results and discussion.** According to observations, the highest seed germination energy was ob-

served on control and during application, and the best germination in variants with precipitation and cattle manure. An excess of biomass in comparison with the control was detected in all variants, with the exception of the variant with the introduction of litter chicken manure. The largest increase in biomass per plant occurs in the variant with the introduction of sewage sludge. The amount of organic matter in the soils remained virtually unchanged when fertilizers were applied. In soil samples, phosphorus values increased in the variant with litter chicken manure, potassium – with litter sheep manure, nitrogen – with the use of azophosky and sewage sludge. **Conclusions.** The sewage sludge used as fertilizer has shown its high efficiency at the initial stage of the formation of biomass of winter wheat plants of the "Elanchik" variety. According to the recorded phyto effects, the greatest stimulation of biomass growth on average per plant was noted when using the studied precipitation as fertilizers. The germination and germination energy of seeds had the lowest values in the variants of using chicken manure and sheep manure, in the remaining variants – at approximately the same level. The assessment of soil samples during the application of wastewater sediments at the calculated dose did not reveal any violations in the content of heavy metals in comparison with background characteristics.

Keywords: sewage sludge, organic fertilizers, chicken manure, cattle manure, sheep manure, and soil microorganisms.

Citation. Manzina S. A., Rusin L. I. The study of the wastewater sediments effectiveness when used as the fertilizers in the vegetation experiments with winter wheat. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 195-204 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-21.

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 631.87+633.11

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД ПРИ ПРИМЕНЕНИИ В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЙ В ВЕГЕТАЦИОННЫХ ОПЫТАХ С ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЕЙ

Манжина С. А., кандидат технических наук, доцент

Русин Л. И., аспирант

*ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»
г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация*

Исследования проведены в рамках инициативной тематики 1/25-И согласно тематическому плану проведения инициативных прикладных научных исследований федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (ФГБНУ «РосНИИПМ») на 2025 год и плановый период 2026 и 2027 гг.

Актуальность. Запасы питательных веществ в почве можно достаточно эффективно пополнять за счет минеральных удобрений, что дает хорошую прибавку в урожайности сельскохозяйственных культур, но для восстановления гумуса почв и стимуляции работы почвенных микроорганизмов – редуцентов – требует внесения дополнительной органики. В качестве органических удобрений принято использовать сапропель, торф, остатки растений, продукты жизнедеятельности, образующиеся при животноводстве и птицеводстве. К числу таких удобрений относят и осадки сточных вод с канализационных очистных сооружений, однако практика их использования у нас в стране не получила широкого распространения. Целью исследований является определение эффективности осадков сточных вод канализационных очистных сооружений «Кадамовские» при применении их в качестве удобрений в вегетационном опыте с контролируруемыми климатическими условиями.

Материалы и методы исследований. Опыт осуществляли в лабораторном агротехническом комплексе «Агролаб», в четырехкратной повторности. В качестве удобрений использовали азофоску, подстилочный куриный помет, подстилочный навоз КРС, подстилочный овечий навоз и осадки сточных вод с канализационных очистных сооружений города Новочеркаска. Внесение удобрений производилось в рекомендованных дозах. В качестве тест-растения использовали семена озимой пшеницы сорта «Еланчик». Регистрируемые показатели: энергия прорастания и всхожесть семян, прирост биомассы, длина ростков, агроэкологические характеристики почв. **Результаты и обсуждение.** По данным наблюдений наибольшая энергия прорастания семян наблюдалась на контроле и при внесении осадков сточных вод, наилучшая всхожесть в вариантах с внесением осадков и навоза КРС. Превышение биомассы в сравнении с контролем выявлено во всех вариантах, за исключением варианта с внесением подстилочного куриного помета. Наибольший прирост биомассы на одно растение приходится на вариант с внесением осадков сточных вод. Количество органического вещества в почвах при внесении удобрений практически не менялось. В образцах почв выросли показатели фосфора – в варианте с подстилочным куриным пометом, калия – с подстилочным овечьим навозом,

азота – при использовании азофоски и осадков сточных вод. **Заключение.** Применяемый в качестве удобрения осадок сточных вод показал свою высокую эффективность на начальной стадии формирования биомассы растений озимой пшеницы сорта «Еланчик». По регистрируемым фитозффектам отмечена наибольшая стимуляция прироста биомассы в среднем на одно растение при применении исследуемых осадков в качестве удобрений. Всхожесть и энергия прорастания семян имели наименьшие показатели в вариантах применения куриного помета и овечьего навоза, в остальных вариантах – примерно на одинаковом уровне. Оценка образцов почв при внесении осадков сточных вод в расчетной дозе не выявило нарушений в содержании тяжелых металлов в сравнении с фоновыми характеристиками.

Ключевые слова: осадки сточных вод, органические удобрения, куриный помет, навоз крупного рогатого скота, овечий навоз, почвенные микроорганизмы.

Цитирование. Манжина С. А., Русин Л. И. Исследование эффективности осадков сточных вод при применении в качестве удобрений в вегетационных опытах с озимой пшеницей. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 195-204. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-21.

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. Применение органических удобрений является необходимым мероприятием для поддержания плодородия сельскохозяйственных земель. По данным ряда исследований они способствуют повышению содержания органических веществ и биогенов в почвенном слое, что является неотъемлемой частью обеспечения почвенного плодородия [1-3]. И если запасы питательных веществ в почве, азот, фосфор, калий и микроэлементы можно достаточно эффективно пополнять за счет минеральных удобрений, что дает хорошую прибавку в урожайности сельскохозяйственных культур, то восстановление органического вещества почв требует внесения дополнительной органики. Органика, привнесенная в почвы за счет использования органических удобрений, создает благоприятную среду обитания для почвенных микроорганизмов – редуцентов и стимулирует их активность. В качестве органических удобрений принято использовать сапропель, торф, остатки растений, продукты жизнедеятельности, образующиеся при животноводстве и птицеводстве³. Осадки сточных вод (далее – ОСВ) с канализационных очистных сооружений, по данным ГОСТ Р 54651-2011⁴ также применяются в виде органических удобрений на сельскохозяйственных полях. Однако эта практика у нас в стране не получила широкого распространения, хотя и вызывает большой интерес как у субъектов, занимающихся очисткой сточных вод, так и у ученых, работающих в природоохранном и сельскохозяйственном направлении.

Тем не менее, качественный состав ОСВ делает их перспективным вторичным ресурсом для получения органических удобрений [4-10].

Целью исследований является определение эффективности осадков сточных вод канализационных очистных сооружений «Кадамовские» (далее – КОС «Кадамовские») при применении их в качестве удобрений в вегетационном опыте с контролируемыми климатическими условиями.

Материалы и методы. В качестве материалов исследований были отобраны осадки сточных вод с КОС «Кадамовские» трехлетнего срока пребывания на иловых картах. Для сравнения в опыте применяли органические удобрения, которые являются отходами животноводства и птицеводства и минеральные удобрения – азофоску. В качестве контроля рассматривался вариант без внесения удобрений.

Органические отходы, подстилочный навоз КРС, овечий и подстилочный куриный помет поступили из крестьянско-фермерских хозяйств после аэробного компостирования в течение года-полугода.

Характеристика органических удобрений, полученных на основе отходов сельскохозяйственного сектора и ОСВ КОС «Кадамовские» приведены в таблице 1.

³ ГОСТ 34103-2017 Удобрения органические [Электронный ресурс]. Термины и определения: введ. 01-07-2018. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

⁴ ГОСТ Р 54651-2011. Удобрения органические на основе осадков сточных вод. Технические условия [Электронный ресурс]. Введ. 2011-12-13. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

Таблица 1 – Агрохимические характеристики используемых удобрений
Table 1 – Agrochemical characteristics of fertilizers used

Определяемый показатель / The indicator being determined	Куриный помет подстилочный / Chicken manure	Овечий навоз подстилочный / Sheep manure bedding	Навоз КРС подстилочный / Cattle litter manure	ОСВ / Sewage sludge
Соотношение экскременты – солома / Excrement to straw ratio	1 : 2	1 : 1	1 : 4	–
Водородный показатель (рН), ед. рН / Hydrogen index (pH), pH units	7,2 ± 0,1	7,5 ± 0,1	6,6 ± 0,1	6,6 ± 0,1
Азот нитратов, мг/кг / Nitrate nitrogen, mg/kg	141,9 ± 35,5	75,6 ± 18,9	45,3 ± 11,3	192,9 ± 28,9
Фосфор, подвижная форма, мг/кг / Phosphorus mobile form, mg/kg	421,4 ± 63,2	311,5 ± 46,7	260,9 ± 39,1	178,65 ± 44,50
Калий, мг/кг / Potassium, mg/kg	6060,0 ± 606,0	7920,0 ± 792,0	897,6 ± 89,8	320,4 ± 32,0
Органическое вещество, %* / Organic matter, %*	6,9 ± 1,0	12,0 ± 1,8	12,3 ± 1,8	12,1 ± 1,21

Примечание: «*» – определено согласно ГОСТ 26213-21.

Note: "*" is defined according to SST 26213-21.

Почвы для опытов были отобраны из состава пахотных земель Мишкинского сельского поселения Аксайского района, Ростовской области. Характеристика почв представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Агрохимические показатели почв, используемых в вегетационных опытах
Table 2 – Agrochemical parameters of soils used in vegetation experiments

Показатель / Indicator	Значение / Meaning	Группировка почв по методу ЦИНАО / Soil grouping using the CINA method
Органическое вещество, % / Organic matter, %	1,5	I – очень низкое / very low
Фосфор, подвижная форма (по Мачигину), мг/кг / Phosphorus, mobile form (according to Machigin), mg/kg	21,9	III – среднее / average
Азот нитратов, мг/кг / Nitrate nitrogen, mg/kg	20,01	III – среднее / average
Калий (по Мачигину), мг/кг / Potassium (according to Machigin), mg/kg	277,6	III – среднее / average
рН водной вытяжки, ед. рН / pH of the water extract, unit pH	7,79	VI – слабощелочная / slightly alkaline

Представленные почвы имеют среднее содержание питательных веществ по массе, поэтому для улучшения их плодородия необходимо внесение удобрений.⁵

Дозы удобрений определялись в соответствии с рекомендациями⁶

Схема опыта:

- почва без внесения удобрений (контроль);
- почва с внесением азотоса (N – 16 %, P₂O₅ – 16 %, K₂O – 16 %) в количестве 100 кг/га;
- почва с внесением подстилочного куриного помета в количестве КП = 30 т/га⁶;
- почва с внесением подстилочного овечьего навоза в количестве ОН = 10 т/га;
- почва с внесением подстилочного навоза крупного рогатого скота в количестве КН = 50 т/га⁷;
- почва с внесением осадков сточных вод КОС «Кадамовские» в количестве ОСВ = 50 т/га⁸.

⁵ Дозы внесения органических удобрений [Электронный ресурс]. Россельхознадзор. URL: <https://80.fsvps.gov.ru/news/dozy-vneseniya-organicheskikh-udobrenij/>, 2025.

⁶ Новиков М. Н., Хохлов В. И., Рябков В. В. Птичий помет – ценное органическое удобрение. – М.: Росагропром издат, 1989. 80 с.

⁷ Зональные системы земледелия Ростовской области (на период 2013-2020 гг.) [Электронный ресурс]: в 3-х ч. Ч. 2 / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Ростовской области. – Ростов н/Д, 2012. Режим доступа: http://don-agro.ru/FILES/2020/ZONSYSEM/Sistema_zemled_do_2020_2.docx.

⁸ Манжина С. А. Способ определения экологически обоснованной нормы внесения осадков сточных вод для удобрения земель. Патент на изобретение: RU 2827194 C1. Заявка № 2023129118 от 10.11.2023. Опубликовано: 23.09.2024 Бюл. № 27. EDN: OKXVBM.

Опыты проводились в лаборатории агробиотехнологий ФГБНУ «РосНИИПМ», оптимальные климатические условия обеспечивались лабораторным агротехническим комплексом «Агролаб», модель 1. Контролируемые условия: температура – 24 °С, влажности – 70 %, скорость ветра – 0,5 м/с. Инсоляция была задана по состоянию на апрель в регионе Ростовская область. Вегетационные сосуды объемом 500 мл заполнялись почвой. Удобрения размещались на поверхность с последующим рыхлением на глубину 5 см. Через два дня поверхность почвы выравнивалась и в углубления 0,5 см высаживали семена пшеницы сорта «Еланчик» в количестве 25 штук на сосуд.

Известно, что фитотестирование позволяет оценить эффективность исследуемых удобрений по величине прироста биомассы и наблюдением за всхожестью семян и развитием растений⁹ [11].

Оценку растений проводили по методике тест-откликов по индикаторным показателям, таким как энергия прорастания, всхожесть семян, прирост биомассы и длина ростков. Тест-отклик энергии прорастания и всхожести семян определяем (в %) по формуле:

$$B = \frac{a}{b} \cdot 100 (\%), \quad (1)$$

где B – энергия прорастания или всхожесть семян, %; a – число проросших семян соответственно на 4 и 15 сутки, шт.; b – общее число семян, взятых для опыта, шт.

Прирост биомассы и иные биометрические параметры растений характеризуют фитозэффект. При оценке фитозэффекта по какому-либо параметру (массы растений, длина корней, длина ростков) расчет ведется по формуле:

$$\Phi Э = \frac{(T\Phi_K - T\Phi_O) \cdot 100}{T\Phi_K}, \quad (2)$$

где $\Phi Э$ – фитозэффект по параметру;

$T\Phi_K$ – тест-функция растений в контроле;

$T\Phi_O$ – тест-функция растений на тестируемую среду.

Уровень фитозэффекта оценивается по следующим показателям:

$\Phi Э < \pm 10 \%$ – отсутствие стимуляции или угнетения;

$\Phi Э = \pm 10...30 \%$ – слабый уровень стимуляции или угнетения;

$\Phi Э = \pm 30...50 \%$ – средний уровень стимуляции или угнетения;

$\Phi Э > \pm 50 \%$ – высокий уровень стимуляции или угнетения.

«+» – указывает на ингибирование или угнетение, «-» – на стимулирование по сравнению с контролем.

Почвы из всех повторностей объединялись для получения смешанной пробы, после чего были переданы на анализ в аккредитованную эколого-аналитическую лабораторию ФГБНУ «РосНИИПМ». Анализ органического вещества осуществляли фотометрическим методом согласно ГОСТ 26213-21, количество подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО, азота нитратов – спектрофотометрией, pH и сухого остатка – кондуктометрией, массовых долей кислоторастворимых и подвижных форм тяжелых металлов и обменных катионов – методом атомно-абсорбционной спектроскопии, содержание ионов кальция, магния, хлоридов и бикарбонатов в водной вытяжке определяли с помощью титриметрии, сульфат-иона – гравиметрическим методом, ионов натрия и калия – расчетным методом.

Экологическое состояние почв оценивали в соответствии с предельно допустимыми концентрациями тяжелых металлов в валовой и подвижной формах, согласно СанПиН 1.2.3685-21¹⁰. Агрохимические показатели почв оценивали по методу ЦИНАО (таблица 3).

⁹ ГОСТ Р ИСО 18763-2019 Определение токсического воздействия загрязняющих веществ на всхожесть и рост на ранних стадиях высших растений. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

¹⁰ Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 N 2 (ред. от 16.12.2024) "Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" (вместе с "СанПиН 1.2.3685-21. Санитарные правила и нормы...")

Таблица 3 – Группировка почв по содержанию гумуса, подвижного фосфора и калия
Table 3 – Grouping of soils by humus, mobile phosphorus and potassium content

Группы почв / Soil groups	Степень обеспеченности / Degree of security	Содержание гумуса (по методу Тюринга в модификации ЦИНАО), % / Humus content (according to the Tyurin method modified by TsINAO), %	Содержание в почве в соответствии с ГОСТ 26205-91 ¹¹ , мг/кг / Soil content in accordance with SST 26205-91 ⁹ , mg/kg	
			P ₂ O ₅ (по Мачигину) / P ₂ O ₅ (according to Machigin)	K ₂ O (по Мачигину) / K ₂ O (according to Machigin)
I	Очень низкое / Very low	0-2,0	< 10	< 100
II	Низкое / Low	2,1-4,0	11-15	101-200
III	Среднее / Intermediate	4,1-6,0	16-30	201-300
IV	Повышенное / Increased	6,1-8,0	31-45	301-400
V	Высокое / High	8,1-10	46-60	401-600
VI	Очень высокое / Very high	> 10	> 60	> 600

Результаты и обсуждение. Длительность вегетационного опыта – 15 дней (фаза прорастания и отрастания/всходов) до образования третьего листа.

Данные измерений растений, полученные по окончании вегетационного опыта приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Биометрические данные ростков пшеницы
Table 4 – Biometric data of wheat sprouts

Показатель / Indicator	Контроль / Control	Внесенные удобрения / Applied fertilizers				
		азофоска / azofoska	КП	КН	ОН	ОСВ / Sewage sludge
1	2	3	4	5	6	7
Количество ростков на 4 день, шт. / Number of sprouts on day 4, pcs.						
Среднее / Average	20,75	20,25	15,00	19,75	17	21
Энергия прорастания, % / Germination energy, %	83,00	81,00	60,00	79,00	68,00	84,00
Φ_3 , %	-	2,41	27,71	4,82	18,07	- 1,2
Количество ростков на 15 день, шт. / Number of sprouts on day 15, pcs.						
Среднее / Average	21,50	20,50	16,75	21,75	19	22
По отношению к контролю на, % / In relation to the control on, %	100,00	95,35	77,91	101,16	88,37	102,33
Всхожесть семян, % / Germination of seeds, %	85	82	67	87	76	88
Φ_3 , %	-	4,65	22,09	- 1,16	11,63	- 2,32
Длина ростков, см / Sprouts length, cm						
Средняя длина / Average length	22,31	22,63	21,77	20,89	21,05	22,73
По отношению к контролю на, % / In relation to the control on, %	100,00	101,43	97,58	93,64	94,35	101,88
Φ_3 , %	-	- 1,43	2,42	6,36	5,65	- 1,88
Вес наземной части растений, г / Weight of the ground part of plants, g						
Среднее на 1 растение / Average per 1 plant	0,021	0,032	0,025	0,039	0,037	0,044
По отношению к контролю на 1 растение, % / Compared to the control, per plant, %	100	152,38	119,05	185,71	168,18	209,52
Φ_3 , %	-	- 52,38	- 19,05	- 85,71	- 76,19	- 109,52

По данным наблюдений за биометрическими показателями растений наибольшая энергия прорастания семян наблюдалась на контроле и при внесении ОСВ. Внесение подстилочного куриного помета и овечьего навоза привело к слабому угнетению семян на ста-

11 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.

дии прорастания. Такая же ситуация сохраняется и при оценке всхожести семян. Средняя длина ростков не имела значимых показателей фитозффектов, позволяющих говорить о стимуляции или об угнетении роста растений.

Превышение прироста биомассы в сравнении с контролем наблюдалось во всех вариантах внесения удобрений. Наибольший прирост биомассы на одно растение приходится (в порядке убывания) на вариант с внесением ОСВ, подстилочный навоз КРС, подстилочный овечий навоз, а прирост биомассы в варианте с внесением азофоски по величине занял четвертую позицию.

Результаты лабораторных исследований содержания питательных веществ в почвах по окончании вегетационных опытов приведены на рисунке 1.

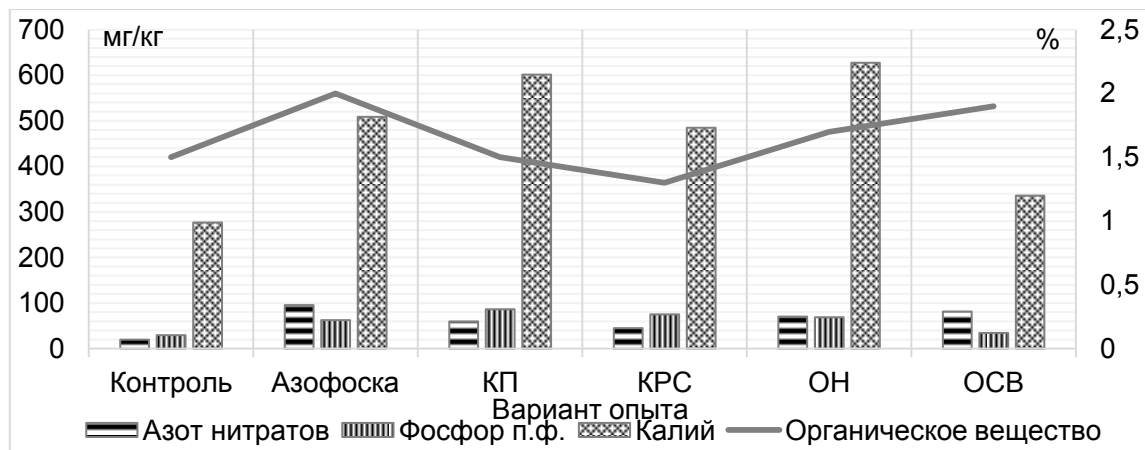


Рисунок 1 – Изменение содержания органического вещества и питательных веществ в почвах на фоне применения различных удобрений при выращивании озимой пшеницы в течение 15 дней
Figure 1 – Changes in the content of organic matter and nutrients in soils against the background of the use of various fertilizers in winter wheat cultivation over the course of 15 days

Наибольшее количество органического вещества в почвах при внесении органических удобрений отмечено в варианте с ОСВ, наибольшее количество фосфора – с куриным пометом, калия – с овечьим навозом, азота – при использовании азофоски и ОСВ. Во всех вариантах с использованием удобрений количество питательных веществ в почве увеличилось.

Немаловажным для оценки агрохимических свойств почв является состав водной вытяжки. В вегетационном опыте во всех вариантах использования органических удобрений было отмечено увеличение кальция в водной вытяжке из почв, в варианте с внесением куриного помета в 1,7 раза выросло содержание натрия, в 3 раза калия, в 1,8 – бикарбонатов по сравнению с контролем, в остальных вариантах эти показатели изменились незначительно. В варианте с азофоской отмечено наибольшее количество хлоридов. В вариантах с внесением куриного помета и ОСВ содержание сульфат-ионов увеличилось более чем вдвое (рисунок 2). Во всех вариантах отмечено увеличение плотного остатка.

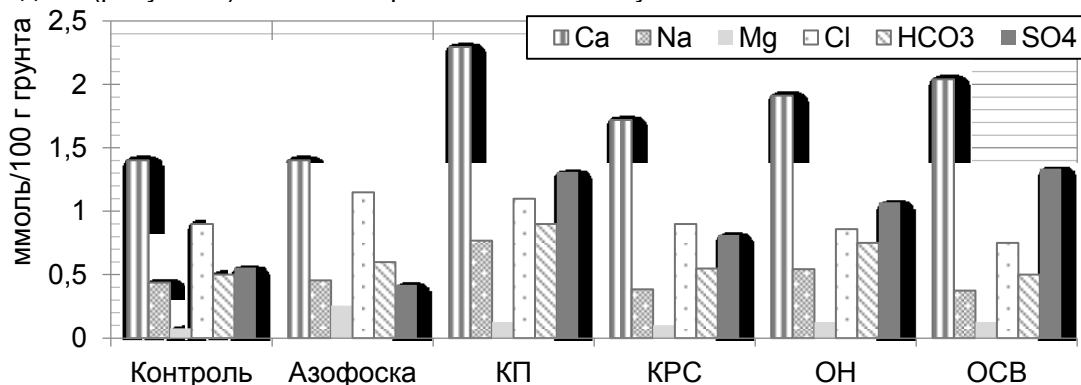


Рисунок 2 – Содержание солей в водной вытяжке исследуемых образцов опытных почв
Figure 2 – Salt content in the aqueous extract of the studied samples of experimental soils

Экологическое состояние почв характеризуется содержанием загрязняющих веществ в ней, и, в первую очередь, тяжелых металлов. Результаты исследований образцов почв на содержание тяжелых металлов в кислоторастворимой и подвижной формах по вариантам применяемых удобрений представлены на рисунках 3 и 4 соответственно.

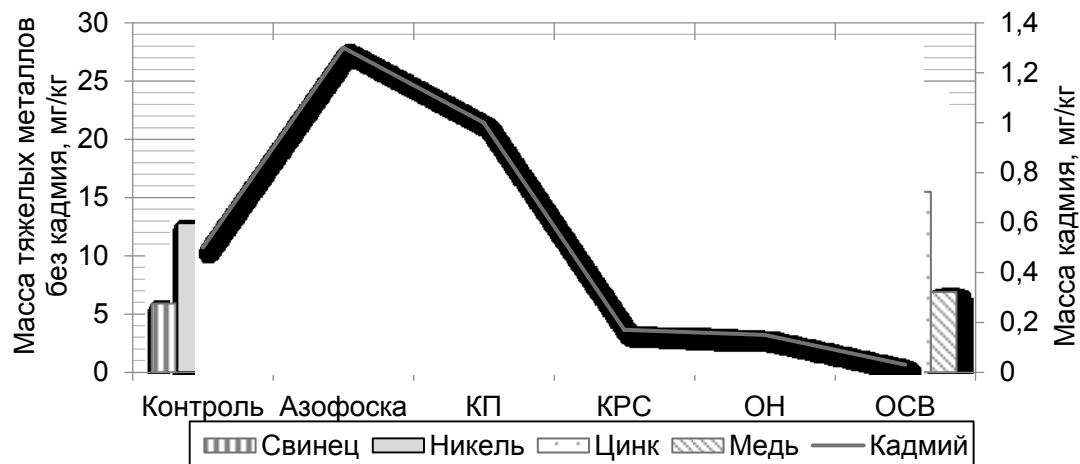


Рисунок 3 – Содержание тяжелых металлов (кислоторастворимая форма) в образцах почв
Figure 3 – The content of heavy metals (acid-soluble form) in soil samples

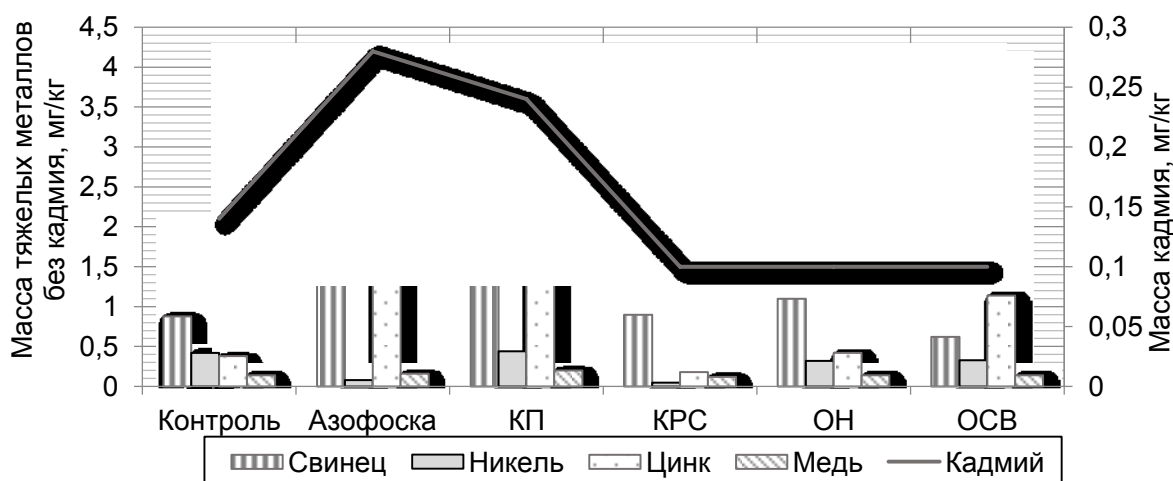


Рисунок 4 – Содержание тяжелых металлов (подвижная форма) в почвах после выращивания семян озимой пшеницы в течение 15 дней
Figure 4 – Heavy metal content (mobile form) in soils after growing winter wheat seeds for 15 days

В вариантах с внесением азофоски и куриного помета увеличилось содержание свинца, цинка и кадмия в сравнении с контролем и другими вариантами удобрений (рисунок 3). Тем не менее, полученные показатели находятся в пределах допустимых концентраций согласно СанПиН 1.2.3685-21. Сравнивая с региональными фоновыми показателями почв согласно данным Н. В. Коханистой с соавт. (2022) [12] (таблица 5), отметим, что при внесении азофоски наблюдается превышение содержания кадмия в кислоторастворимой форме над фоновыми показателями почв в 6 раз, а при внесении куриного помета практически в 5 раз, что является неблагоприятным показателем. При внесении ОСВ превышения фоновых показателей почв по тяжелым металлам не регистрируется.

Таблица 5 – Фоновые содержания тяжелых металлов в почвах Ростовской области, мг/кг
Table 5 – Background concentrations of heavy metals in the soils of the Rostov region, mg/kg

Показатель / Indicator	Cr	Mn	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni
Региональный фон / Regional background	61,5	750,0	34,8	84,3	24,0	0,21	43,8

По данным лабораторных испытаний в образцах почв с внесением азофоски и куриного помета регистрируется значительное увеличение подвижных форм свинца, кадмия и цинка. На фоне внесения ОСВ содержание цинка в подвижной форме в почвах увеличилось втрое, после внесения азофоски – более чем в 5 раз, а после внесения куриного помета – в 10,8 раза. Увеличение подвижных форм кадмия практически вдвое наблюдается в образцах почв с внесением азофоски и куриного помета, что также можно отметить как неблагоприятный с экологической точки зрения фактор.

Заключение. Применяемый в качестве удобрения осадок сточных вод с КОС «Кадамские», показал свою высокую эффективность на начальной стадии формирования биомассы растений озимой пшеницы сорта «Еланчик». По регистрируемым фитоэффектам отмечена наибольшая стимуляция прироста биомассы в среднем на одно растение при применении исследуемых осадков в качестве удобрений.

Оценка образцов почв при внесении осадков сточных вод в расчетной дозе не выявила нарушений в содержании тяжелых металлов в сравнении с фоновыми характеристиками. При этом при внесении традиционного минерального удобрения – азофоски и при использовании подстилочного куриного помета наблюдается значительное увеличение в образцах почв содержания свинца, кадмия и цинка.

Всхожесть и энергия прорастания семян имели наименьшие показатели в вариантах применения куриного помета и овечьего навоза, в остальных вариантах находятся примерно на одинаковом уровне.

Conclusion. The sewage sludge from the Kadamovskie wastewater treatment plant, used as a fertilizer, showed high efficiency at the initial stage of biomass formation in the winter wheat variety "Elanchik". The recorded phytochemical effects showed the greatest stimulation of biomass growth per plant when the studied sludge was used as a fertilizer.

Evaluation of soil samples after application of sewage sludge at the calculated dose did not reveal any violations in the content of heavy metals in comparison with background characteristics. At the same time, when applying the traditional mineral fertilizer – azophoska and when using chicken manure as the bedding, a significant increase in the content of lead, cadmium and zinc in the soil samples is observed.

The germination and energy of seed germination were the lowest in the variants using chicken manure and sheep manure, while the other variants were approximately at the same level.

Библиографический список

1. Манжина С. А. Анализ обеспечения АПК России удобрениями. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2017. № 3 (27). С. 192-221.
2. Кокунова И. В., Кулакова Н. Н., Истомина С. В. Эффективность органических удобрений в зависимости от способа их производства. Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 3. С. 48-54.
3. Борисов В. А., Успенская О. Н., Коломиец А. А., Васючков И. Ю. Эффективность применения навоза, биокomпостов и сидератов под овощные культуры. Агрохимия. 2023. № 2. С. 36-40.
4. Межевова А. С. Использование биомелиорантов для повышения продуктивности слабогумусированных почв. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 4 (40). С. 58-70.
5. Пахненко Е. П. Агрохимические, санитарно-эпидемиологические и токсикологические исследования ОСВ и компостов очистных сооружений г. Москвы, устойчивость функционирования в агроэкосистемах. Почвы в биосфере: сборник материалов Всероссийской научной конференции. Новосибирск, 2018. Т. 1. Ч. 1. С. 359-363.
6. Мерзляя Г. Е., Афанасьев Р. А. Агрохимические аспекты использования осадков сточных вод для рекультивации земель различного назначения. Агрохимия. 2020. № 8. С. 70-77.
7. Куликова А. Х., Захаров Н. Г., Починова Т. В. Применение осадков сточных вод в качестве удобрения в сельском хозяйстве Ульяновской области. Агрохимический вестник. 2010. № 5. С. 32-35.
8. Кусякина Н. А., Чемерис М. С. Экологическая эффективность действия осадков сточных вод при возделывании рапса ярового. Мир науки, культуры, образования. 2012. № 2 (33). С. 342-343.
9. Васбиева М. Т., Зиновьев Д. С. Эффективность применения осадков сточных вод на дерново-подзолистой почве Предуралья. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2013. № 5 (36). С. 37-42.
10. Арефьев А. Н., Кузин Е. Н., Ильина Г. В. Последствие осадков сточных вод г. Пензы и природного цеолита на урожайность и качество растениеводческой продукции. Нива Поволжья. 2020. № 1 (54). С. 61-66.
11. Тишин А. С. Фитотестирование почв, загрязненных нефтепродуктами. Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 12 (102). Часть 2. С. 78-83.
12. Коханастая Н. В., Шишкина Д. Ю., Закруткин В. Е. Биогеохимическая характеристика ландшафтов Ростовской области. Успехи современного естествознания. 2022. № 11. С. 53-60.

References

1. Manzhina S. A. Analysis of the provision of fertilizers to the Russian agro-industrial complex. Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2017. № 3 (27). Pp. 192-221.
2. Kokunova I. V., Kulakova N. N., Istomina S. V. The effectiveness of organic fertilizers depending on the method of their production. Proceedings of the Velikiye Luki State Agricultural Academy. 2022. No. 3. Pp. 48-54.
3. Borisov V. A., Uspenskaya O. N., Kolomiets A. A., Vasyuchkov I. Yu. The effectiveness of using manure, bio composts and siderates for vegetable crops. Agrarian chemistry. 2023. No 2. Pp. 36-40.

4. Mezheva A. S. The use of bioremediants to increase the productivity of slightly fumigated soils. Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2020. No 4 (40). Pp. 58-70.
5. Pakhnenko E. P. et al. Agrochemical, sanitary-epidemiological and toxicological studies of soils and wastewater treatment plants in Moscow, stability of functioning in agroecosystems. Soils in the biosphere: collection of materials of the All-Russian Scientific Conference. Novosibirsk, 2018. V. 1. Part 1. Pp. 359-363.
6. Merzlaya G. E., Afanasyev R. A. Agrochemical aspects of the use of sewage sludge for the cultivation of lands for various purposes. Agrarian chemistry. 2020. No 8. Pp. 70-77.
7. Kulikova A. Kh., Zakharov N. G., Pochinova T. V. Application of sewage sludge as fertilizer in agriculture of the Ulyanovsk region. Agrochemical Bulletin 2010. No 5. Pp. 32-35.
8. Kusakina N. A. Chemeris M. S. Ecological efficiency of sewage sludge in the cultivation of spring rapeseed. The world of science, culture, education. 2012. No 2 (33). Pp. 342-343.
9. Vashieva M. T., Zinoviev D. S. The effectiveness of sewage sludge application on sod-podzolic soil of the Urals. Agrarian Science of the Euro-North-East. 2013. No 5 (36). Pp. 37-42.
10. Arefyev A. N., Kuzin E. N., Ilyina G. V. The aftereffect of sewage sludge from Penza and natural zeolite on crop yields and quality. Niva of the Volga region. 2020. No 1 (54). Pp. 61-66.
11. Tishin A. S. Phytotesting of soils contaminated with petroleum products. International Scientific Research Journal. 2020. No 12 (102). Part 2. Pp. 78-83.
12. Kohanistaya N. V., Shishkina D. Yu., Zakrutkin V. E. Biogeochemical characteristics of landscapes of the Rostov region. Successes of modern Natural Science. 2022. No 11. Pp. 53-60.

Информация об авторах

Манжина Светлана Александровна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (Российская Федерация, 346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190), e-mail: manz.svetlana@yandex.ru

Русин Лев Игоревич, аспирант, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (Российская Федерация, 346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190), AuthorID: 1204138, <https://orcid.org/0009-0007-8802-4726>, e-mail: leva19111@icloud.com

Authors' Information

Manzhina Svetlana Aleksandrovna, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems (Russian Federation, 346421, Rostov region, Novocherkassk, Baklanovsky Avenue, 190), e-mail: manz.svetlana@yandex.ru

Rusin Lev Igorevich, Postgraduate Student, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems (Russian Federation, 346421, Rostov region, Novocherkassk, Baklanovsky Avenue, 190), AuthorID: 1204138, <https://orcid.org/0009-0007-8802-4726>, e-mail: leva19111@icloud.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-22

THE EFFECT OF THE SUNFLOWER SEEDS PRE-SOWING TREATMENT IN THE ELECTRIC FIELD ON THE SEEDS LABORATORY GERMINATION

²Petrov Yu. N., ¹Aksenov M. P., ¹Petrov N. Yu., ¹Chernyavsky A. N., ¹Gorbacheva A. S.,
³Salaev B. K., ³Eviev V. A.

¹Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

²Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation
Volgograd, Russian Federation

³Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov
Elista, Russian Federation

Corresponding author E-mail: npetrov60@list.ru

Received 09.02.2026

Submitted 26.03.2026

The study was carried out as part of the State assignment "Theoretical foundations and methodology for assessing the greenhouse gas balance in freshwater bodies in the arid conditions of southern Russia". FNFE-2025-0012.

Abstract

Scientists and breeders are continuously conducting research to increase the genetically programmed potential of crop yields. While there have been some successes in this area, such as consistently increasing gross harvests, it is rare for producers to achieve the yields predicted by breeders. To fully unlock the biological potential of crops, additional measures must be taken within the framework of the technological map for growing specific crops. Regulators and growth stimulants have been widely used to activate biological processes in seeds after entering the soil, and these preparations are applied to the surface of seeds during pre-sowing preparation. In addition to the advantages of simple seed treatment and the positive effect of an optimal choice of drugs, there are also significant disadvantages – the effects of drugs on the environment, wildlife and flora. As an alternative, which is distinguished primarily by its environmental friendliness, physical methods of pre-sowing treatment are proposed, which are aimed at the complete or partial replacement of growth stimulants containing chemical components that accumulate in the soil. An electric field is a promising tool for seed stimulation, the effect of which, when certain parameters are selected, increases the quality of seeds. In order to determine the modes of exposure to an alternating field on certain crops that

differ in the morphological structure of the seed, laboratory research is necessary, as the electrical nature of an alternating field can both stimulate the activation of biological processes in seed cells and slow them down. **Object.** Determination of rational modes for pre-sowing treatment of seeds of sunflower hybrids Fortuna, EC Bella, EC Petunia with an electric field of alternating voltage of industrial frequency. **Materials and methods.** The conducted research allowed us to study the response of sunflower hybrids Fortuna, EC Bella, and EC Petunia to the electro-physical effect created by a high-voltage electric field. **Results and conclusions.** The seeds of all three sunflower hybrids, with which laboratory studies were conducted; demonstrated good responsiveness to electrical and physical influences, the effective mode of operation of the installation is the duration of exposure to an electric field of 60 seconds, the voltage between the electrodes is 8 kV / cm. The treatment of sunflower seeds in this mode makes it possible to increase the conditioned qualities of seeds, expressed in laboratory germination by 6-8 %.

Keywords: sunflower hybrids, pre-sowing treatment of sunflower seeds, laboratory seed germination, sunflower seed germination.

Citation. Petrov Yu. N., Aksenov M. P., Petrov N. Yu., Chernyavsky A. N., Gorbacheva A. S., Salaev B. K., Eviev V. A. The effect of the sunflower seeds pre-sowing treatment in the electric field on the seeds laboratory germination. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 204-211 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-22.

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 633.584.78:631.53.027.33

ВЛИЯНИЕ ПРЕПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ ВСХОЖЕСТЬ

²Петров Ю. Н., кандидат сельскохозяйственных наук

¹Аксенов М. П., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

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

¹Чернявский А. Н., кандидат сельскохозяйственных наук

¹Горбачева А. С., кандидат экономических наук, доцент

³Салаев Б. К., доктор биологических наук, профессор

³Эвиев В. А., доктор технических наук, профессор

¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

²ФГБНУ «ФНЦ Агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН»

г. Волгоград, Российская Федерация

³ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова»

г. Элиста, Республика Калмыкия, 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. Учеными селекционерами непрерывно ведутся исследования по повышению генетически запрограммированного потенциала урожайности сельскохозяйственных культур. Определенные успехи в этой области подтверждают систематически увеличивающимися валовыми сборами урожая, но редко в производственных условиях получается добиваться заявленной селекционерами урожайности. Для более полного раскрытия биологического потенциала сельскохозяйственных культур необходимы дополнительные мероприятия проводимые в рамках технологической карты выращивания определенных культур. Широкое применение для активации биологических процессов в семени после попадания в почву получили регуляторы и стимуляторы роста, данные препараты наносятся на поверхность семян при предпосевной подготовке. Кроме достоинств, заключающихся в простоте обработки семян, положительного эффекта при оптимальном выборе препаратов, имеются и существенные недостатки – влияние препаратов на окружающую среду, животный и растительный мир. В качестве альтернативных, отличающихся в первую очередь экологичность предлагаются физические методы предпосевной обработки, направление на полную или частичную замену стимуляторов роста, содержащих химические компоненты, накапливающиеся в почве. Электрическое поле является перспективным инструментом для стимуляции семян, действие которого при определенном выборе параметров повышает кондиционные качества семян. С целью определения режимов воздействия переменного поля на определенные культуры, различающие морфологическим строением семени необходимы лабораторные исследования, так как электрическая природа переменного поля способна как стимулировать активацию биологических процессов в клетках семян, так и замедлять. **Объект.** Определение рациональных режимов для проведения предпосевной об-

работки семян гибридов подсолнечника Фортуна, ЕС Белла, ЕС Петуния электрическим полем переменного напряжения промышленной частоты. **Материалы и методы.** Проведенные исследования позволили изучить отзывчивость гибридов подсолнечника Фортуна, ЕС Белла, ЕС Петуния на электрофизическое воздействие, создаваемое электрическим полем высокого напряжения. **Результаты и выводы.** Семена всех трех гибридов подсолнечника, с которыми проводились лабораторные исследования продемонстрировали хорошую отзывчивость на электрофизические воздействия, эффективным режимом работы установки является продолжительность воздействия электрического поля 60 секунд, напряженностью между электродами 8 кВ/см. Обработка в таком режиме семян подсолнечника позволяет повысить кондиционные качества семян, выражающиеся в лабораторной всхожести на 6-8 %.

Ключевые слова: гибриды подсолнечника, предпосевная обработка семян подсолнечника, лабораторная всхожесть семян, всхожесть семян подсолнечника.

Цитирование. Петров Ю. Н., Аксенов М. П., Петров Н. Ю., Чернявский А. Н., Горбачева А. С., Салаев Б. К., Эвиев В. А. Влияние предпосевной обработки семян подсолнечника в электрическом поле на лабораторную всхожесть. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 204-211. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-22.

Авторский вклад. Представленный авторский коллектив данных исследований принимал непосредственное участие в планировании, закладке, проведении опытного эксперимента и обработке результатов исследований. Все авторы настоящей статьи ознакомлены с ее содержанием и одобрили окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Для фермерских хозяйств Волгоградской области подсолнечник является второй культурой по значимости после озимой пшеницы, посевные площади под масличные культуры в 2025 году составляли более 800 тыс. га, из которых доля подсолнечника – более 700 тыс. га. Большинство хозяйств различных форм собственности, используют семена гибридов подсолнечника импортной селекции, которые на генетическом уровне способны противостоять основным болезням, снижающим урожайность [1, 2]. Потенциальная урожайность возделываемых гибридов подсолнечника составляет 3,5-4,5 т/га [3], фактически средняя урожайность в регионе значительно ниже – 1,6 т/га. Следовательно, увеличение урожайности подсолнечника является актуальной задачей, решаемой за счет поиска способов и методов повышения отдачи от культуры, одним из которых является улучшение кондиционных качеств семян путем их предпосевной подготовки. Применение физических факторов [4, 5] для предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур, является экологически безопасным, но пока еще не нашедшим массового применения у аграриев в связи с отсутствием обоснования способа, режимов и параметров обработки семян конкретной культуры. Для стимулирования ростовых процессов в семенном учеными активно исследуются электрофизические факторы: электромагнитные поля сверхвысокой частоты [6, 7], лазерным, оптическим, УФ излучением [8-10], импульсные электрические поля [11, 12] и др. Семена, обработанные в электромагнитном поле переменного напряжения более устойчивы к засухе [13], при этом наибольшая эффективность может быть достигнута на некондиционных семенах [14]. При выборе способа физического воздействия необходимо руководствоваться не только повышением всхожести, энергии роста, урожая исследуемой культуры, но и возможностью непосредственной реализации способа в аграрной сфере производства. Для этого необходимо наличие технической возможности изготовления установки и экономического обоснования ее применения. Анализ литературных источников свидетельствует об технологической эффективности применения электрических полей для предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур. Перспективным методом предпосевной обработки, с точки зрения экономических вложений и технических возможностей изготовления установки для конвейерной обработки семян является электрическое поле переменного напряжения промышленной частоты 50 Гц.

Цель исследования – изучить влияние электрического поля переменного напряжения промышленной частоты 50 Гц, на лабораторную всхожесть семян гибридов подсолнечника и установить эффективные режимы обработки.

Материалы и методы. Для выполнения поставленной задачи, была изготовлена установка, позволяющая стимулировать семена в электрическом поле. Семена помещались в камеру, представляющую собой каркас из фанеры, внутри которого на определенном расстоянии установлены стальные пластины, представляющие собой плоскопараллельный конденсатор, в котором электрический потенциал высокого напряжения подавался на верхнюю пластину, которая была подвижной с возможностью изменения расстояния от 20 до 50 мм, в то время как нижняя пластина оставалась неподвижной и заземленной.

Структурная схема лабораторной установки представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Структурная схема проведения опытов по влиянию электрического поля переменного напряжения на лабораторную всхожесть семян подсолнечника

Figure 1 – Structural diagram of experiments on the effect of an alternating voltage electric field on the sunflower seeds laboratory germination

Для проведения лабораторных исследований были выбраны гибриды подсолнечника, районированные для возделывания в Волгоградском регионе: Фортуна, ЕС Белла, ЕС Петуния.

После получения определенной дозы электрического облучения семена укладывали в чашки Петри и помещали на 5 суток для проращивания в термостат с постоянно поддерживаемой температурой 25 °С. Лабораторная всхожесть определялась в соответствии с ГОСТ 12038-44.

Результаты и обсуждение. С учетом физиологического строения семени подсолнечника, нами было выбрано изменение напряженности электрического поля от 2 до 10 кВ/см, с шагом в 2 кВ/см, и временем обработки семян от 15 до 105 секунд с интервалом 15 секунд.

Исследуемые семена гибридов подсолнечника на контроле (без обработки) обладали хорошими показателями по лабораторной схожести: Фортуна – 87 %, ЕС Белла – 85 % и ЕС Петуния – 83 %.

На рисунке 2 представлены графики изменения лабораторной всхожести гибрида подсолнечника Фортуна при пяти заданных уровнях напряженности электрического поля и времени обработки от 15 до 105 секунд. Анализируя полученные графические зависимости, можно наблюдать повышение лабораторной всхожести как при увеличении напряженности поля, так и при постоянной напряженности, но с увеличением времени воздействия. При напряженности электрического поля 2 кВ/см и времени воздействия 15, 30, 45 и 60 секунд не происходило явных изменений в значениях всхожести относительно контроля, как в сторону увеличения, так и уменьшения – всхожесть находилась на уровне 87 %, как и при контрольных показателях. При длительности нахождения в электрическом поле 75 секунд, показатель всхожести уже составил 88 %, а с увеличением времени воздействия до 90 и 105 секунд она повысилась до 89 %. При дальнейшем увеличении времени обработки улучшение результатов по всхожести не наблюдалось.

При напряженности 4 кВ/см и 15 секундах воздействия, влияние на семена не проявилось, всхожесть, как и при контроле была равна 87 %, 30 секунд воздействия в отличие от напряженности 2 кВ/см, повысило всхожесть до 88 %, а на 45 секундах всхожесть уже равнялась 89 % и продолжала расти с увеличением времени нахождения семян в экспериментальной ячейке, продемонстрировав максимальные показатели при 105 секундах – 91 % всхожести.

Электрическое поле переменного напряжения напряженностью 6 кВ/см уже при 15 секундах показывало положительное влияние на всхожесть – 88 %, прибавляя к контролю 1 %. Всхожесть 90 % наблюдалась при 30 секундах, 91 % – при 45 секундах, 92 % – при 60 секундах, 94 % – при 75 секундах. Максимальная всхожесть, при напряженности электрического поля 6 кВ/см, была достигнута на 90 секундах и составила 95 %, не изменившись на 105 секундах – все те же 95 %.

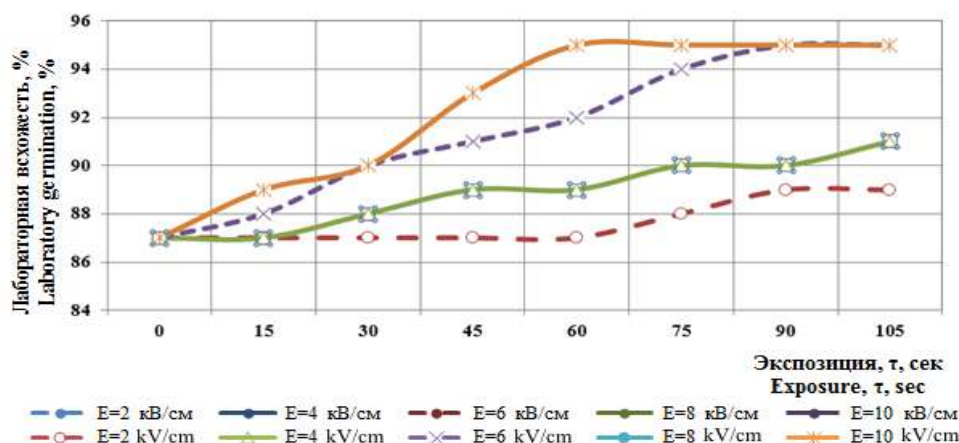


Рисунок 2 – Зависимость лабораторной всхожести семян гибрида подсолнечника Фортуна от напряженности электрического поля и времени обработки

Figure 2 – Dependence of the laboratory germination of Fortuna sunflower hybrid seeds on the electric field strength and treatment time

Напряженность в 8 кВ/см уже при 15 секундах повышала всхожесть на 2 % выше контроля, которая составила 89 %. Максимальное значение в 95 % было достигнуто при времени обработки в 60 секунд. Дальнейшее увеличение времени обработки до 75, 90 и 105 секунд на процент всхожести не повлияло.

При напряженности электрического поля 10 кВ/см всхожесть при минимальном времени в 15 секунд составила 89 %, а при максимальном времени в 105 секунд – 95 %.

Анализируя полученные результаты лабораторных исследований на семенах гибрида Фортуна, прослеживается что напряженность в 2 кВ/см при минимальном времени воздействия до 60 секунд не оказывало влияния на всхожесть, но при большем времени в 90 секунд уже наблюдалась положительная динамика в сторону повышения процента всхожести, как и при большей напряженности в 8 и 10 кВ/см, когда эти результаты в 89 % достигались уже при 15 секундах нахождения семян в электрическом поле.

Всхожесть при контроле достигла 87 %. Из графиков видно, что начало изменений в сторону увеличения всхожести наблюдалось на напряженности 2 кВ/см и времени воздействия 75 секунд (88 %), достигнув максимума в 89 %, на напряженности 4 кВ/см. При этом положительная динамика наблюдалась при 30 секундах (88 %), а достигла максимума на 105 секундах – 91 %, в то время как при 6 кВ/см уже на 15 секундах всхожесть достигла значения 88 %, а значения 89 % при 15 секундах обработки было зафиксировано при режимах с напряженностью в 8 и 10 кВ/см.

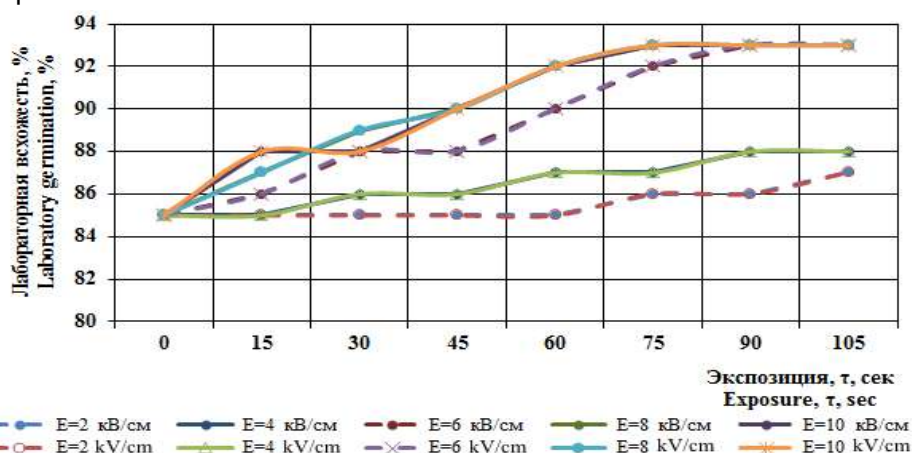


Рисунок 3 – Зависимость лабораторной всхожести семян гибрида подсолнечника ЕС Белла от напряженности электрического поля и времени обработки

Figure 3 – Dependence of the EU Bella sunflower hybrid seeds laboratory germination on the electric field strength and treatment time

На рисунке 3 изображены графические зависимости изменения лабораторной всхожести семян гибрида ЕС Белла от напряженности поля и времени обработки.

На контроле всхожесть данного гибрида составила 85 %. Установлено незначительное отклонение от контроля, как по всхожести семян, так и по энергии прорастания. Значения 88 % и 85 %, соответственно были достигнуты при напряженности электрического поля 4 кВ/см и экспозиции 105 секунд. Максимальные показатели были получены при напряженности 6 кВ/см и экспозиции 105 секунд – 93 % лабораторная всхожесть и 92 % энергия прорастания. Лабораторная всхожесть 93 %, и энергия прорастания 91 % были максимальными показателями для режимов с напряженностью 8 кВ/см и 10 кВ/см с экспозицией от 75 до 105 секунд.

На рисунке 4 представлены графики зависимости отзывчивости семян гибрида подсолнечника ЕС Петуния на воздействия электрического поля разной напряженности и различной продолжительности по времени.

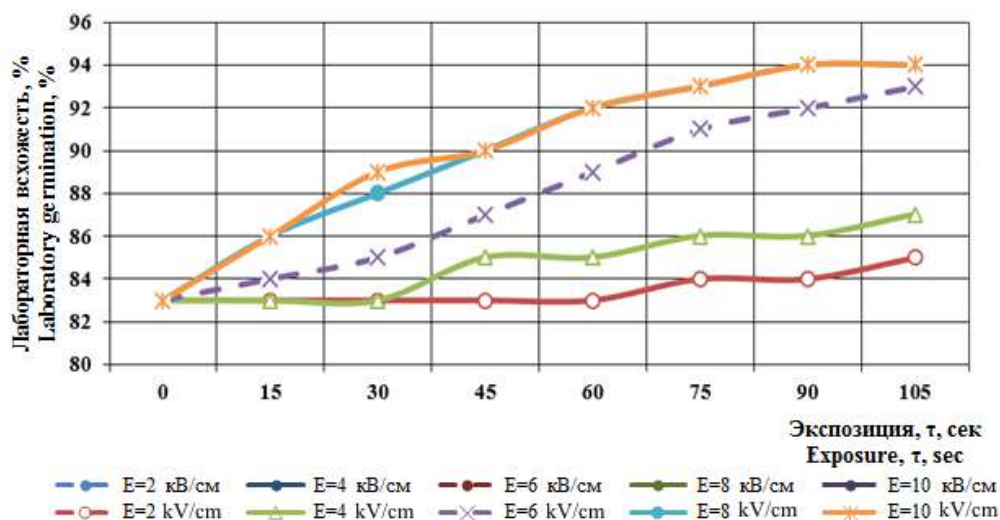


Рисунок 4 – Зависимость лабораторной всхожести семян гибрида подсолнечника ЕС Петуния от напряженности электрического поля переменного напряжения и времени воздействия
Figure 4 – Dependence of the laboratory germination of EU Petunia sunflower hybrid seeds on the intensity of the alternating voltage electric field and exposure time

Эксперименты по изучению влияния обработки семян в электрическом поле с напряженностью 8 и 10 кВ/см при экспозиции 15 секунд повышали лабораторную всхожесть до 86 %, превышая тем самым контроль (83 %) на 3 %. Максимальные показатели в 94 % лабораторной всхожести были получены на напряженности 8 кВ/см с экспозицией 90 секунд, и напряженности 10 кВ/см со времени обработки 90-105 секунд.

Выводы. Семена всех трех гибридов подсолнечника, с которыми проводились лабораторные исследования, продемонстрировали хорошую отзывчивость на электрические и физические воздействия, эффективным режимом работы установки является продолжительность воздействия электрического поля 60 секунд, напряжение между электродами составляет 8 кВ/см. Обработка семян подсолнечника в таком режиме позволяет повысить кондиционированные качества семян, выражающиеся в лабораторной всхожести, на 6-8 %.

Conclusions. The seeds of all three sunflower hybrids, with which laboratory studies were conducted demonstrated good responsiveness to electrical and physical influences, the effective mode of operation of the installation is the duration of exposure to an electric field of 60 seconds, the voltage between the electrodes is 8 kV / cm. The treatment of sunflower seeds in this mode makes it possible to increase the conditioned qualities of seeds, expressed in laboratory germination by 6-8 %.

Библиографический список

1. Бушнев А. С. и др. Эффективность применения агроприемов на участке гибридизации подсолнечника для улучшения физико-механических и биологических свойств выращиваемых семян. Масличные культуры. 2023. № 2 (194). С. 76-85.
2. Литвиненко Р. Биопрепараты как инструмент стабилизации урожайности подсолнечника. Аграрная наука. 2023. № 4. С. 116-117.
3. Буряк С. М., Черникова О. В., Мажайский Ю. А. Восстановление плодородия малопродуктивных дерново-подзолистых почв, вновь вводимых в сельскохозяйственный оборот. Вестник КрасГАУ. 2024. № 1 (202). С. 56-63.

4. Трапезников А. И., Казакова А. С., Донцова В. Ю. Предпосевная обработка семян ярового ячменя электрическим полем переменного напряжения промышленной частоты. Активная честолубивая интеллектуальная молодёжь сельскому хозяйству. 2024. № 1 (16). С. 77-85.
5. Глубоков М. В., Абубакаров А. Г., Шкуркин С. И. Предпосевная обработка семян электромагнитным полем сверхвысокой частоты при организации государственных закупок. Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2023. № 9 (103). С. 151-163.
6. Зацаринная И. А. и др. Предпосевная обработка семян электромагнитным полем. Приднестровский научный вестник. 2024. Т. 3. № 4. С. 157-159.
7. Стародубцева Г. П. и др. Параметры рабочей камеры установки по обработке семян импульсным электрическим полем. Сельский механизатор. 2022. № 11. С. 9-11.
8. Рубцова Е. И. и др. Предпосевная обработка семян кориандра лазерным излучением. Сельский механизатор. 2024. № 10. С. 41-43.
9. Крылов О. Н. и др. Предпосевная оптическая обработка семян зерновых культур на примере озимой ржи «Фаленская 4». Хранение и переработка сельхозсырья. 2023. № 2. С. 214-230.
10. Страхов В. Ю., Вендин С. В., Саенко Ю. В. Предпосевная УФ-обработка семян сои: проращивание на витаминный корм. Агроинженерия. 2023. Т. 25. № 6. С. 46-52.
11. Стародубцева Г. П., Ливинский С. А., Любая С. И. Обоснование параметров воздействия импульсного электрического поля при предпосевной обработке семян озимой пшеницы. Вестник АПК Ставрополя. 2017. № 2 (26). С. 44-48.
12. Кузнецов В. И., Трутнев И. В. Разработка и исследование установки для предпосевной стимуляции семян переменным электрическим полем низкой частоты. Приднестровский научный вестник. 2024. Т. 8. № 3. С. 50-53.
13. Чекаев Н. П. и др. Эффективность применения микробиологических удобрений при выращивании сельскохозяйственных культур. Нива Поволжья. 2022. № 4 (64). С. 1004.
14. Стацюк Н. В. и др. Влияние предпосадочной обработки импульсным низкочастотным электрическим полем на повышение всхожести ботанических семян картофеля (*Solanum tuberosum* L.). Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2015. № 3 (54). С. 53-58.

References

1. Bushnev A. S. et al. The effectiveness of using agricultural practices in the area of sunflower hybridization to improve the physical, mechanical, and biological properties of the cultivated seeds. Oilseeds. 2023. No 2 (194). Pp. 76-85.
2. Litvinenko R. Biological preparations as a Tool for Stabilizing Sunflower Yield. Agrarian Science. 2023. No 4. Pp. 116-117.
3. Buryak S. M., Chernikova O. V., and Mazhaisky Yu. A. Restoration of the Fertility of Low-Productive Sod-Podzolic Soils that are Being Reintroduced into Agricultural Use. Proceedings of the KrasSAU. 2024. No 1 (102). Pp. 56-63.
4. Trapeznikov A. I., Kazakova A. S., Dontsova V. Yu. Pre-sowing treatment of spring barley seeds with an electric field of alternating voltage of industrial frequency. Active ambitious intellectual youth to agriculture. 2024. No 1 (16). Pp. 77-85.
5. Glubokov M. V., Abubakarov A. G., Shkurkin S. I. Pre-sowing treatment of seeds with an ultra-high-frequency electromagnetic field in the organization of public procurement. Economics, Labor, Management in Agriculture. 2023. No 9 (103). Pp. 151-163.
6. Zatsarinna I. A. et al. Pre-sowing treatment of seeds with an electromagnetic field. Pridneprovsky Scientific Bulletin. 2024. V. 3. No 4. Pp. 157-159.
7. Starodubtseva G. P. et al. Parameters of the working chamber of the seed treatment unit with a pulsed electric field. Rural machine operator. 2022. No 11. Pp. 9-11.
8. Rubtsova E. I. et al. Pre-sowing treatment of coriander seeds with laser radiation. Rural machine operator. 2024. No 10. Pp. 41-43.
9. Krylov O. N. et al. Pre-sowing optical treatment of grain crops seeds on the example of winter rye "Falen'skaya 4". Storage and Processing of Agricultural Raw Materials. 2023. No 2. Pp. 214-230.
10. Strakhov V. Yu., Vendin S. V., Saenko Yu. V. Pre-sowing UV-treatment of soybean seeds: germination for vitamin feed. Agrarian engineering. 2023. V. 25. No 6. Pp. 46-52.
11. Starodubtseva G. P., Livinsky S. A., Lyubaya S. I. Justification of the parameters of the impact of a pulsed electric field during the pre-sowing treatment of winter wheat seeds. Bulletin of the AIC of Stavropol. 2017. No 2 (26). Pp. 44-48.
12. Kuznetsov V. I., Trutnev I. V. Development and research of the installation for pre-sowing stimulation of seeds by an alternating electric field of low frequency. Pridneprovsky scientific bulletin. 2024. Vol. 8. No 3. Pp. 50-53.
13. Chekaev N. P. et al. Effectiveness of the use of microbiological fertilizers in the cultivation of crops. Niva of the Volga region. 2022. No 4 (64). P. 1004.
14. Statsyuk N. V. et al. The effect of pre-planting treatment with a pulsed low-frequency electric field on increasing the germination of botanical potato seeds (*Solanum tuberosum* L.). Bulletin of the Orel State Agrarian University. 2015. No 3 (54). Pp. 53-58.

Информация об авторах

Петров Юрий Николаевич, старший научный сотрудник лаборатории прогнозирования биопродуктивности агроландшафтов, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН, Российская Федерация, г. Волгоград).

Аксенов Михаил Петрович, доцент кафедры «Электроснабжение и энергетические системы» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (РФ 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), кандидат сельскохозяйственных наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1619-655X>, телефон: +79173365353, e-mail: aksenovmp@mail.ru

Петров Николай Юрьевич, профессор кафедры «Технология хранения и переработки сельскохозяйственного сырья и общественное питание», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (400002, Южный федеральный округ, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр. Университетский, 26.), доктор сельскохозяйственных наук, профессор. e-mail: technolog_16@mail.ru

Чернявский Алексей Николаевич, доцент кафедры «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий АПК», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (РФ, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: alexei.tcherniawskij@yandex.ru

Горбачева Анна Семеновна, кандидат экономических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26).

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

Эвиев Валерий Андреевич, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова (Российская Федерация, 358000, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0329-2013>, e-mail: aviev@yandex.ru

Author's Information

Petrov Yuri Nikolaevich, Senior Researcher, Laboratory for Forecasting the Bioproductivity of Agroforest Landscapes, Federal Research Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation, and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (FRC Agroecology RAS, Russian Federation, Volgograd).

Aksenov Mihail Petrovich, associate Professor of the Department «Power supply and energy systems» Volgograd State Agrarian University (RF 400002, g. Volgograd, pr. Universitetskij, d.26), Candidate of Agricultural Sciences, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1619-655X>, tel. +79173365353, e-mail: aksenovmp@mail.ru

Petrov Nikolay Yuryevich, Professor of the Department "Technology of storage and processing of agricultural raw materials and public catering", Volgograd State Agrarian University (RF 400002, g. Volgograd, pr. Universitetskij, d. 26), doctor of agricultural Sciences, Professor e-mail: technolog_16@mail.ru

Chernyavsky Alexey Nikolaevich, associate Professor of the Department "Electrical Equipment and Electrical Equipment of Agricultural Enterprises", Volgograd State Agrarian University (26, Universitetskij Ave., Volgograd, 400002, Russian Federation), tel. 8 (8442) 41-11-27, e-mail: alexei.tcherniawskij@yandex.ru

Gorbacheva Anna Semenovna, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskij Ave., 26).

Salaev Badma Katinovich, Rector, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, 358000, Kalmykia, Elista, Pushkin str., 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4968-1543>, e-mail: bk.salaev@mail.ru

Eviev Valery Andreevich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov (Russian Federation, 358000, Republic of Kalmykia, Elista, Pushkina St., 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0329-2013>, e-mail: aviev@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-23

THE SYSTEM MODELING OF THE SELIANINOV'S HYDROTHERMAL COEFFICIENT EFFECT ON THE PRODUCTIVITY OF GRAIN CROPS USING THE AI METHODS

¹Rogachev D. A., ²Rogachev A. F.

¹*Federal Scientific Center All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov
Moscow, Russian Federation*

²*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: rafr@mail.ru

Received 09.02.2026

Submitted 10.03.2026

Summary

It is shown that the technology for managing the biological productivity of winter crops with a simultaneous assessment of their potential yield, taking into account the zonal values of the hydrothermal coefficient, provides the ability to control the processes of achieving biological productivity of winter cereals, mainly in arid conditions. The achieved reliability of the correlation of the values of the obtained yield of winter cereals with the forecast assessment of their productivity allows us to evaluate and plan the results of programmed agricultural production.

Abstract

Introduction. The systematic modeling of the effect of the Selyaninov's hydrothermal coefficient (HTC) on agricultural yields is based on the analysis of correlations between the moisture supply of the territory and the biological potential of crops. In arid conditions, HTC is a key indicator, as it takes into account both the arrival of moisture and the intensity of its evaporation due to heat supply, which can be used to assess the reclamation state of soils in the dry-steppe zone. **Methods and materials.** During the research, articles, patents, and reports on remote sensing of the Earth (remote sensing) and climatology related to various soil and climatic conditions, mainly arid, were systematically analyzed. The application of remote sensing methods to establish the relationship between hydrothermal coefficients (HTC) and humidification coefficients (HC) was analyzed. The research methodology included an analytical review of scientific, technical and patent sources (IPC classes A01G 7/00, A01G 22/00, G01W 1/02), mathematical modeling of HTC dependencies and its comparison with cartographic data. Field experiments assessing the effect of the seeding rate and row spacing on the yield of winter wheat in the Volgograd region were conducted and processed according to the methodology of B. A. Dospekhov. **Results and discussion.** A matrix of systematization of the main approaches to accounting for HTC and HU for managing the biological productivity of winter grain

crops has been constructed. As a result of the research, it was found that the zonal values of GTC and CU are significant indicators not only for substantiating agricultural technological parameters, but also for predicting the productivity of field crops. Regression dependences of yield on the seeding rate in a wide range of its changes are established and the expediency of constructing nonlinear piecewise polynomial dependences is shown. The application of the values of the GTC and its adjusted values for vegetation indices obtained by remote sensing methods is justified to justify seeding rates and row spacing. **Conclusions.** According to the results of the study, it was found that the technology for managing the biological productivity of winter crops with a simultaneous assessment of their potential yield, taking into account the zonal values of the GTC, provides the ability to control the processes of achieving biological productivity of winter cereals, mainly in arid conditions (RF Patent No. 2228607). The achieved reliability of the correlation of the values of the obtained yield of winter cereals with the forecast assessment of their productivity allows us to evaluate and plan the results of programmed agricultural production for the planned economic year.

Keywords: Selyaninov's hydrothermal coefficient, dry steppe zone, conditions for growing grain crops, seeding rates for grain crops, and predicting the yield of grain crops.

Citation. Rogachev D. A., Rogachev A. F. The system modeling of the Selyaninov's hydrothermal coefficient effect on the productivity of grain crops using the AI methods. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 211-219 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-23.

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 556:004

СИСТЕМНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА СЕЛЯНИНОВА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ИИ

¹Рогачев Д. А., кандидат технических наук

²Рогачев А. Ф., доктор технических наук, профессор

¹ФНЦ ВНИИГим им. А. Н. Костякова

г. Москва, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Системное моделирование влияния гидротермического коэффициента (ГТК) Селянинова на урожайность агрокультур строится на анализе корреляционных связей между влагообеспеченностью территории и биологическим потенциалом культур. В засушливых условиях ГТК является ключевым индикатором, так как он учитывает одновременно приход влаги и интенсивность её испарения, обусловленную теплообеспеченностью, что можно использовать для оценки мелиоративного состояния почв в условиях сухостепной зоны. **Методы и материалы.** При проведении исследования системно анализировались статьи, патенты и отчёты по дистанционному зондированию Земли (ДЗЗ) и климатологии, относящиеся к различным почвенно-климатическим условиям, преимущественно засушливым. Анализировалось применение методов ДЗЗ для установления взаимосвязи ГТК и коэффициентов увлажнения (КУ). Методология исследования включала проведение аналитического обзора по научно-техническим и патентным источникам (классы МПК A01G 7/00, A01G 22/00, G01W 1/02), математическое моделирование зависимостей ГТК и его сопоставлением с картографическими данными. Полевые опыты с оценкой влияния нормы высева и ширины междурядий на урожайность озимой пшеницы в условиях Волгоградского региона проводились и обрабатывались по методике Б. А. Доспехова. **Результаты и обсуждение.** Построена матрица систематизации основных подходов к учету ГТК и КУ для управления биопродуктивностью посевов озимых зерновых. В результате исследований установлено, что зональные значения ГТК и КУ являются значимыми индикаторами не только для обоснования агротехнологических параметров, но и для прогнозирования продуктивности полевых культур. Установлены регрессионные зависимости урожайности от нормы высева в широком диапазоне ее изменений и показана целесообразность построения нелинейных кусочно-полиномиальных зависимостей. Обосновано применение значений ГТК и его скорректированных значений по вегетационным индексам, получаемым методами ДЗЗ, для обоснования норм высева и ширины междурядий. **Выводы.** По результатам исследования установлено, что технология управления биопродуктивностью озимых культур с одновременной оценкой их потенциальной урожайности, учитывающая зональные значения ГТК, обеспечивает возможность управления процессами достижения биологической продуктивности озимых зерновых, преимущественно в засушливых условиях (пат. РФ № 2228607). Достигаемая надежность корреляции значений полученной урожайности озимых зерновых с прогнозной оценкой их продуктивности, позволяет оценивать и планировать результаты программируемого аграрного производства на планируемый хозяйственный год.

Ключевые слова: гидротермический коэффициент Селянинова, сухостепная зона, условия возделывания зерновых культур, нормы высева зерновых культур, прогнозирование урожайности зерновых культур.

Цитирование. Рогачев Д. А., Рогачев А. Ф. Системное моделирование влияния гидротермического коэффициента Селянинова на продуктивность зерновых культур с применением методов ИИ. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 211-219. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-23.

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. Системное моделирование влияния гидротермического коэффициента (ГТК) Селянинова на урожайность строится на анализе корреляционных связей между влагообеспеченностью территории и биологическим потенциалом культур. В засушливых условиях ГТК является ключевым индикатором, так как он учитывает одновременно приход влаги (осадки) и интенсивность её испарения (температуру). Также для характеристики степени увлажнения агроценоза применяют коэффициент увлажнения Сапожниковой (КУ) [6], представляющий собой взвешенное отношение суммы осадков к сумме температур и рассчитываемый по формуле (2).

Исследованием методологии и инструментария мониторинга природной среды в условиях цифровой трансформации, в том числе с применением интеллектуальных методов, занимались отечественные ученые Ваганов А. В., Н. А. Ивлиев, Н. Л. Казанский, А. Ф. Каперко, Е. А. Лупян, А. В. Никоноров, Р. В. Скиданов, А. А. Черниенко и другие [1, 7]. Методы и подходы для дистанционного распознавания орошаемых земель исследуются в работах Дунаевой Е. А., Ёлкиной Е. С., Плотникова Д. Е., Паштетского В. С. и других исследователей [11, 12]. Проблемы моделирования продуктивности агрокультур в зависимости от почвенно-климатических факторов и гидрофизических свойств почвы изучались А. Г. Болотовым, А. Г. Буевичем, Л. В. Кирейчевой, С. В. Макарычевым, Е. В. Мелиховой, Р. Н. Панариным, Ю. П. Переведенцевым, А. П. Сергеевым, Д. А. Тарасовым, Л. А. Хворовой и др. [9, 15-18].

Гидротермический коэффициент (ГТК), предложенный Г. Т. Селяниновым, представляет собой стандартизированный количественный показатель соотношения прихода влаги (атмосферных осадков) и потенциальной испаряемости, определяемой термическим режимом за период с устойчивой температурой воздуха выше +10 °С. Данный индекс является фундаментальным инструментом в агроклиматическом районировании и оценке продуктивности агроценозов.

В рамках пространственного анализа засушливых регионов критическим порогом биоклиматического стресса признается значение $ГТК < 0.7$, характеризующее состояние атмосферной и почвенной засухи. Снижение коэффициента до уровня 0,4 и ниже интерпретируется как экстремально засушливые условия, вызывающие депрессию физиологических процессов у мезофитных культур.

В работе [18] для управления биопродуктивностью посевов и прогнозирования их урожайности предложено использовать результаты оценки ГТК, оцениваемые по данным спутникового определения водных индексов NDWI, путем корректировки агротехнологических параметров (нормы высева и ширины междурядий, например, согласно патенту РФ № 2228607).

Для оценивания агрофизических характеристик почв на значительных площадях перспективным является применение спутниковых методов дистанционного зондирования Земли посредством мультиспектральных камер с определением различных вегетационных и водных индексов [10]. Нормализованный разностный водный индекс (NDWI) – спектральный вегетационный индекс, предназначенный для оценки содержания влаги в растительности. Влажность почвенно-растительного покрова может оцениваться, как «гипотетическая толщина слоя воды в листе растения или тонком приповерхностном слое субстрата, которая оценивается с помощью нормализованного разностного влажностного индекса NDWI» [2].

Известны отдельные зарубежные исследования, связанные с закономерностями формирования гидротермических показателей и водных индексов [1, 3, 4], однако для степных почвенно-климатических условий РФ такие исследования не проводились. Между тем, применение методов ДЗЗ для управления биопродуктивностью посевов и оценки урожайности является весьма перспективным.

Методы и материалы. При проведении исследования подбирались и анализировались опубликованные статьи, патенты и отчёты исследований по дистанционному зондированию Земли и климатологии, относящиеся к засушливым и сухим почвенно-климатическим условиям. Поиск патентных источников проводился по классам МПК A01G 7/00, A01G 22/00, G01W 1/02.

Значение ГТК и КУ вычисляли по формулам (1) и (2)

$$G_c = 10 \cdot \frac{\Sigma P}{\Sigma t}, \quad (1)$$

где G_c – численное значение ГТК, мм/°C; ΣP – значение суммы осадков, мм, выпавших за период, в пределах которого температура воздуха была выше, чем +10 °C, мм; Σt – интегральное значение суммы положительных температур, рассчитанное за тот же период, °C [5].

$$КУ = \frac{0.5r_{X-III} + r_{IV-IX}}{0.18 \sum T_{IV-IX}} \quad (2)$$

где T – среднесуточная температура, °C; r – сумма осадков, мм.

Укрупненные значения ГТК и КУ могут приводиться на климатических картах (рисунок 1), например, по данным [6].

Полевые опыты проводились по методике Б. А. Доспехова на каштановых почвах в сухостепной зоне Волгоградской области. В процессе полевых исследований ширина междурядий составляла 22,5 см при значении глубины посева семян пшеницы 5...6 см в первой декаде сентября. Значение ГТК для опытного хозяйства принималась равной 0,9.

Параметризация при аналитической обработке данных выполнялась методом наименьших квадратов (МНК) для уравнений квадратичных парабол. Порогом значимости получаемых зависимостей принималась величина $R^2 > 0,8$ при $HCP < 0,05$.

Результаты и обсуждение.

А) Систематизация основных подходов к учету ГТК и КУ для управления биопродуктивностью.

Математическое ожидание урожайности в засушливых зонах часто описывается через логистические или полиномиальные функции, где ГТК выступает главным предиктором.

В результате анализа выявлены основные подходы к моделированию урожайности в засушливых условиях

1. **Статистический подход:** Использование уравнений регрессии, где урожайность Y является функцией от ГТК. Для засушливых регионов критическим считается значение ГТК < 0,7 (засуха), а значения ниже 0,4 соответствуют очень сильной засухе.

2. **Динамическое моделирование:** Включение ГТК в имитационные модели роста растений (например, моделей типа AGROTOOL). Здесь коэффициент используется для корректировки индекса листовой поверхности (LAI) и интенсивности фотосинтеза в зависимости от водного стресса.

3. **Районирование:** Группировка территорий по уровню риска. В засушливых условиях (ГТК 0,5-0,8) моделирование фокусируется на поиске «точки перегиба», когда дополнительное увлажнение дает максимальный прирост биомассы.

4. Подходы на основе методов машинного обучения и ИИ мультимодальные нейронные сети глубокого обучения, позволяющие учитывать значения ГТК и КУ наряду с графическими и табличными данными, включая их временные ряды.

Проведенная систематизация основных подходов к моделированию и учету ГТК и КУ для управления биопродуктивностью сведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные подходы к моделированию ГТК (и КУ) для управления биопродуктивностью посевов

Table 1 – Basic approaches to modeling HTC (and CU) for managing crop biological productivity

Подход / Approach. Accounting for the value of the HTC	Вид зависимости / Type of dependence	Учет значения ГТК / Accounting for the value of the HTC
1. Статистический, в т. ч. линейные / 1. Statistical, including linear	$Y = a \cdot Gc \cdot S + b \quad (3)$	Патенты РФ № / Patents of the Russian Federation № 2228607, 2271096; МПК A01G 7/00, A01G 22/00, G01W 1/02
Нелинейные / nonlinear	Кусочно-линейные полиномиальные, показательные, логистические / Piecewise linear polynomial, exponential, logical,	Требуются дополнительные исследования / More research is needed
2. Динамическое моделирование / Dynamic modeling	Компьютерные модели семейства AGROTOOL / Computer models of the AGROTOOL family	Динамическое прогнозирование продуктивности / Dynamic productivity forecasting
3. Зонирование территорий / Zoning of territories	Средства ГИС-технологий; гранич- ные значения ГТК / GIS technology tools; specific values of the HTC	Районирование и параметриза- ция сортов и технологий / Zoning and parameterization of varieties and technologies
4. Машинное обучение и ИИ / Machine learning and AI	Мультимодальные глубокие ИНС различных архитектур / Multimodal deep ANN of various architectures	Дополнительные входы мульти- модальных ИНС / Additional inputs of the multimodal ANN

Отметим, что достоверные оценки зональных значений ГТК играют важную роль в управлении процессами обеспечения биопродуктивности и ее прогнозирования для различных климатических зон (рисунок 1), характеризующего соотношение их тепло- и влагообеспеченности. Поскольку ГТК, как и КУ отражают относительное увлажнение территории, то можно ожидать положительную тенденцию корреляции с урожайностью.

Управление биопродуктивностью возможно посредством учета его влияния с целью назначения агротехнологических параметров, в частности, нормы высева и ширины междурядий.

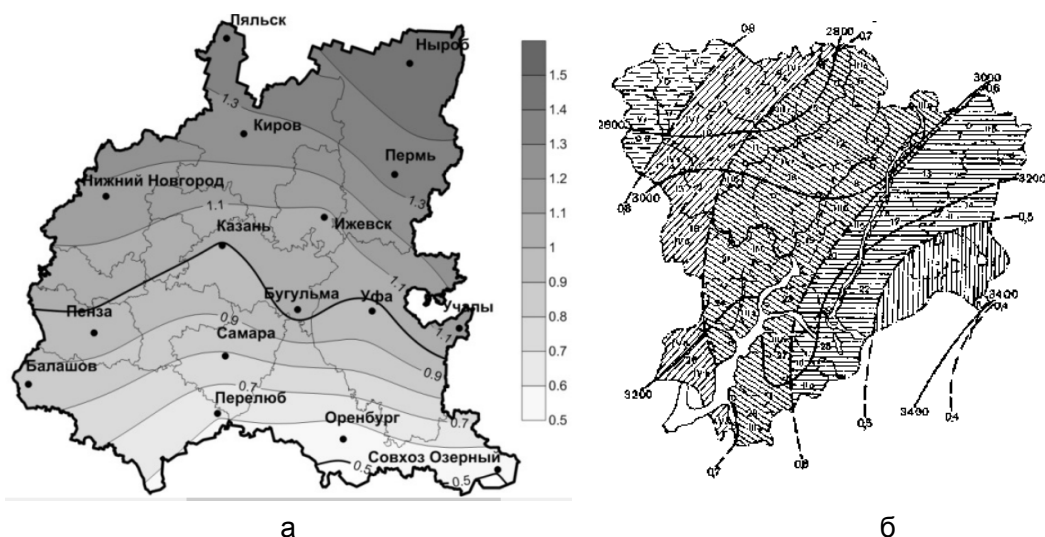


Рисунок 1 – Изоплеты пространственного распределения ГТК:

а) по территории ПФО; б) Волгоградская область

Figure 1 – Isopleths of the spatial distribution of the HTC:

a) on the territory of the Volga Federal District; b) the Volgograd region

Исследования проводились для почвенно-климатических условий территорий, схожих по ГТК. Результаты анализа позволили сделать выводы о наличии прямой связи между обсуждаемыми показателями (см., например, «Способ прогнозирования урожайности озимых зерновых культур в условиях засушливого климата: патент № 2271096 С1 РФ» и др.).

Б) Полевые исследования взаимосвязи урожайности с уровнями ГТК для управления биопродуктивностью.

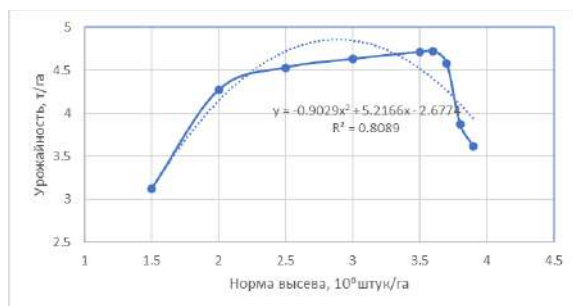
Результаты уровней урожайности, полученных в полевых исследованиях, изучавших влияния нормы высева семян на урожайность и качество зерна озимой пшеницы сорта Донщина в условиях Волгоградской области, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Зависимость урожайности и качества зерна озимой пшеницы сорта Донщина от нормы высева, 10^6 шт./га

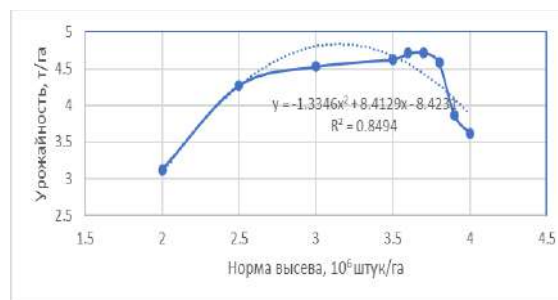
Table 2 – Dependence of yields and grain quality of winter wheat of the Donshchyna variety on the value of the seeding rate

Норма высева / Seeding rate	Выпады в осенне-зимний период, % / Number of fallout in the autumn-winter period, %	Число стеблей в период уборки, шт./м ² / Number of stems during harvesting, pcs/m ²	Урожайность, т/га / Yield, t/ha
1,5	11,4	275	2,83
2,0	10,7	316	3,12
2,5	9,2	362	4,27
3,0	7,3	389	4,53
3,5	6,9	426	4,63
3,6	5,2	458	4,71
3,7	5,8	482	4,72
3,8	6,3	492	4,58
3,9	6,6	496	3,87
4,0	6,7	472	3,62

Результаты аналитической обработки данных, выполненного методом наименьших квадратов для квадратичных парабол, представлены на рисунке 2.



а



б

Рисунок 2 – Аппроксимация опытных значений урожайности: а) по 9 точкам; б) по 8 точкам
Figure 2 – Approximation of experimental yield values: a) by 9 points; b) by 8 points

Учитывая существенное различие вида полученных регрессионных уравнений, возможно, имеет смысл строить не единую формулу, а комбинированные кусочно-нелинейные зависимости с изломом в точке $3,5 \times 10^6$ для нормы высева, либо сокращать число учитываемых точек при построении модели (рисунок 2б).

В) Управление продукционными процессами сельскохозяйственных растений в условиях резко континентального климата.

По результатам проведенного исследования, была поставлена задача разработки технологии возделывания озимых зерновых колосовых культур с программированием урожайности и качества зерна с учетом значения ГТК.

Для решения сформулированной выше задачи был разработан «Способ управления продукционными процессами сельскохозяйственных растений в условиях резко континентального климата» [4], по патенту РФ № 2228607. Упомянутая технология была апробирована в условиях Волгоградской области. Описанная технология для оценки потенциальной продуктивности основана на оптимизации агротехнологических параметров ширины междурядий и нормы высева.

Алгоритмической основой предложенного метода является корректировка величины нормы высева семян с учетом определения расчетного численного значения гидротермического коэффициента $G_{сел}$, определяемое для региона выращивания зерновой культуры.

Алгоритм учета влияния ГТК предусматривает следующие корректировки агротехнических параметров в зависимости от значения величины ГТК:

- при $G_{сел} < 0,5$ норму высева уменьшают на 10...15 % от расчетных величин, а ширину междурядий увеличивают с 15 до 22,5 см.;
- при $G_{сел}$ в пределах 0,5...0,9 норму высева сохраняют в рекомендуемых значениях;
- при $G_{сел} > 0,9$ норму высева увеличивают на 20...25 % при уменьшении величины междурядий до 7,5 см.

Таким образом, управление процессом биопродуктивности при возделывании посевов зерновых реализуется с помощью учета величины ГТК, характеризующего их фактическую тепло- и влагообеспеченность. Величину ГТК определяют расчетным или графоаналитическим методом.

Реализация описанного подхода позволяет одновременно численно оценить урожайность озимых зерновых культур по следующей формуле

$$Y_{оз} = a \cdot G_{сг} \cdot S + b, \quad (3)$$

где $Y_{оз}$ – оценка величины урожайности, т/га; a и b – параметры, определяемые по многолетним эмпирическим данным, например, по МНК; S – накопленная сумма положительных температур от момента посева до прекращения вегетации, °C; $G_{сг}$ – величина гидротермического коэффициента, принимаемая для региона агропроизводства, мм/°C.

При продолжении исследований следует системно рассмотреть подходы к управлению биопродуктивностью (таблица 1) с одновременным прогнозированием урожайности на основе математического моделирования ГТК, как временных рядов (ВР) и интеллектуальных методов ИИ, в частности, на основе глубоких нейронных сетей, а также средств CV и изображений посевов, получаемых спектральными камерами БПЛА [14, 15]. Результаты оценки индексов NDVI/NDWI по данным спутникового ДЗЗ можно использовать для корректировки многолетних региональных значений ГТК. Это может обеспечить управление биопродуктивностью посевов за счет оперативной корректировки агротехнологических (уход за посевами) и гидромелиоративных параметров водного режима.

Заключение. По результатам исследования установлено:

1. Технология управления биопродуктивностью озимых культур с одновременной оценкой их потенциальной урожайности, например, по патенту РФ № 2228607, учитывающая региональные значения ГТК, обеспечивает возможность управления процессами достижения биологической продуктивности озимых зерновых, преимущественно в засушливых условиях.
2. Достижимая надежность корреляции значений полученной урожайности озимых зерновых с прогнозной оценкой их продуктивности ($HCP < 0,05$), позволяет оценивать и планировать результаты программируемого аграрного производства на планируемый хозяйственный год.
3. Результаты оценки индексов NDVI/NDWI по данным спутникового ДЗЗ для корректировки многолетних региональных значений ГТК, можно использовать для управления биопродуктивностью посевов за счет оперативной корректировки агротехнологических и гидромелиоративных параметров.

Conclusion. According to the results of the study, it was established:

1. Technology for managing the biological productivity of winter crops while simultaneously assessing their potential yield, for example, according to RF patent No. 2228607, which takes into account the regional values of the GTC, provides the ability to control the processes of achieving biological productivity of winter cereals, mainly in arid conditions.
2. The achieved reliability of the correlation of the values of the obtained yield of winter grains with the forecast estimate of their productivity ($NSR < 0.05$), allows us to evaluate and plan the results of programmed agricultural production for the planned economic year.
3. The results of the evaluation of the NDVI/NDWI indices based on satellite remote sensing data for the correction of long-term regional values of the GTC can be used to manage crop biological productivity by promptly adjusting agricultural technological and hydro-reclamation parameters.

Библиографический список

1. Ваганов А. В. Алгоритмы обработки изображений и распознавания объектов животного мира на фото-снимках фотовидеорегистраторов методами машинного обучения Известия Алтайского государственного университета. 2024. № 1 (135). С. 89-94.
2. Харитонова Т. И., Сурков Н. В. Ландшафтный подход к моделированию динамики влажности почвенно-растительного покрова дистанционными методами. Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 1 (82). С. 13-20.
3. Evaluation of Normalized Difference Water Index as a Tool for Monitoring Pasture Seasonal and Inter-Annual Variability in a Mediterranean Agro-Silvo-Pastoral System. <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/1/62>

4. Correlations of annual water-year NDWI and NDVI with annual water-year. Download Scientific Diagram. https://www.researchgate.net/figure/Correlations-of-annual-water-year-NDWI-and-NDVI-with-annual-water-year-aprecipitation_fig2_320897463
5. Гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова (ГТК). AgroMeteo. <https://www.agrometeo.online/articles/gtk.html>
6. Переведенцев Ю. П. Современные тенденции изменения агроклиматических ресурсов на территории Приволжского федерального округа. Фундаментальная и прикладная климатология. 2022. Т. 8. № 4. С. 477-501.
7. Мультиспектральный интеллектуальный мониторинг природной и техногенной среды. Самара: Новая техника, 2023. 184 с.
8. Salim S. H., Jwamer K. H. F., Saeed R. K. Solving Volterra-Fredholm integral equations by natural cubic spline function. Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series. 2023. No 1 (109). Pp. 124-130.
9. Бувевич А. Г. и др. Искусственные нейронные сети и геостатистика в прогнозировании распределения химических элементов на фоновой площадке. Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. 2017. № 2. С. 74-82.
10. Рогачев Д. А. Оптимизация мероприятий технической эксплуатации оросительных систем методами искусственного интеллекта. Природообустройство. 2024. № 4. С. 12-19.
11. Дунаева Е. А., Ёлкина Е. С., Плотников Д. Е. Методы и подходы для дистанционного распознавания орошаемых земель. Таврический вестник аграрной науки. 2024. № 4 (40). С. 68-82.
12. Водные ресурсы – основа устойчивого развития Крыма: коллективная монография. Симферополь: Ариал, 2022. 216 с.
13. Tokarev K. E. et al. Analysis of promising methods of irrigation and melioration techniques of crops in arid climate. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2020. No 488. Art. 012047.
14. Rogachev D. A., Yurchenko I. F., Rogachev A. F. Management and optimization of systematic water adjustment by economic-mathematic modeling methods and AI. International Russian Automation Conference (RusAutoCon). 2023. Pp. 888-893.
15. Melikhova E. V. Using the results of remote sensing of land for programmed agricultural production in arid conditions. J. Phys.: Conf. Ser. 2021. V. 1801. Art. 012044.
16. Кирейчева Л. В. Оптимизация распределения ограниченных водных ресурсов методами эволюционно-генетического программирования. Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. № 2 (398). С. 233-238.
17. Рогачев Д. А. и др. Технология управления системным водопользованием с применением методов искусственного интеллекта и моделей - двойников организации. Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. № 4 (400). С. 404-410.
18. Рогачев Д. А. Взаимосвязь водного индекса NDWI и гидротермического коэффициента Селянинова при оценке мелиоративного состояния почв в условиях сухостепной зоны. Известия НВ АУК. 2025. № 6 (84).
19. Хворова Л. А. Оптимизация процесса структурно-параметрической идентификации моделей продуктивности агроэкосистем. Известия Алтайского государственного университета. 2012. № 1-1 (73). С. 171-175.
20. Панарин Р. Н., Соловьев А. А., Хворова Л. А. Применение технологий искусственного интеллекта и компьютерного зрения при решении задач автоматизации обработки и распознавания биологических объектов. Известия Алтайского государственного университета. 2022. № 1 (123). С. 101-107.

References

1. Vaganov A. V. Algorithms for image processing and recognition of objects of the animal world in photographs of photo and video recorders using machine learning methods. Proceedings of the Altai State University. 2024. № 1 (135). Pp. 89-94.
2. Kharitonova T. I., Surkov N. V. Landscape approach to modeling the dynamics of soil and vegetation moisture by remote methods. Arid ecosystems. 2020. V. 26. No 1 (82). Pp. 13-20.
3. Evaluation of Normalized Difference Water Index as a Tool for Monitoring Pasture Seasonal and Inter-Annual Variability in a Mediterranean Agro-Silvo-Pastoral System. <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/1/62>
4. Correlations of annual water-year NDWI and NDVI with annual water-year. Download Scientific Diagram/ https://www.researchgate.net/figure/Correlations-of-annual-water-year-NDWI-and-NDVI-with-annual-water-year-aprecipitation_fig2_320897463
5. Selyaninov's hydrothermal humidification coefficient (HHC). AgroMeteo. <https://www.agrometeo.online/articles/gtk.html>
6. Rogachev A. F., Saldaev A. M. A method for predicting the yield of winter grain crops in arid climates: patent No. 2271096 C1 Russian Federation, IPC A01G 7/00. No. 2004123690/12: application 08/02/2004: published 03/10/2006; Volgograd State Agricultural Academy.
7. Multispectral intelligent monitoring of the natural and man-made environment. Academician of the Russian Academy of Sciences. Samara: New equipment. 2023. 184 p.
8. Salim S. H., Jwamer K. H. F., Saeed R. K. Solving Volterra-Fredholm integral equations by natural cubic spline function. Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series. 2023. No 1 (109). Pp. 124-130.
9. Buevich A. G. et al. Artificial neural networks and geographical statistics in predicting the distribution of chemical elements on a background site. Geoecology. Engineering geology, hydrogeology, geological cryology. 2017. № 2. Pp. 74-82.
10. Rogachev D. A. Optimization of measures for technical operation of irrigation systems by artificial intelligence methods. Environmental management. 2024. No 4. Pp. 12-19.
11. Dunaeva E. A., Elkina E. S., Plotnikov D. E. Methods and approaches for remote recognition of irrigated lands. The Tauride Bulletin of Agrarian Science. 2024. № 4 (40). Pp. 68-82.
12. Water resources – the basis of sustainable development of Crimea: collective monograph. Simferopol: Aerial, 2022. 216 p.
13. Tokarev K. E. et al. Analysis of promising methods of irrigation and melioration techniques of crops in arid climate. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2020. No 488. Art. 012047.

14. Rogachev D. A., Yurchenko I. F., Rogachev A. F. Management and optimization of systematic water adjustment by economic-mathematic model-ing methods and AI. 2023 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). 2023. Pp. 888-893.

15. Melikhova E. V. Using the results of remote sensing of land for programmed agricultural production in arid conditions. J. Phys.: Conf. Ser. 2021. V. 1801. Art. 012044.

16. Kireicheva L. V. Optimization of the distribution of limited water resources by methods of evolutionary genetic programming. International Agricultural Journal. 2024. No 2 (398). Pp. 233-238.

17. Rogachev D. A. et al. Technology of systemic water use management using artificial intelligence methods and organization twin models. International Agricultural Journal. 2024. No 4 (400). Pp. 404-410.

18. Rogachev D. A. The relationship between the NDWI water index and the Selyaninov hydrothermal coefficient in assessing the reclamation state of soils in the dry steppe zone. Proceedings of the LV AUC. 2025. No 6 (84).

19. Khvorova L. A. Optimization of the process of structural and parametric identification of agroecosystem productivity models. Proceedings of the Altai State University. 2012. № 1-1 (73). Pp. 171-175.

20. Panarin R. N., Soloviev A. A., Khvorova L. A. Application of artificial intelligence and computer vision technologies in solving automation problems of processing and recognition of biological objects. Proceedings of the Altai State University. 2022. № 1 (123). Pp. 101-107.

Информация об авторах

Рогачев Дмитрий Алексеевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова (Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44), e-mail: Rogachev.soft@gmail.com

Рогачев Алексей Фруминович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: rafr@mail.ru

Authors' Information

Rogachev Dmitry Alekseevich, Candidate of Engineering Sciences, Leading Researcher, Federal Scientific Center All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, 127550, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya Str., 44), e-mail: Rogachev.soft@gmail.com

Rogachev Aleksey Fruminovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: rafr@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-24

THE EVALUATION OF THE GROWTH STIMULANTS, WATER AND FOOD REGIMES EFFECT ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF THE AEROBIC RICE UNDER SPRINKLING IN THE CONDITIONS OF THE LOWER VOLGA REGION

Rodin K. A., Nevezhina A. B., Varenova E. A.

*The All-Russian Research Institute of irrigated agriculture – the branch of the Federal Scientific Center for Hydrotechics and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: rodin.ka@yandex.ru

Received 05.12.2025

Submitted 10.03.2026

The research was carried out within the framework of the State Task FNFR-2022-0005 «To develop, using new scientific knowledge, resource-efficient irrigation technologies for crops that meet the requirements for realizing their productivity and environmental sustainability of reclaimed landscapes in conditions of increasing climate aridization» at the expense of the budget of the institution at the place of work of the authors.

Summary

The article presents the results of an experiment to study the effect of growth preparations, water and food regimes of the soil on the root mass and yield of aerobic rice.

Abstract

Introduction. The key to obtaining a high-quality crop of irrigated crops, including rice, is achieved by maintaining optimal soil water regimes, as well as introducing macro- and micro-fertilizers, plant growth and development stimulants, at the same time, the use of the latter allows you to protect the crop from various stressful situations without adversely affecting it without worsening the ecological condition of crops. and soil fertility. The aim of the research is to evaluate the effect of growth-stimulating drugs in combination with the introduction of macro-fertilizers on the growth and development of rice plants under sprinkling conditions. **Object.** Study of the effect of growth stimulators in combination with water regimes and macro fertilizers on the processes of rice growth and development during irrigation by sprinkling. **Materials and methods.** The research was carried out in 2020-21 at the experimental site of VNIIOZ. The experimental scheme included two water regimes (70 % MMC, h=0.4 m and 80 % MMC, h=0.4 m), two doses of fertilizers (N₁₁₄P₇₄K₉₀ (6 t/ha) and N₁₃₇ P₉₀ K₁₀₈ (7 t/ha)) and three drugs (Extrasol, Zircon and Nanosilicon). The experiment was carried out according to generally accepted methods. **Results and conclusions.** The most developed root system was noted with 80 % MMC in the 0.4 horizon and an increased amount of fertilizers (7 t/ha, N₁₃₇P₉₀K₁₀₈). This combination, including Extrasol, pre-sowing seed treatment and foliar nutrition, made it possible to achieve 6.77 t/ha of roots. The high recorded rice yield (7.16 t/ha) was achieved thanks to an integrated approach: moistening at least 80 % of the soil in a 0.4-meter soil horizon, applying N₁₃₇P₉₀K₁₀₈ to obtain 7 t/ha, as well as spraying before sowing seeds and on a leaf with Extrasol. The smallest grain yield (4.58 t/ha) was recorded in the control, which was not subjected to any treatments. The condi-

tions here were as follows: humidification in the 0.4-meter soil horizon of at least 70 % MMC in collaboration with $N_{114}P_{74}K_{90}$. The peak value of total water consumption during the rice growing season was recorded at 5914 m³/ha. This happened at 80 % of the 0.4-meter soil horizon, with an irrigation volume of 4,590 m³/ha. The addition of Zircon, Extrasol and Nanosilicon together with $N_{137}P_{90}K_{108}$ (7 t/ha) led to a change in the cost of a ton of rice ranging from 7897.5 to 10534 rubles, and the efficiency ranged from 83.8 to 92 %.

Keywords: rice farming, rice sprinkling, rice irrigation regimes, plant growth stimulants, rice yield, and total rice water consumption.

Citation. Rodin K. A., Nevezhina A. B., Varenova E. A. The evaluation of the growth stimulants, water and food regimes effect on the growth and development of the aerobic rice under sprinkling in the conditions of the Lower Volga region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 219-227 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-24.

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 633.18:631.8:631.674.5

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РОСТОВЫХ ПРЕПАРАТОВ, ВОДНОГО И ПИЩЕВОГО РЕЖИМОВ ПОЧВЫ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ АЭРОБНОГО РИСА ПРИ ДОЖДЕВАНИИ В УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Родин К. А., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
Невежина А. Б., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
Варенова Е. А., аспирант

Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова»
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования выполнялись в рамках Госзадания по теме FNFR-2022-0005 «Разработать с использованием новых научных знаний ресурсоэффективные технологии орошения сельскохозяйственных культур, отвечающих требованиям реализации их продуктивности и экологической устойчивости мелиорированных ландшафтов в условиях возрастающей аридизации климата» за счёт средств бюджета учреждения.

Введение. Залог получения высококачественного урожая орошаемых сельскохозяйственных культур, в том числе и риса, достигается поддержанием оптимальных водных режимов почвы, а также внесением макро- и микроудобрений, стимуляторов роста и развития растений. Применение последних позволяет уберечь культуру от различных стрессовых ситуаций, не оказывая негативного воздействия, не ухудшая экологического состояния посевов и плодородия почвы. Цель – оценка влияния ростостимулирующих препаратов в сочетании с водным режимом и внесением макроудобрений на рост и развитие растений риса в условиях дождевания. **Объект.** Изучение воздействия стимуляторов роста в совокупности с водными режимами и макроудобрениями на процессы роста и развития риса при орошении дождеванием. **Материалы и методы.** Исследования выполнялись в 2020-2021 гг. на экспериментальной площадке ВНИИОЗ. Схема опыта включала два водных режима (70 % НВ, $h = 0,4$ м и 80 % НВ, $h = 0,4$ м), две дозы удобрений ($N_{114}P_{74}K_{90}$ (6 т/га) и $N_{137}P_{90}K_{108}$ (7 т/га)) и три препарата (Экстрасол, Циркон и Нанокремний). Эксперимент реализовывали по общепризнанным методикам. **Результаты и выводы.** Самая развитая корневая система была отмечена при 80 % НВ в горизонте 0,4 и увеличенном количестве удобрений (7 т/га, $N_{137}P_{90}K_{108}$). Это сочетание, включающее Экстрасол, предпосевную обработку семян и внекорневое питание, позволило достичь 6,77 т/га корней. Высокий зафиксированный урожай риса (7,16 т/га) был достигнут благодаря комплексному подходу: обеспечение увлажнения не менее 80 % НВ в 0,4-метровом горизонте почвы, внесению $N_{137}P_{90}K_{108}$ для получения 7 т/га, а также опрыскивание до высева семян и по листу Экстрасолом. Самый малый урожай зерна (4,58 т/га) отмечен в контроле, который не подвергался никаким обработкам. Условия здесь были такими: увлажнение в 0,4-метровом горизонте почвы не менее 70 % НВ в коллорабии с $N_{114}P_{74}K_{90}$. Пиковое значение общего потребления воды в сезон роста риса было зарегистрировано на уровне 5914 м³/га. Это произошло при 80 % НВ 0,4-метровом горизонте почвы, при объеме полива 4590 м³/га. Внесение Циркона, Экстрасола и Нанокремния совместно с $N_{137}P_{90}K_{108}$ (7 т/га) привело к изменению стоимости тонны риса в пределах от 7897,5 до 10534 рублей, а эффективность варьировала от 83,8 до 92 %.

Ключевые слова: рисоводство, дождевание риса, режимы орошения риса, стимуляторы роста растений, урожайность риса, суммарное водопотребление риса.

Цитирование. Родин К. А., Невежина А. Б., Варенова Е. А. Оценка влияния ростовых препаратов, водного и пищевого режимов почвы на рост и развитие аэробного риса при дождевании в условиях Нижнего Поволжья. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 219-227. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-24.

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. Залог получения высококачественного урожая орошаемых сельскохозяйственных культур, в том числе и риса, достигается поддержанием оптимальных водных режимов почвы, а также внесением макро- и микроудобрений, стимуляторов роста и развития растений. Применение последних позволяет уберечь культуру от различных стрессовых ситуаций, не оказывая негативного воздействия, не ухудшая экологического состояния посевов и плодородия почвы [1, 2, 3].

В настоящее время существует множество стимуляторов для роста и развития сельскохозяйственных культур, применяемых в качестве микроэлементных добавок для зерновых, в том числе как для озимых, так и для яровых, оказывающих положительное влияние на вегетацию орошаемых сельскохозяйственных культур, в том числе и на рис [4, 5, 6, 7].

Одним из потенциальных активаторов роста культурных растений, в том числе и зерновых, является препарат Циркон, не являющийся комплексным удобрением, но содержащий в себе экстракт пурпурной эхинацеи, спирт и гидроксикоричные кислоты. Циркон укрепляет иммунную систему растений, защищая при этом против различных патогенов и различных стрессов внешней среды, продлевая их жизненный цикл, не ухудшая состояние культурных растений. Обработка семян зерновых культур препаратом Циркон улучшает структурные показатели, увеличивая их продуктивность [8].

Важнейшим макроудобрением для всех растений является азот, который участвует во всех обменных процессах, происходящих в растительном организме. Ризосферные бактерии так необходимые для формирования благоприятной почвенной микробиоты растений содержатся в препарате Экстрасол, основанный на штамме ризобактерий *Bacillus subtilis* Ч-13. Активная работа ризосферных бактерий способна производить вещества подавляющие развитие различных фитопатогенов при этом улучшает состояние почвенной микробиоты, насыщая полезными бактериями корневые волоски растений, увеличивая способность к поглощению питательных веществ [9, 10, 11, 12].

Обработка рисовых посевов ростостимуляторами оказывает положительное влияние на рост и развитие растений. Так, проводимые экспериментальные опыты с использованием стимуляторов роста в ФГБНУ «ФНЦ Риса» показали, что на ранних стадиях вегетации растения риса способны увеличивать рост, повышать кустистость и накапливать биомассу. В фазу активного развития при обработке стимуляторами роста в растениях риса накапливалось больше сухого вещества на 0,9 и 2,1 г/м² чем в образцах контрольного варианта. Также и в вариантах обработки семян и вегетирующих растений наблюдалось увеличение урожайности риса и составляло от 9 до 12 % [13].

Применение ростовых стимуляторов на посевах риса, орошаемого периодическими поливами не получило широкого распространения, так как в литературных источниках это не было освещено. Цель – оценка влияния ростостимулирующих препаратов в сочетании с водным режимом и внесением макроудобрений на рост и развитие растений риса в условиях дождевания.

Материалы и методы. В период 2020-2021 гг. на опытном поле ВНИИОЗ были проведены изыскания, изучающие влияние стимуляторов роста на отзывчивость растений риса сорта Сталинград 1. Эксперимент в полевых условиях был организован с учетом трех ключевых факторов, представленных в разных вариациях.

Первый фактор (А) определял предполивной уровень влажности почвы. В течение всего периода вегетации поддерживался уровень не ниже 70 % от наименьшей влагоемкости (НВ) в почвенном слое 0,4 м (А₁), а также вариант с поддержанием 80 % НВ в аналогичном слое (А₂).

Второй фактор (В) включал использование макроудобрений, дозировки которых были рассчитаны, исходя из целевой урожайности риса: N₁₁₄P₇₄K₉₀ (В₁) для достижения 6 т и N₁₃₇P₇₄K₉₀ (В₂) для урожайности в 7 т с каждого гектара посевов.

В рамках третьего изучаемого фактора (С) была проведена предпосевная обработка семенного материала следующими препаратами: Экстрасол в количестве 0,1 л (С₁), Циркон – 0,01 л (С₂) и Нанокремний – 0,05 л (С₃) на каждую тонну семян. Препараты растворялись в 10 литрах воды. Опрыскивание вегетирующих растений осуществлялось в фазу кущения с использованием баковой смеси, содержащей контактные гербициды и стимуляторы: Экстрасол в норме 1 л/га (С₁), Циркон – 0,02 л/га (С₂) и Нанокремний – 0,11 л/га (С₃). Общий объем рабочего раствора – 200 л/га. Повторная обработка листовой поверхности риса была проведена через две недели после первой, в период интенсивного нарастания вегетативной массы, без добавления гербицидов. В контрольном варианте стимуляторы роста не применялись.

Посев был выполнен узкорядным методом в 2020 и 2021 гг. 5 мая на глубину посева 0,6-0,8 м. Полив осуществлялся методом дождевания с использованием барабанной оросительной установки производства компании «Baueg».

Эксперимент был организован на основе методичного размещения вариантов в трехкратном повторении. Общая площадь экспериментальных участков, предназначенных для изучения режима орошения, составила 3967,6 м². Для оценки влияния удобрений на рост и развитие растений было выделено 198,8 м², а тестирование ростовых препаратов проводилось на площади в 22,4 м².

На опытном поле преобладает светло-каштановая почва, относящаяся к тяжелосуглинистому типу. Глубина гумусового слоя достигает 25 см, а содержание гумуса не превышает 1,19 %. Анализ почвы показал следующее: содержание гидролизующего азота (определено по методу Шмелевой и Тютерева) составляет 31,0 мг/кг, что характеризуется как низкий показатель. Количество подвижного фосфора (Р₂О₅), измеренное по методу Мачигина, равно 44,0 мг/кг, что соответствует среднему уровню. Содержание калия (К₂О), измеренное на пламенном фотометре, составляет 316,0 мг/кг, что свидетельствует о его повышенном содержании.

Реакция почвенного раствора (рН) составляла 7,4, сумма обменных оснований – 42,1 мг-экв/100 г (по Каппену).

2020 и 2021 годы исследований оцениваются как средние, с гидротермическим коэффициентом (ГТК) 0,3 и 0,4 соответственно.

Наблюдения, учет и измерения проводились согласно рекомендованным методикам, описанными в работах Б. А. Доспехова (1979 г.), А. А. Роде (1972 г.), В. Н. Плешакова (1983 г.) и других авторов.

Результаты и обсуждение. В 2020 году для поддержания влажности почвы 70 % от наименьшей влагоемкости в слое 0,4 метра было проведено 14 поливов с объемом воды 340 м³/га, а в 2021 году – 11 поливов. Общий объем воды, использованный для орошения, составил 4760 м³/га и 3740 м³/га соответственно. Интервалы между поливами колебались от 3 до 12 дней.

При поддержании водного режима почвы 80 % НВ в слое 0,4 метра в 2020 году количество поливов увеличилось до 24, а в 2021 году – до 19. Объем воды на один полив составил 230 м³/га, а общий объем воды для орошения – 5520 м³/га и 4370 м³/га соответственно. Продолжительность периода между поливами варьировалась от 3 до 9 дней.

При поддержании водного режима почвы по первому варианту опыта, не ниже 70 % НВ в слое 0,4 м, минимальная корневая масса сформировалась при внесении N₁₁₄P₇₄K₉₀ (6 т/га) и составила в среднем за годы исследований 4,51 т/га. Обработка ростовыми препаратами семенного материала и по вегетации, при внесении этой дозы удобрений, способствовала увеличению корневой массы от 4,52 до 4,92 т/га. Максимальная, 5,51 т/га, масса корней была получена при обработке семенного материала в сочетании с листовой обработкой в варианте внесения N₁₃₇P₉₀K₁₀₈ (7 т/га) в комбинации с Экстрасолом.

При обеспечении уровня увлажненности, составляющего 80 % НВ, и глубине проникновения влаги в почву 0,4 м, а также при внесении на гектар удобрений состава N₁₁₄P₇₄K₉₀ под 6 тонн зерна без применения ростовых стимуляторов, масса корневой системы достигала значения 5,94 т/га. Максимальное развитие корневой системы отмечалось при сохранении аналогичного уровня увлажнения, но при использовании повышенной дозы удобрений состава N₁₃₇P₉₀K₁₀₈ на 7 тонн зерна на гектар, дополненной предпосевной обработкой семян препаратом Экстрасол и последующей внекорневой подкормкой масса корней возросла до 7,09 т/га.

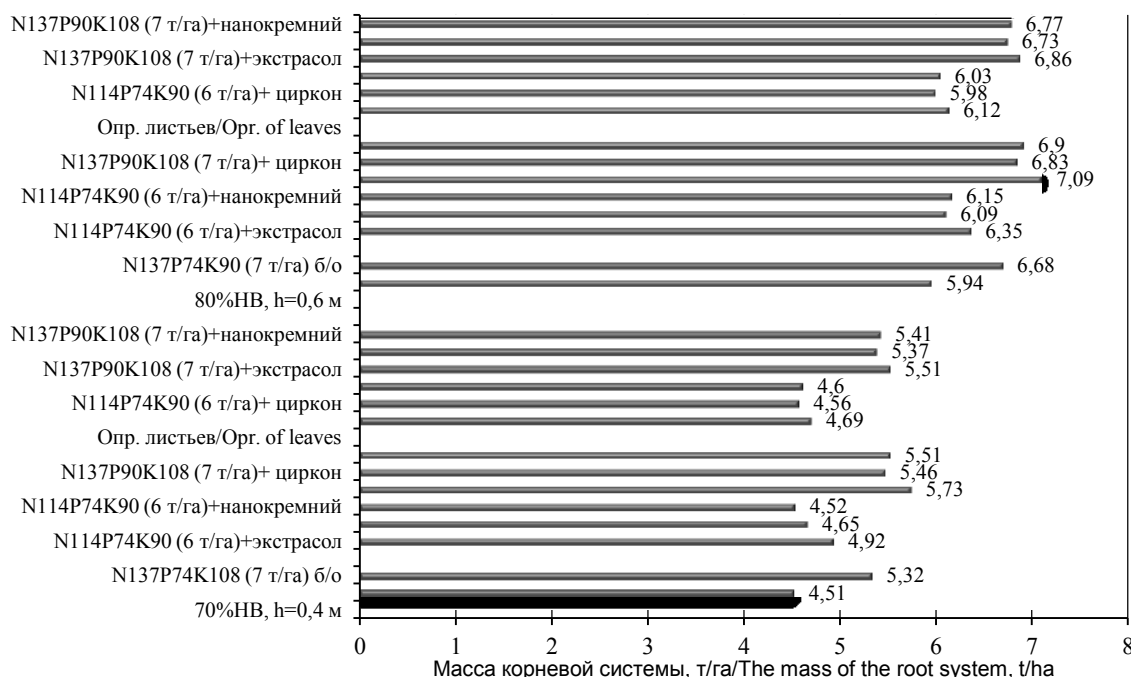
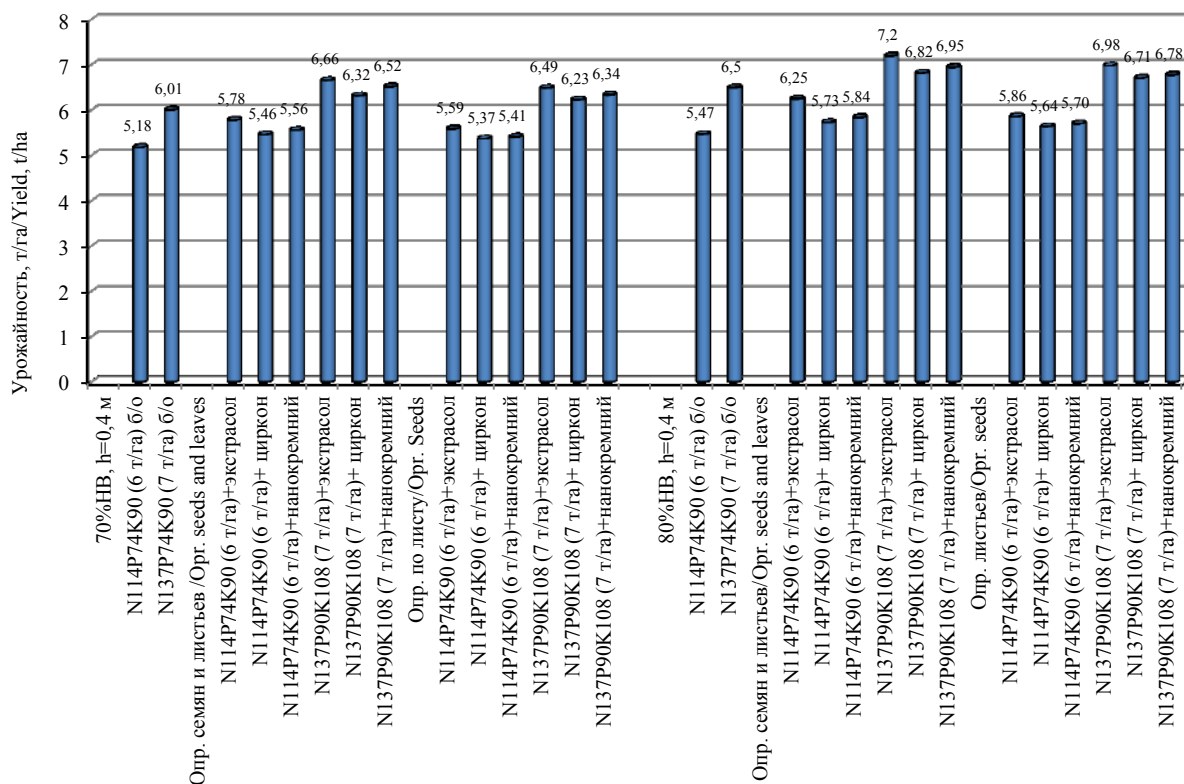


Рисунок 1 – Воздействие водного баланса, количества вносимых удобрений и стимуляторов роста на массу корневой системы аэробного риса, т/га (2020-2021 гг.)

Figure 1 – The effect of water balance, the amount of fertilizers applied and growth stimulants on the weight of the root system of aerobic rice, t/ha (2020-2021)



2020 г НСР₀₅: А – 0,6, В – 0,5, С – 0,2, ABC – 0,1 т/га; 2021 г НСР₀₅: А – 0,05, В – 0,4, С – 0,4, ABC – 0,3 т/га

Рисунок 2 – Урожайность аэробного риса в зависимости от варьирующих условий эксперимента, т/га (2020-2021 гг.)

Figure 2 – Yield of aerobic rice depending on the varying experimental conditions, t/ha (2020-2021)

Основываясь на результатах наших исследований (рисунок 2), максимальная продуктивность риса, в среднем составившая 7,20 т/га за время исследований, была отмечена при 80 % от наименьшей влагоемкости при глубине проникновения влаги в почву 0,4 м, внесении в дозе $N_{137}P_{90}K_{108}$ (7 т/га) в коллорабии с Экстрасолом, а также при обработке семян и проведении подкормки по листу.

Отсутствие протравливания семян при идентичном внесении удобрений и использовании того же препарата привело к снижению урожайности на 0,22 т/га. Внесение $N_{114}P_{74}K_{90}$ совместно с Экстрасолом, включающее в себя предпосевную обработку семян и внекорневую подкормку, позволило собрать в среднем 6,25 т/га зерна за два года. Применение аналогичной схемы удобрения и препарата, но с обработкой только вегетирующих растений, повлекло за собой сокращение урожая на 0,39 т/га. В контрольной группе, где не применялись никакие специфические методы воздействия, зафиксирован минимум урожайности в 5,18 т/га. Этот результат был обеспечен за счет 70 % НВ в 0,4-метровом горизонте, а также удобрения в пропорции $N_{114}P_{74}K_{90}$.

Для оценки эффективности агротехнических методов культивирования сельскохозяйственных культур, в том числе риса аэробного, обычно используют показатели урожайности. Однако, такой упрощенный подход не позволяет выявить условия, формирующие продукт, степень использования ресурсов окружающей среды и определить недостатки технологии выращивания. Исследование отдельных составляющих урожая, влияющих не только на его объем, но и на обстоятельства развития и параметры качества, способствует более глубокому пониманию взаимодействия растений с окружающей средой и оценке воздействия технологических подходов на вероятность получения желаемого урожая риса.

Изучение информации, содержащейся в таблице 1, демонстрирует, что при поддержании влажности 70 % НВ и применении удобрений $N_{114}P_{74}K_{90}$ (6 т/га) без добавления стимуляторов роста на аэробных рисовых полях, параметры, характеризующие структуру урожая, оказались наименьшими.

На протяжении двух лет наблюдений, у необработанного риса продуктивная кустистость достигала 1,5. Растения имели среднюю высоту стебля 0,651 м, длину метёлки 0,165 м. В каждой метёлке формировалось около 62 зерен, общий вес которых составлял 1,18 грамма. В вариантах с добавлением стимуляторов роста к минеральным удобрениям, показатели урожайности риса улучшились. Продуктивная кустистость увеличилась до 1,6, высота растений достигла 0,622 м, длина метёлки – 0,168 м. Зернистость метёлки возросла до 65 штук, а их суммарная масса увеличилась до 1,23 грамма. Подобные закономерности были зафиксированы и в других экспериментальных группах.

Согласно проведенным исследованиям, наиболее эффективным способом повышения урожайности является поддержание влажности почвы не менее 80 % до глубины 0,4 метра. Это было достигнуто при внесении в объеме $N_{137}P_{90}K_{108}$ на 7 тонн с гектара зерна, а также благодаря обработке семян и опрыскиванию растений в период вегетации микробиологическим препаратом Экстрасол. В среднем, за два года наблюдений, продуктивная кустистость достигала значения 2,0. Средняя высота стеблей составляла 0,817 метра. Длина метелки в среднем достигала 0,186 метра. В каждой метелке насчитывалось около 71 зерна, а вес зерна, собранного с одной метелки, составлял приблизительно 1,33 грамма.

Вес тысячи семян различался в зависимости от экспериментальных условий (таблица 1). Наименьший вес 1000 зерен, а именно 27,71 г, был зафиксирован в группе, где влажность почвы в горизонте увлажнения 0,4 м поддерживалась на уровне 70 % НВ, и было внесено $N_{114}P_{74}K_{90}$ (6 т/га) без дополнительной обработки.

Наибольшее значение этого показателя, достигающее 28,66 г, наблюдалось в варианте, где влажность почвы была 80% НВ в горизонте 0,4 метра, а также было произведено внесение $N_{137}P_{90}K_{108}$ (7 т/га) с проведением обработки как семян, так и листьев растений препаратом под названием Экстрасол.

Расчёты экономической эффективности показали, что при различных способах обработки ростовыми препаратами Экстрасол, Циркон и Нанокремний при внесении $N_{137}P_{90}K_{108}$ (7 т/га) себестоимость 1 тонны риса-сырца изменяется от 7897,5 до 10534,0 руб., уровень рентабельности от 92,0 до 83,8 %.

Таблица 1 – Структурные характеристики растения аэробного риса, создающие урожайность (2020-2021 гг.)

Table 1 – Structural characteristics of the aerobic rice plant that create yield (2020-2021)

Варианты по обработке / Processing options	Доза удобрений+ Препарат / Fertilizer dose+ preparation	Количество растений на 1 м ² , шт / Number of plants per 1 m ² , pcs	Продуктивная кустистость / Productive bushiness	Высота растений, м / Height of plants, m	Длина метелки, м / Panicle length, m	Число зерен в метелке, шт. / Number of grains in a panicle, pcs.	Масса зерна в метелке, г / Grain weight in a panicle, г	Масса 1000 зёрен, г / Weight of 1000 grains, г
Водный режим почвы 70 % НВ, h=0,4 м / The water regime of the soil is 70 % MMC, h=0.4 m								
Без обра- ботки / Without processing	N ₁₁₄ P ₇₄ K ₉₀ (6 т/га)	275	1,5	0,651	0,165	62	1,18	27,71
	N ₁₃₇ P ₉₀ K ₁₀₈ (7 т/га)	275	1,6	0,709	0,172	65	1,26	28,28
Семена + по вегета- ции / Seeds + by vegetation	N ₁₁₄ P ₇₄ K ₉₀ (6 т/га) + экстрасол / extrasol	275	1,8	0,671	0,170	66	1,24	27,92
	N ₁₁₄ P ₇₄ K ₉₀ (6 т/га) + циркон / zircon	275	1,7	0,655	0,168	64	1,22	27,79
	N ₁₁₄ P ₇₄ K ₉₀ (6 т/га) + нанокремний / nanosilicon	275	1,8	0,662	0,169	65	1,23	27,85
	N ₁₃₇ P ₉₀ K ₁₀₈ (7 т/га) + экстрасол / extrasol	275	1,9	0,731	0,177	67	1,29	28,50
	N ₁₃₇ P ₉₀ K ₁₀₈ (7 т/га) + циркон / zircon	275	1,8	0,716	0,175	65	1,27	28,36
	N ₁₃₇ P ₉₀ K ₁₀₈ (7 т/га) + нанокремний / nanosilicon	275	1,8	0,722	0,176	66	1,28	28,10
	N ₁₁₄ P ₇₄ K ₉₀ (6 т/га) + экстрасол / extrasol	275	1,6	0,622	0,168	65	1,23	27,85
По вегета- ции / By vegetation	N ₁₁₄ P ₇₄ K ₉₀ (6 т/га) + циркон / zircon	275	1,5	0,609	0,166	63	1,20	27,76
	N ₁₁₄ P ₇₄ K ₉₀ (6 т/га) + нанокремний / nanosilicon	275	1,6	0,611	0,167	64	1,21	27,80
	N ₁₃₇ P ₉₀ K ₁₀₈ (7 т/га) + экстрасол / extrasol	275	1,7	0,688	0,175	66	1,28	28,42
	N ₁₃₇ P ₉₀ K ₁₀₈ (7 т/га) + циркон / zircon	275	1,6	0,670	0,173	63	1,26	28,33
	N ₁₃₇ P ₉₀ K ₁₀₈ (7 т/га) + нанокремний / nanosilicon	275	1,6	0,677	0,174	65	1,27	28,37
	N ₁₁₄ P ₇₄ K ₉₀ (6 т/га)	275	1,6	0,715	0,171	63	1,21	27,86
Водный режим почвы 80 % НВ, h=0,6 м / The water regime of the soil is 80 % MMC, h=0.6 m								
Без обра- ботки/ Without processing	N ₁₁₄ P ₇₄ K ₉₀ (6 т/га)	275	1,6	0,715	0,171	63	1,21	27,86
	N ₁₃₇ P ₉₀ K ₁₀₈ (7 т/га)	275	1,7	0,796	0,179	67	1,29	28,43
Семена + по вегета- ции / Seeds + by vegetation	N ₁₁₄ P ₇₄ K ₉₀ (6 т/га) + экстрасол / extrasol	275	1,9	0,735	0,177	67	1,26	28,21
	N ₁₁₄ P ₇₄ K ₉₀ (6 т/га) + циркон / zircon	275	1,8	0,719	0,171	64	1,24	27,92
	N ₁₁₄ P ₇₄ K ₉₀ (6 т/га) + нанокремний / nanosilicon	275	1,9	0,728	0,175	66	1,25	28,03
	N ₁₃₇ P ₉₀ K ₁₀₈ (7 т/га) + экстрасол / extrasol	275	2,0	0,817	0,186	71	1,33	28,66
	N ₁₃₇ P ₉₀ K ₁₀₈ (7 т/га) + циркон / zircon	275	1,9	0,804	0,189	69	1,31	28,48
	N ₁₃₇ P ₉₀ K ₁₀₈ (7 т/га) + нанокремний / nanosilicon	275	1,9	0,809	0,184	70	1,32	28,59
	N ₁₁₄ P ₇₄ K ₉₀ (6 т/га) + экстрасол / extrasol	275	1,7	0,765	0,175	66	1,25	28,08
По вегета- ции / By vegetation	N ₁₁₄ P ₇₄ K ₉₀ (6 т/га)+циркон	275	1,6	0,736	0,172	64	1,22	27,82
	N ₁₁₄ P ₇₄ K ₉₀ (6 т/га) + нанокремний / nanosilicon	275	1,7	0,711	0,173	65	1,23	27,95
	N ₁₃₇ P ₉₀ K ₁₀₈ (7 т/га) + экстрасол / extrasol	275	1,8	0,849	0,184	70	1,32	28,64
	N ₁₃₇ P ₉₀ K ₁₀₈ (7 т/га) + циркон / zircon	275	1,7	0,819	0,181	68	1,30	28,44
	N ₁₃₇ P ₉₀ K ₁₀₈ (7 т/га) + нанокремний / nanosilicon	275	1,8	0,829	0,182	69	1,31	28,51
	N ₁₁₄ P ₇₄ K ₉₀ (6 т/га)	275	1,6	0,715	0,171	63	1,21	27,86

Заключение. Двухлетние исследования показали, что для достижения максимальной урожайности необходимо поддерживать влажность 80 % НВ. Наилучшие результаты были достигнуты при внесении удобрений в количестве $N_{137}P_{74}K_{90}$ (7 т/га) и использовании препарата Экстрасол, здесь зафиксированная урожайность зерна была максимальной и составила 7,20 т/га.

Экономический анализ показал, что наиболее выгодный вариант – поддержание влажности почвы не менее 80 % НВ в слое 0,4 м, при использовании той же дозы удобрений и роста стимулятора. Этот вариант обеспечил рентабельность в 92,0 %.

Conclusion. Two-year studies have shown that in order to achieve maximum yield, it is necessary to maintain moisture content of 80 % HB. The best results were achieved when applying fertilizers in the amount of $N_{137}P_{74}K_{90}$ (7 t/ha) and using the drug Extrasol, here the recorded grain yield was maximum and amounted to 7.20 t/ha.

Economic analysis has shown that the most advantageous option is to maintain soil moisture of at least 80 % HC in a 0.4 m layer, using the same dose of fertilizers and growth stimulator. This option provided a profit margin of 92.0 %.

Библиографический список

1. Шеуджен А. Х., Гуторова О. А., Бондарева Т. Н. Влияние минеральных и органических удобрений на рост и развитие растений риса. Рисоводство. 2022. № 2 (55). С. 57-62.
2. Белоусов И. Е., Чижиков В. Н., Слепцова О. И. Эффективность новых удобрений для некорневой подкормки при выращивании перспективных сортов риса. Рисоводство. 2022. № 1 (54). С. 26-32.
3. Гненный Е. Ю. Факторы, влияющие на засухоустойчивость растений риса и механизмы ее повышения (обзор). Рисоводство. 2023. № 3 (60). С. 21-26.
4. Дядюченко Л. В., Тараненко В. В., Муравьев В. С. Новый регулятор роста для растений риса. Агрохимия. 2021. № 4. С. 57-61.
5. Тараненко В. В., Дмитриева И. Г., Муравьев В. С. Оценка эффективности применения регуляторов роста в технологии выращивания риса. Земледелие. 2023. № 8. С. 18-22.
6. Мухидова З. Ш., Закиров С. Х. Экологически безопасный растительный биостимулятор для предпосевной обработки семян риса. Universum: химия и биология. 2024. № 9-2 (123). С. 4-7.
7. Багнавец Н. Л., Григорьева М. В., Осипова А. В. Эффективность применения регулятора роста природного происхождения для проращивания семян различных сельскохозяйственных культур. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17. № 2 (81). С. 34-43.
8. Левакова О. В. Использование стимуляторов роста и гуминовых веществ в звене первичного семеноводства ячменя сорта Знатный при посеве колосом. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2025. Т. 20, № 1(77). С. 12-17.
9. Козионова Е. Г., Маленкова Л. В., Демидова О. В. Влияние химических и биологических препаратов на посевные качества семян и урожайность. Экономика сельского хозяйства России. 2020. № 1. С. 27-33.
10. Олейник А. Т., Чаюкова Н. А. Применение Экстрасола на мягкой пшенице в условиях Костанайской области. Вестник SKU им. М. Козыбаева. 2022. № 3 (55). С. 140-148.
11. Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, 2022 год: справочное издание. Приложение к журналу «Защита и карантин растений» № 4, 2022. Москва, 2022. 879 с.
12. Родин К. А., Невежина А. Б., Воронцова Е. С. Влияние ростовых препаратов на нормы реакции риса при дождевании. Известия НВ АУК. 2021. № 4 (64). С. 97-105.
13. Князева А. О., Чернышева Н. В. Влияние обработки семян и растений риса гуминовыми препаратами на урожайность и качество зерна. Рисоводство. 2020. № 1 (46). С. 18-22.

References

1. Sheujen A. H., Gutorova O. A., Bondareva T. N. The influence of mineral and organic fertilizers on the growth and development of rice plants. Rice farming. 2022. No 2 (55). Pp. 57-62.
2. Belousov I. E., Chizhikov V. N., Sleptsova O. I. The effectiveness of new fertilizers for foliar fertilization in the cultivation of promising rice varieties. Rice farming. 2022. No 1 (54). Pp. 26-32.
3. Gnennyi E. Y. Factors affecting the drought resistance of rice plants and mechanisms for its increase (review). Rice farming. 2023. № 3 (60). Pp. 21-26.
4. Dyadyuchenko L. V., Taranenko V. V., Muravyev V. S. A new growth regulator for rice plants. Agricultural chemistry. 2021. No 4. Pp. 57-61.
5. Taranenko V. V., Dmitrieva I. G., Muravyev V. S. Evaluation of the effectiveness of growth regulators in rice cultivation technology. Agriculture. 2023. No 8. Pp. 18-22.
6. Mukhidova Z. Sh., Zakirov S. H. An ecologically safe plant biostimulator for the pre-sowing treatment of rice seeds. Universum: chemistry and biology. 2024. No 9-2 (123). Pp. 4-7.
7. Bagnavets N. L., Grigorieva M. V., Osipova A. V. The effectiveness of using a growth regulator of natural origin for germinating seeds of various agricultural crops. Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2024. Vol. 17. No 2 (81). Pp. 34-43.
8. Levakova O. V. The use of growth stimulants and humic substances in the primary seed production of Noble barley during ear sowing. Bulletin of Kazan State Agrarian University. 2025. Vol. 20. No 1 (77). Pp. 12-17.
9. Kozionova E. G., Malenkova L. V., Demidova O. V. Influence of chemical and biological preparations on seed quality and yield. Economics of agriculture of Russia. 2020. No 1. Pp. 27-33.
10. Oleinik A. T., Chayukova N. A. The use of Extrasol on soft wheat in the conditions of the Kostanay region. Bulletin of the M. Kozymbaev Moscow State Agricultural University. 2022. No 3 (55). Pp. 140-148.
11. List of pesticides and agrochemicals approved for use in the Russian Federation, 2022: reference edition. Appendix to the journal "Plant Protection and Quarantine" No. 4, 2022. Moscow, 2022. 879 p.

12. Rodin K. A., Nevezhina A. B., Vorontsova E. S. The effect of growth preparations on rice reaction rates during sprinkling. Proceedings of the Nizhnevolzhsky agro-university complex: Science and higher professional education. 2021. No 4 (64). Pp. 97-105.

13. Knyazeva A. O., Chernysheva N. V. The effect of processing rice seeds and plants with humic preparations on grain yield and quality. Rice farming. 2020. No 1 (46). Pp. 18-22.

Информация об авторах

Родин Константин Анатольевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидро-технической и мелиорации имени А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9), <https://orcid.org/0000-0003-3808-2729>, e-mail: rodin.ka@yandex.ru

Невежина Айнагуль Беркбаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидро-технической и мелиорации имени А.Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9), e-mail: aina.kanaeva@mail.ru

Варенова Евгения Алексеевна, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26), e-mail: evarenova@mail.ru

Authors' Information

Rodin K. A., Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture – the branch of the Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Melioration named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev St., 9), <https://orcid.org/0000-0003-3808-2729>, e-mail: rodin.ka@yandex.ru

Nevezhina A. B., Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture – the branch of the Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Melioration named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev St., 9), e-mail: aina.kanaeva@mail.ru

Varenova E. A., Postgraduate Student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskii Ave., 26), e-mail: evarenova@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-25

THE EFFECT OF THE MICRO FERTILIZER FEEDING ON THE WINTER WHEAT VARIETIES YIELD AND QUALITY ON THE CHESTNUT SOILS OF THE VOLGOGRAD REGION DRY STEPPE ZONE

Sapunkov V. L., Guzenko A. Yu.

*Federal Scientific 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)
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: guzenko-ay@vfanc.ru

Received 15.12.2025

Submitted 04.02.2026

The research was conducted within the framework of the state assignment FNFE-2025-0009 "Creation of new genotypes, varieties, forms of woody, shrubby, cultivated plants with highly valuable traits of productivity, quality, resistance to bio- and abio stressors using classical and modern selection methods, new innovative technologies in nursery and seed production, to solve problems of preventing degradation and desertification of agricultural landscapes in a changing climate".

Abstract

Introduction. Record winter wheat yields in our time, obtained by farmers of the Volgograd region, have significantly changed the technological paradigm of agricultural production. The priority of quantitative indicators fades into the background. However, an increase in the amount of grain has led to a drop in the marginality of grain production. The task of not just increasing the volume of low-protein grains is becoming more urgent, but the task is, at least, to maintain the quantitative level with a significant increase in the protein content in winter wheat grains. A possible solution may be foliar fertilization with nitrogen fertilizers in the late phases of winter wheat development. **Object.** The article discusses the results of studies on the effectiveness of the use of foliar fertilizers with Polydon Bio Universal micro-fertilizer, conducted in the soil and climatic zone of chestnut soils of the Volgograd region in 2021-2024. The land and equipment for the work were provided by the Kirsanov S. M. peasant farm. The experience was laid in the Oktyabrsky district of the Volgograd region, village of Zhutovo 1. **Materials and methods.** Surveys and records were carried out according to generally accepted methods (Dospekhov, 2014 Methodology of the state variety testing of agricultural crops, 1989). To take into account the reaction characteristics of winter wheat varieties, studies were conducted on five varieties: Ermak (control); Don Beauty; Don Steppe; Etude; Lidia. All varieties of breeding of ANTS "Donskoy". The selection of the breeding center was due to the high demand for its products in the Volgograd region. **Results and conclusions.** The peculiarity of winter wheat cultivation in the climate of the Volgograd region is the significant impact of the completeness of plant development in the autumn growing season on the formation of elements of the crop structure in the spring and summer period. Thus, the density of productive stems in 2019-2021 averaged 423-441 pcs/m², and in 2021 only 359 pcs/m². The use of foliar micro-fertilization increased the number of productive stems in 2019-2020 to

457-471 pcs/m² and in 2021 to 380 pcs/m². A positive trend from the use of foliar top dressing was also noted when determining the weight of 1000 grains. On average, this indicator increased from 38.1 to 40.6 g. The yield of the varieties under test was high for the prevailing weather conditions of the dry-steppe zone of chestnut soils. Compared to the use of ammonium nitrate in early spring, an average of 3.75 t/ha. With the use of additional fertilization with micro-fertilization of 4.24 t/ha. The best results were shown by the Krasa Dona varieties of 3.92 and 4.28 t/ha.; The Don Steppe is 3.94 and 4.31 t/ha on a background without micro-fertilizers and with the addition of non-root fertilization with Polydon Bio Universal micro-fertilizers, respectively. The use of micro-fertilizers has made it possible to improve such an important indicator as the protein content in grain. On average, its growth was 0.6 %. And for such varieties as Don Steppe and Etude, the amount of protein increased from 13.3 % to 14.0 %.

Keywords: winter wheat, micronutrient fertilizers, winter wheat yield, winter wheat varieties, productive stems, grain protein content, weight of 1,000 seeds.

Citation. Sapunkov V. L., Guzenko A. Yu. The effect of the micro fertilizer feeding on the winter wheat varieties yield and quality on the chestnut soils of the Volgograd region dry steppe zone. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 227-237 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-25.

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"324":631.8:631.445.51(470.45)

ВЛИЯНИЕ ПОДКОРМКИ МИКРОУДОБРЕНИЯМИ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЕ КАШТАНОВЫХ ПОЧВ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

**Сапунков В. Л., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
Гузенко А. Ю., младший научный сотрудник**

*ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук»
г. Волгоград, Российская Федерация*

Актуальность. Рекордные показатели урожайности озимой пшеницы в наше время, получаемые фермерами Волгоградской области, существенным образом поменяли технологическую парадигму сельскохозяйственного производства. Приоритет количественных показателей отходит на второй план. Однако увеличение количества зерна привело к падению маржинальности зернового производства. Всё более актуальной становится задача не просто наращивать объём малобелкового зерна, а задача, как минимум, удерживать количественный уровень со значительным увеличением содержания белка в зерне озимой пшеницы. Возможным решением могут быть некорневые подкормки азотными удобрениями в поздние фазы развития озимой пшеницы. **Объект.** В статье рассматриваются результаты исследований эффективности применения некорневых подкормок микроудобрением Полидон Био Универсальный, проведённых в почвенно-климатической зоне каштановых почв Волгоградской области в 2021-2024 годах. Землю и оборудование для проведения работ предоставило крестьянско-фермерское хозяйство «Кирсанов С. М.». Опыт был заложен в Октябрьском районе Волгоградской области, х. Жутово 1. **Материалы и методы.** Обследования и учёты проводились по общепринятым методикам. Для учёта особенностей реакции сортов озимой пшеницы, исследования проводились на пяти сортах: Ермак (контроль); Краса Дона; Донская Степь; Этюд; Лидия. Все сорта селекции АНЦ «Донской». Выбор селекционного центра был обусловлен высокой востребованностью его продукции в Волгоградской области. **Результаты и выводы.** Особенностью культивирования озимой пшеницы в условиях климата Волгоградской области является значительное воздействие полноты развития растений в осенний период вегетации на формирование элементов структуры урожая в весенне-летний период. Так, густота продуктивного стеблестоя в 2019-2021 годах, в среднем, составила 423-441 шт./м², а в 2021 году только 359 шт./м². Применение некорневой подкормки микроудобрением увеличило количество продуктивных стеблей в 2019-2020 годах до 457-471 шт./м² и в 2021 году до 380 шт./м². Положительная тенденция от применения некорневых подкормок была отмечена и при определении массы 1000 зёрен. В среднем этот показатель увеличился с 38,1 до 40,6 г. Урожайность сортов, находившихся на испытании, была высокой для сложившихся погодных условий сухостепной зоны каштановых почв. На фоне с применением аммиачной селитры ранней весной, в среднем, 3,75 т/га. С использованием дополнительной подкормки микроудобрением 4,24 т/га. Наилучшие результаты показали сорта Краса Дона 3,92 и 4,28 т/га; Донская Степь 3,94 и 4,31 т/га на фоне без микроудобрений и с внесением некорневой подкормки микроудобрением Полидон Био Универсальный, соответственно. Применение микроудобрений дало возможность улучшить и такой важный показатель как содержание белка в зерне. В среднем его рост составил 0,6 %. А по таким сортам как Донская Степь и Этюд количество белка увеличилось с 13,3 до 14,0 %.

Ключевые слова: озимая пшеница, микроудобрения, урожайность озимой пшеницы, сорта озимой пшеницы, продуктивные стебли, содержание белка в зерне, масса 1000 семян.

Цитирования. Сапунков В. Л., Гузенко А. Ю. Влияние подкормки микроудобрениями на урожайность и качество сортов озимой пшеницы в сухостепной зоне каштановых почв Волгоградской области. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 227-237. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-25.

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. Озимая пшеница, не смотря ни на какие конъюнктурные изменения цены, остаётся важнейшей культурой, формирующей значительную долю доходов фермерских хозяйств Волгоградской области [1, 4, 8, 12].

В последнее время, вследствие повышения общего уровня технологической грамотности и благоприятных погодных условий, удалось, в целом, решить вопрос повышения урожайности посевов. Однако качество получаемой продукции оставляет желать лучшего [2, 3, 5, 7, 10].

Учитывая тот факт, что вопрос увеличение количества белка в зерне решается на стыке двух главных направлений интенсификации – подборе сорта и эффективном применении удобрений, мы поставили перед собой задачу проследить эту взаимосвязь [6, 9, 11].

Так как около 60 % посевных площадей под озимую пшеницу в Волгоградской области занимают сорта, выведенные в АНЦ «Донской», мы посчитали оправданным провести наши исследования с использованием селекционных достижений этого научного центра [2, 9, 13].

Целью проведения исследований в сухостепной зоне каштановых почв был выбор сортов озимой пшеницы заметно реагирующих улучшением основных параметров – урожайности и содержание белка – на применение микроудобрений.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- Изучить влияние проводимой подкормки микроудобрениями на формирование элементов структуры урожая.
- Определить изменение урожайности и качества зерна исследуемых сортов вследствие используемой подкормки.

В статье представлены результаты изучения реакции 5 сортов озимой пшеницы селекции Аграрного научного центра «Донской», на применение микроудобрений. Работа проводилась с 2019 по 2021 гг.

Материалы и методы исследования. Исследования проводились в сухостепной зоне каштановых почв, в Октябрьском районе Волгоградской области. Земельный участок и технику для проводимых работ предоставило КФХ «Кирсанов С. М.» х. Жутово 1.

Технология обработки почвы – глубокая, отвальная вспашка. Предшественник – чёрный пар. Срок посева был выбран оптимальный для данной зоны исследований – 10 сентября. Норма высева, рекомендованная для данной зоны – 4,0 млн шт. семян на гектар. Посев проводился сеялкой СКП 2.1 «Омичка» с анкерными сошниками. Ширина деланки 12,6 м, длинна 300 м. Почва суглинистая, тяжёлого механического состава. Содержание гумуса – 1,5 %, азота – низкое, фосфора – среднее, обменного калия – высокое. Сорт озимой пшеницы Ермак, использовался в качестве контроля.

Обследования и учёты проводились по общепринятым методикам (Доспехов, 2014). Определение коэффициента кущения, густоты стояния проводилось методом отбора образцов с последующим подсчетом, в 3 – кратной повторности.

- Определение у растений фазы «выход в трубку» осуществлялось визуально у выкопанных растений.
- Густота продуктивного стеблестоя определялась подсчетом растений при помощи рамки площадью 0,25 м², в 3 – кратной повторности.

Был заложен двухфакторный опыт. Для данного исследования нами были отобраны перспективные сорта АНЦ «Донской» и микроудобрения Полидон Био Универсальный, содержащие определенное количество действующего вещества макро и микроэлементов (таблица 1).

Таблица 1 – Двухфакторный опыт на опытном участке КФХ «Кирсанов С. М.» в Октябрьском районе Волгоградской области, х. Жутово 1, 2010-2021 гг.

Table 1 – Two-factor experiment at the Kirsanov S. M. experimental site in the Oktyabrsky district of the Volgograd region, village of Zhutovo 1, 2010-2021

Фактор А / Factor A	Фактор Б / Factor B	
Сорт / Variety	NH ₄ NO ₃	NH ₄ NO ₃ + Микроудобрения / NH ₄ NO ₃ + Micro fertilizers
Ермак / Ermak		
Краса Дона / Krasa Dona		
Донская Степь / Donskaya Step		
Этюд / Etud		
Лидия / Lydia		

На все этапе исследования за 2019-2021 гг., проводился учет погодных условий для выявления зависимости эффекта использования вариантов обработки удобрениями на структуру урожайности сортов озимой пшеницы.

Результаты и обсуждения. Для правильного понимания полученных результатов необходимо кратко коснуться состояния посевов в период осенней вегетации.

Осенью в 2019 и 2020 годах погодные условия для сева способствовали хорошему развитию растений озимой пшеницы. В первые два месяца осени выпало от 40 до 60 мм осадков. Густота стояния в фазу «всходы» сформировалась в диапазоне от 3,0 до 3,4 млн шт./га. Среднемесячная температура находилась в оптимальном интервале 16-18 °С. Хорошее увлажнение в купе с ровным температурным фоном позволили получить полевую всхожесть на уровне 75-85 % (таблица 2).

Таблица 2 – Густота стояния и полевая всхожесть сортов озимой пшеницы на опытном участке КФХ «Кирсанов С. М.» в Октябрьском районе Волгоградской области, х. Жутово 1 за 2019-2021 гг.

Table 2 – Density of standing and field germination of winter wheat varieties at the Kirsanov S. M. experimental site in the Oktyabrsky district of the Volgograd region, village of Zhutovo 1 for 2019-2021

Сорт / Variety	Густота стояния, млн.шт./га / Density of standing, million units/ha			Среднее за три года, млн.шт./га / Three-year average, mil- lion units/ha	Полевая всхожесть, % / Field germination, %			Среднее за три года, % / Three-year average,%
	2019	2020	2021		2019	2020	2021	
Ермак (к) / Ermak (k)	2,7	2,7	2,1	2,5	67,5	67,5	52,5	62,5
Краса Дона / Krasa Dona	2,9	2,8	2,4	2,7	72,5	70	60	67,5
Донская Степь / Donskaya Step	3,0	3,1	2,4	2,8	75	77,5	60	71
Этюд / Etud	2,8	2,9	2,4	2,7	70	72,5	60	67,5
Лидия / Lydia	3,0	2,9	2,3	2,7	75	72,5	57,5	68
Среднее / Average	2,9	2,9	2,3	2,7	72	72	58	67,3
НСР _{0,5}	0,1	0,1	0,1	0,1	3,6	3,6	2,9	3,4

Диссонансом выбивалась погодная картина осени 2021 года. В сентябре-октябре осадкомеры зафиксировали только около 20 мм. На это наложилась высокая температура воздуха (в отдельные дни более 30 °С), что привело к снижению полевой всхожести до 53-60 % и густоты стояния растений до 2,1-2,4 млн шт./га.

Изменчивость погоды оказала влияние на полевую всхожесть и габитус растений. Количество побегов на одно растение в период с благоприятным режимом увлажнения и температуры воздуха (2019-2020 гг.) в среднем составило – 4,1 и 4,7. В неблагоприятном, 2021 году – лишь 2,6 (рисунок 1).

Однако, несмотря на контраст погодных условий в обоих случаях растения достигли фазы кущения и были нормально развиты для прохождения холодного периода своего жизненного цикла.

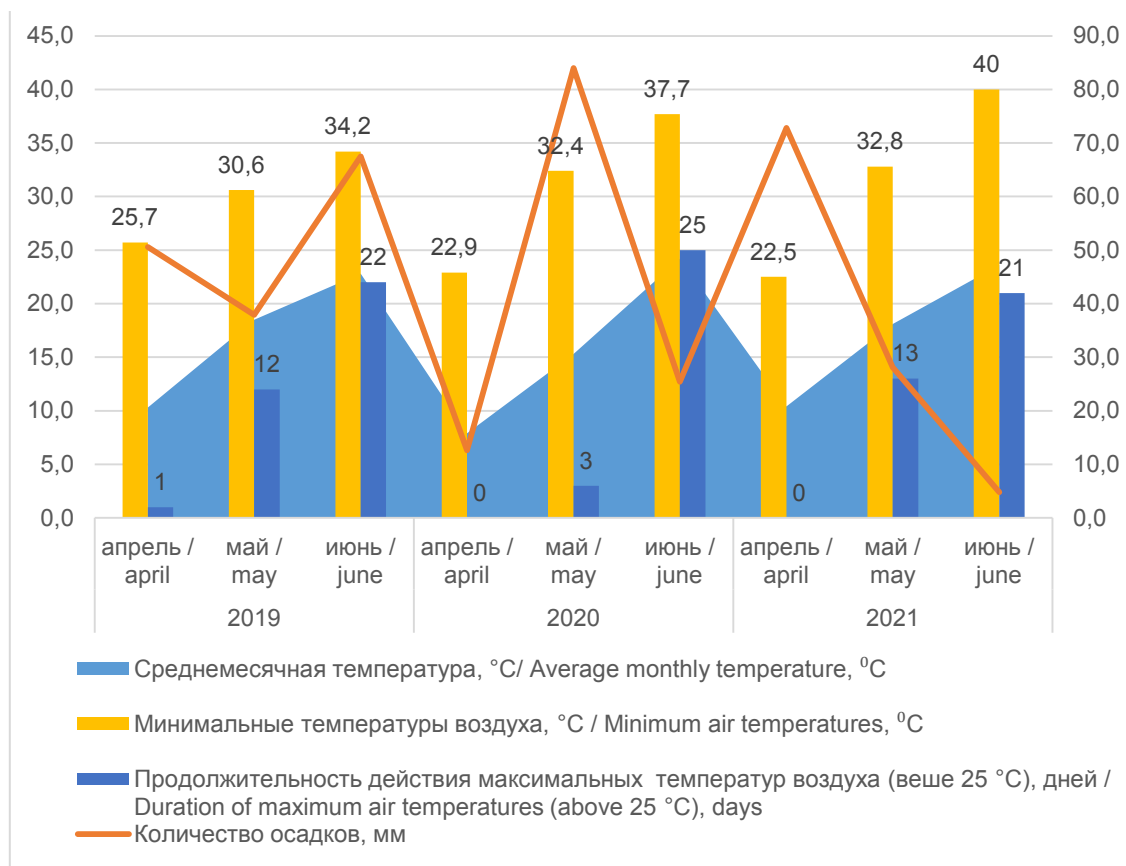


Рисунок 1 – Основные погодные показатели периода весна-лето озимой пшеницы в весенний период КФХ «Кирсанов С. М.» в Октябрьском районе Волгоградской области, х. Жутово 1 за 2019-2021 гг.
Figure 1 – The main weather indicators of the spring-summer period of winter wheat in winter "Kirsanov S. M." Oktyabrsky district of the Volgograd region, village of Zhutovo 1 for 2019-2021. average

По итогам наблюдений, можно констатировать, что перезимовка прошла благополучно, несмотря на некоторую разницу в развитии посевов озимой пшеницы за период исследований. Из особенностей перезимовки можно отметить такие факты как эпизодическое формирование снежного покрова; небольшой период воздействия на растения низких (менее -10 °C) отрицательных температур; отсутствие сплошных ледяных отложений, полностью изолирующих растения от атмосферы и достаточно продолжительные оттепели. Всё это, в итоге, позволило пройти период перезимовки практически без потери густоты стояния.

Учитывая тот факт, что внесение ранневесенней подкормки на посевах озимой пшеницы широко распространённый и апробированный приём, а также многочисленные исследования, указывающие на эффект синергизма, при совместном использовании на посевах макро и микроудобрений, мы изучали реакцию сортов на применение микроподкормки именно на удобренном фоне.

Азотные гранулированные удобрения вносили максимально близко к моменту начала вегетации. В 2019-2020 годах в конце февраля 21-26.02, в 2021 году во второй декаде марта – 14.03. Разбрасыватель «Туман 2М» был настроен на норму внесения 100 кг/га в физическом весе (34,4 кг/га по д.в.).

Внесение микроудобрения Полидон Био Универсальный осуществлялось дважды. Первый раз в фазу «весеннее кущение» совместно с гербицидами. Норма препарата, которая использовалась при опрыскивании, 1 л/га. Второй раз в фазу «колошение», в той же норме 1 л/га, совместно с инсектицидами. Оборудование для внесения – опрыскиватель «Туман 2М» (таблица 1).

Известно, что на фоне достаточного увлажнения в критический период развития растений озимой пшеницы (апрель-май) эффективность вносимых средств интенсификации резко возрастает. В нашем случае в этот период выпало 70-75 мм (рисунок 1). Это превышает среднегодовую показатели для данной местности (65 мм).

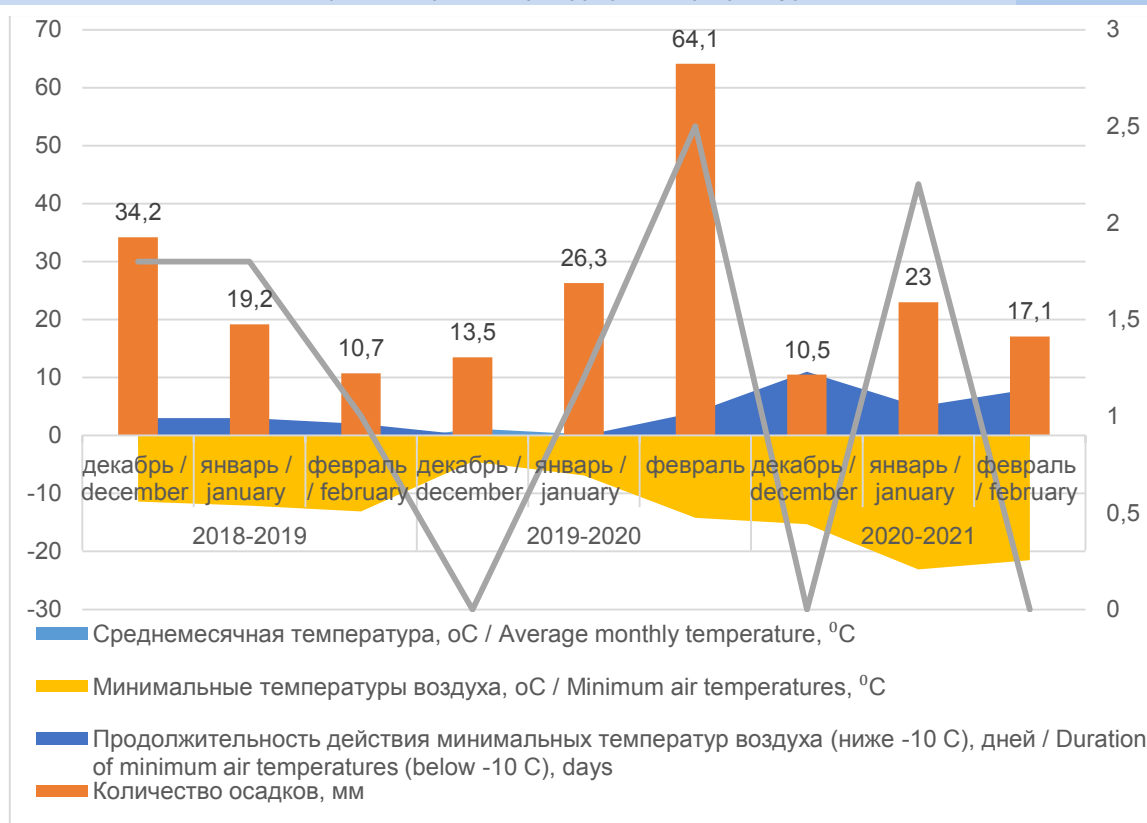


Рисунок 2 – Основные погодные показатели периода покоя озимой пшеницы в зимний период КФХ «Кирсанов С. М.» в Октябрьском районе Волгоградской области, х. Жутово 1 за 2019-2021 гг.
Figure 2 – The main weather indicators of the dormant period of winter wheat in winter "Kirsanov S. M." Oktyabrsky district of the Volgograd region, village of Zhutovo 1 for 2019-2021 average

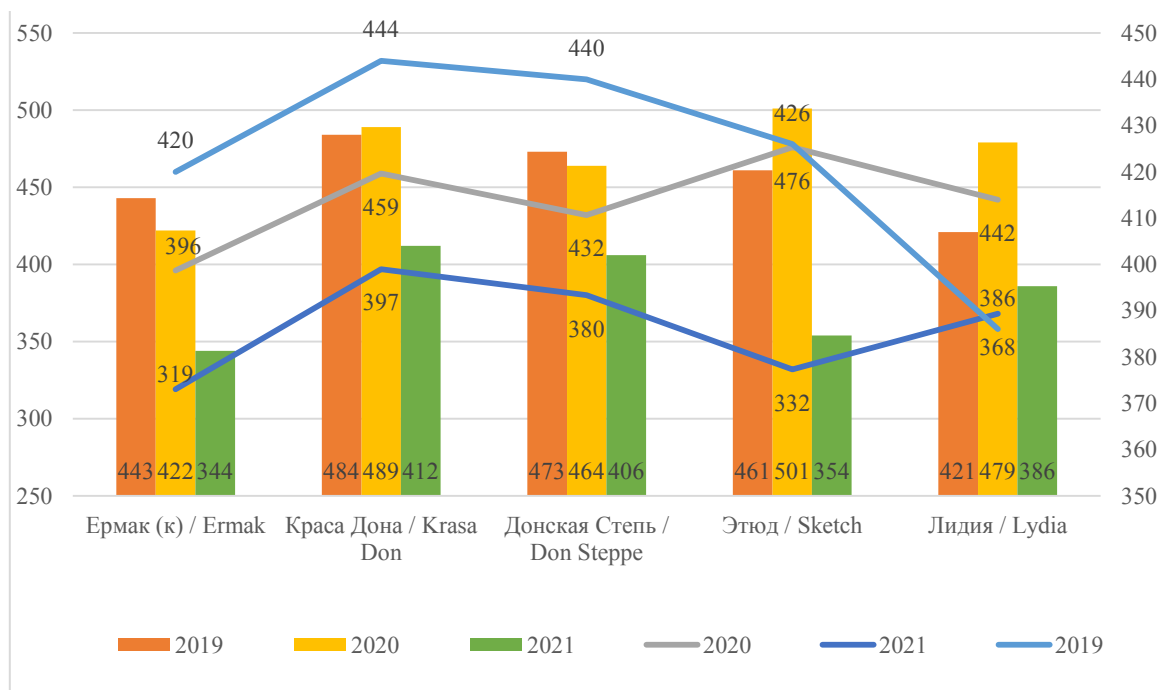


Рисунок 3 – Продуктивный стеблестой сортов озимой пшеницы на опытном участке КФХ «Кирсанов С. М.» в Октябрьском районе Волгоградской области, х. Жутово 1 за 2019-2021 гг.
Figure 3 – Productive winter wheat varieties at the Kirsanov S. M. experimental site in the Oktyabrsky district of the Volgograd region, village of Zhutovo 1 for 2019-2021

В зоне исследований одним из важнейших показателей структуры, определяющим будущий урожай, является количество продуктивных стеблей. Это связано, в первую очередь, с недостатком увлажнения в более поздние фазы – формирования зерна и налива.

Как видно из данных в 2022-2023 годах количество продуктивных стеблей находилось на уровне 423-441 шт./м² в среднем. В 2021 году, вследствие неблагоприятных условий вегетации, сложившихся в осенний период предшествующего года, количество продуктивных стеблей составило только 359 шт./м². Можно отметить такие сорта как Донская Степь и Краса Дона, сформировавшие за три года исследований 433 и 417 шт./м² колососных побегов соответственно (рисунок 3).

Использование микроудобрения Полидон Био Универсальный заметно улучшило этот показатель (рисунок 3).

Среднее количество продуктивных стеблей увеличилось на 28 шт./м² в среднем за три года, с 408 до 436 шт./м². Заметно увеличился продуктивный стеблестой и по отдельным сортам: Краса Дона на 29 шт./м²; Донская Степь на 31 шт./м²; Этюд на 27 шт./м²; Лидия на 30 шт./м². На контроле прибавка составила 25 шт./м² (рисунок 3).

Использование микроудобрений повлияло и на такой важный показатель как масса 1000 зёрен. Без использования микроудобрений, в среднем за три года, на фоне с применением аммиачной селитры, масса 1000 зёрен находилась на приемлемом уровне 36,7-38,8 г. Здесь лидерами были сорта Лидия 38,8 г. и Донская Степь 38,7 г (рисунок 4).

Двукратное использование Полидона Био Универсального привело к некоторому росту массы 1000 зёрен.

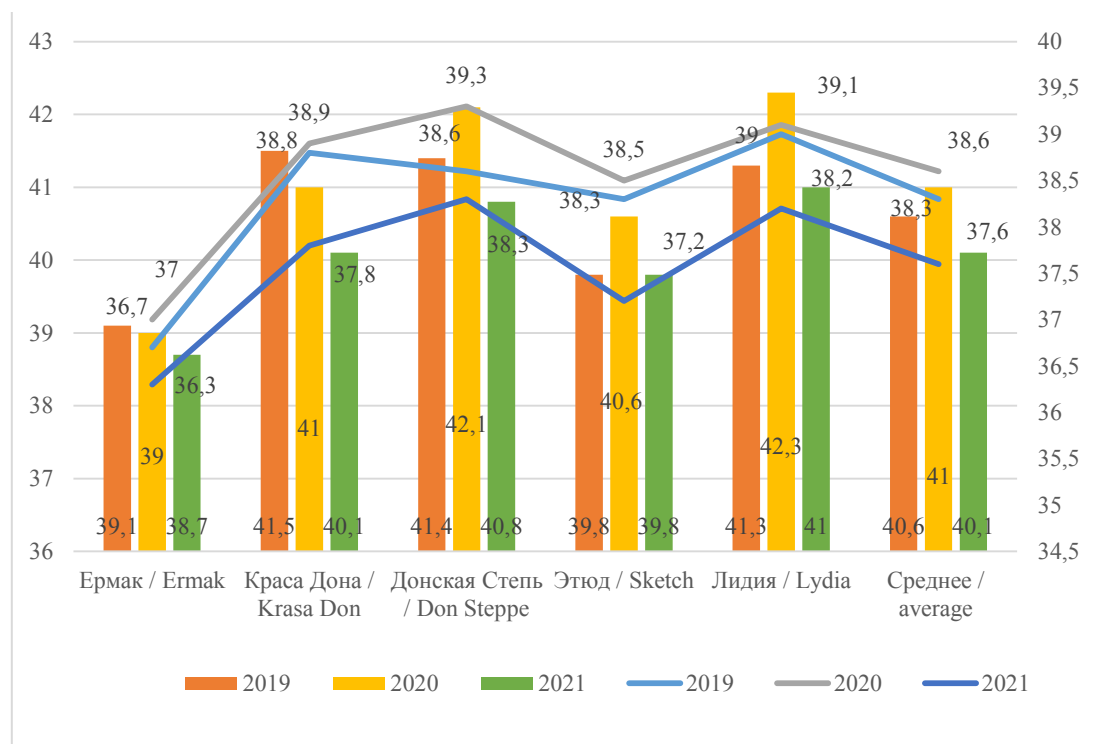


Рисунок 4 – Масса 1000 зёрен в зависимости от сорта, азотной подкормки и применяемых микроудобрений на опытном участке КФХ «Кирсанов С. М.» в Октябрьском районе Волгоградской области, х. Жутово 1 за 2019-2021 гг.

Figure 4 – Weight of 1000 grains, depending on the variety, nitrogen fertilization and micro fertilizers used at the Kirsanov S. M. experimental site in the Oktyabrsky district of the Volgograd region, village of Zhutovo 1 for 2019-2021

В среднем за 2019-2021 гг. она увеличилась на 9,4 %, с 38,1 до 40,6 г. Несмотря на то, что масса 1000 семян всех испытываемых сортов находилась в достаточно узком интервале значений, можно отметить, что наилучшим образом на внекорневые подкормки микроудобрением отреагировали сорта Донская Степь, масса 100 семян 41,4 г и Лидия, масса 1000 семян 41,5 г (рисунок 4).

Увеличение количества продуктивных стеблей, рост массы 1000 зёрен привело, в итоге, к положительной динамике показателей урожайности исследуемых сортов. На участке без применения микроудобрений урожайность сортов озимой пшеницы была достаточно высокой. В 2019-2021 годах средняя урожайность находилась на уровне 4,01-4,19 т/га. В 2021 году средняя урожайность существенно снизилась вследствие потерь осеннего периода вегетации и составила 3,05 т/га. Наилучшие результаты в процессе испытаний, показали сорта Донская Степь – 3,94 т/га и Краса Дона – 3,92 т/га.

Двукратное использование на посевах микроудобрений позволило улучшить и без того неплохие показатели урожайности. В 2019 году рост урожайности в среднем составил 0,41 т/га; в 2020 году – 0,73 т/га; в 2021 году – 0,32 т/га (таблица 3).

Таблица 3 – Урожайность на фоне подкормки аммиачной селитрой и микроудобрением на опытном участке КФХ «Кирсанов С. М.» в Октябрьском районе Волгоградской области, х. Жутово 1 за 2022-2024 гг., т

Table 3 – Yield on the background of fertilization with ammonium nitrate and micro-fertilizers at the Kirsanov S. M. experimental site in the Oktyabrsky district of the Volgograd region, village of Zhutovo 1 for 2022-2024, t

№	Сорт / Variety	Урожайность, т/га / Yield, t/ha							
		NH ₄ NO ₃				NH ₄ NO ₃ + Микроудобрения / NH ₄ NO ₃ + Microfertilizers			
		2019	2020	2021	Среднее / Average	2019	2020	2021	Среднее / Average
1	Ермак (к) / Ermak (k)	3,71	3,54	2,66	3,30	4	3,85	2,86	3,57
2	Краса Дона / Krasa Dona	4,14	4,34	3,28	3,92	4,58	4,76	3,5	4,28
3	Донская Степь / Donskaya Step	4,28	4,25	3,28	3,94	4,7	4,7	3,53	4,31
4	Этюд / Etud	3,94	4,33	2,87	3,71	4,35	4,72	3,14	4,07
6	Лидия / Lydia	3,97	4,51	3,16	3,88	4,42	4,92	3,37	4,2
7	Среднее / Average	4,01	4,19	3,05	3,75	4,41	4,59	3,28	4,1
8	НСП ₀₅	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,23	0,2	0,21

Необходимо отметить, что использование средств интенсификации (микроудобрения) не изменило ситуацию по сортам лидерам. Донская Степь и Краса Дона показали отличный результат, с учётом почвенно-климатических условий зоны исследования, сформировав 4,31 и 4,28 тонны зерна с одного гектара соответственно (таблица 3).

Наблюдениям за изменением белковости зерна, вследствие применения микроудобрений, было отведено важное место. Известно, что ранневесенние азотные подкормки играют заметную роль в формировании высокого уровня белка в зерне. В таблице 4 мы видим, что содержание белка в зерне, в среднем, было достаточно высоким: в 2019 году – 12,4 %; в 2020 году – 12,3 %; в 2021 году – 13,4 %. Некоторое увеличение процента белка зерна в 2021 году связано с меньшей урожайностью (таблица 4). Наилучшие результаты в среднем за три года показали сорта озимой пшеницы Этюд и Донская Степь – 13,3 %.

Микроудобрения улучшили эти результаты. В 2021 году содержание белка варьировало от 11,9 до 13,8 %; в 2020 году от 12,5 до 13,9 %; 2021 году от 13,1 до 14,7 %. Самые высокие показатели, по итогам испытаний, были у сортов Этюд и Донская Степь – 14,0 %, которые заметно превысили результаты других сортов (таблица 4).

Микроудобрения улучшили эти результаты. В 2019 году содержание белка варьировало от 11,9 до 13,8 %; в 2020 году от 12,5 до 13,9 %; 2021 году от 13,1 до 14,7 %. Самые высокие показатели, по итогам испытаний, были у сортов Этюд и Донская Степь – 14,0 %, которые заметно превысили результаты других сортов (таблица 4).

Таблица 4 – Количество белка в зерне озимой пшеницы на фоне ранневесенней подкормки аммиачной селитрой и микроудобрением на опытном участке КФХ «Кирсанов С. М.» в Октябрьском районе Волгоградской области, х. Жутово 1 за 2019-2021 гг.

Table 4 – The amount of protein in winter wheat grain against the background of early spring fertilization with ammonium nitrate and micro-fertilizer "Kirsanov S. M." Oktyabrsky district of the Volgograd region, village of Zhutovo 1 for 2019-2021

№	Сорт / Variety	2019		2020		2021	
		NH ₄ NO ₃	NH ₄ NO ₃ + Микроудобрения / NH ₄ NO ₃ + Microfertilizers	NH ₄ NO ₃	NH ₄ NO ₃ + Микроудобрения / NH ₄ NO ₃ + Microfertilizers	NH ₄ NO ₃	NH ₄ NO ₃ + Микроудобрения / NH ₄ NO ₃ + Microfertilizers
1	Ермак (к) / Ermak (k)	11,1	11,9	11,8	12,5	12,7	13,1
2	Краса Дона / Krasa Dona	12,2	12,6	11,9	12,6	13,1	13,5
3	Донская Степь / Donskaya Step	13,1	13,8	12,9	13,8	13,8	14,4
4	Этюд / Etud	12,9	13,5	13	13,9	13,9	14,7
5	Лидия / Lydia	12,6	13	11,9	12,6	13,3	14
6	Среднее / Average	12,4	13	12,3	13,1	13,4	13,9
7	HCP ₀₅	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7

Выводы. Несмотря на существенный контраст погодных условий, за время проведения опыта, количество продуктивных стеблей находилось на приемлемом уровне 359-441 шт./м². Дополнительные подкормки микроудобрениями позволили улучшить этот показатель до уровня 380-471 шт./м². Наиболее полно на используемые удобрения отреагировали сорта озимой пшеницы Краса Дона – 433 шт./м² и Донская Степь – 417 шт./м², на фоне аммиачной селитры. На фоне аммиачной селитры и микроудобрений эти же сорта увеличили свои показатели до 462 шт./м² – Краса Дона и 448 шт./м² – Донская Степь.

Масса 1000 семян за годы испытаний находилась в достаточно узком интервале: 36,7-38,8 г с внесением аммиачной селитры ранней весной и 38,9-41,5 г – с дополнительной обработкой микроудобрениями. Таким образом, увеличение массы семян вследствие улучшения условий питания посевов составило в среднем 9,4 %.

Урожайность сортов, находившихся в испытании, была относительно высокой для зоны исследований: 3,05-4,19 т/га с внесением рано весной аммиачной селитры и 3,37-4,42 т/га с дополнительной двукратной некорневой подкормкой микроудобрением Полидон Био Универсальный. Наилучший результат по этому показателю был у сорта Донская Степь – 3,94 т/га и 4,37 т/га соответственно, на фоне с азотной ранневесенней подкормкой и дополнительной обработкой посевов микроудобрением.

Ранневесенняя подкормка аммиачной селитрой, в среднем за три года, способна обеспечить формирование высокого урожая озимой пшеницы с приемлемым уровнем белка в зерне. Двукратная обработка посевов микроудобрениями улучшает эти показатели. Однако на способность сорта наращивать урожайность и увеличивать содержание белка в зерне оказывают существенное влияние погодные условия и особенности присущие различным сортам. Наилучшую реакцию на весь комплекс почвенно-климатических и агрохимических факторов показали сорта озимой пшеницы Донская Степь и Этюд, содержание белка в зерне которых составило, на фоне ранневесенней азотной подкормки, 13,3 %, а при дополнительной обработке посевов микроудобрениями 14,0 %.

Conclusion. Despite the significant contrast in weather conditions, during the experiment, the number of productive stems was at an acceptable level of 359-441 pcs/m². Additional fertilization with micro fertilizers allowed improving this indicator to the level of 380-471 pcs/m². Winter wheat varieties Krasa Dona 433 pcs/m² and Don Steppe 417 pcs/m² reacted most fully to the fertilizers used, against the background of ammonium nitrate. Against the background of ammonium nitrate and micronutrient fertilizers, these same varieties increased their yields to 462 pcs/m² for Krasa Dona and 448 pcs/m² for Donskaya Step. The mass of 1,000 seeds over the years of testing was within a fairly narrow

range: 36.7-38.8 g with the application of ammonium nitrate in early spring and 38.9-41.5 g with additional treatment with micronutrient fertilizers. Thus, the increase in seed weight due to improved crop nutrition conditions was, on average, 9.4 %.

The yield of the varieties under test was relatively high for the study area: 3.05-4.19 t/ha with early spring application of ammonium nitrate, and 3.37-4.42 t/ha with additional two foliar applications of the micro-fertilizer Polidon Bio Universal. The best result in this regard was achieved by the Donskaya Step variety, which yielded 3.94 t/ha and 4.37 t/ha, respectively, with nitrogen early spring fertilization and additional micronutrient application. Early spring fertilization with ammonium nitrate, on average over three years, can ensure a high yield of winter wheat with an acceptable protein content in the grain. Two applications of micronutrient fertilizers improve these indicators. However, the ability of a variety to increase its yield and protein content in grain is significantly affected by weather conditions and the characteristics of different varieties. The varieties of winter wheat Donskaya Steppe and Etud showed the best response to the entire complex of soil, climatic, and agrochemical factors, with a protein content in grain of 13.3 % after early spring nitrogen fertilization and 14.0 % after additional treatment with micronutrient fertilizers.

Библиографический список

1. Бакаева Н. П., Салтыкова О. Л. Продуктивность озимой пшеницы в зависимости от метеоусловий и обработки почвы при многолетних исследованиях. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 4. С. 3-10.
2. Беляев А. И., Петров Н. Ю., Кузнецова Е. А., Петров Ю. Н., Некрасова Т. Н., Беляев И. В., Оконов М. М. Минеральное питание в вопросах роста урожайности озимой пшеницы на юге России. Известия НВ АУК. 2025. № 4 (82). С. 13-20.
3. Гузенко А. В. Влияние макро- и микроудобрений на урожайность и качество сортов озимой пшеницы. Агрохимический вестник. 2021. № 3. С. 78-84.
4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 352 с.
5. Зеленов А. В., Егоров Н. М., Новокрещенов И. Д. Эффективность приемов основной обработки чисто пара в повышении урожайности сортов озимой пшеницы в условиях каштановых почв Волгоградской области. Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в условиях цифровой трансформации: материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград, 2022. С. 88-95.
6. Каракотов С. Д., Прянишников А. И., Косолапов В. М. и др. Методологические подходы оценки сортов озимой пшеницы в системе экологических испытаний АО «Щелково Агрохим». Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 1. С. 9-15.
7. Ленточкин А. М. и др. Методики агрономических исследований: учебно-методическое пособие. Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2018. 172 с.
8. Михальков Д. Е., Мищенко Е. В., Раззаренов С. В. и др. Урожайность озимой пшеницы в зависимости от регуляторов роста и систем применения удобрений. Проблемы развития АПК региона. 2024. № 2 (58). С. 74-79.
9. Сапунков В. Л., Солонкин А. В., Гузенко А. В. Экологическое испытание сортов озимой пшеницы «АНЦ «Донской» в зоне темно-каштановых почв Волгоградской области. Зерновое хозяйство России. 2021. № 6 (78). С. 88-94.
10. Al-Ghazawi A. L. A., Al-Ajlouni Z. I., Al Sane K. O., Bsoul E. Y., Musallam I., Khalaf Y. B., Al-Hajaj N., Al-Tawaha A. R., Aldwairi Y., Al-Saqqar H. Yield stability and adaptation of four spring barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars under rainfed. Conditions Research on Crops. 2019. No 20 (1). Pp. 10-18.
11. Aubry S. The future of digital sequence information for plant genetic resources for food and agriculture. Front. Plant Sci. 2019. No 10. Art. 1046.
12. Cammarano D., Hawes C., Squire G., Holland J., Rivington M., Murgia T., Roggero P. P., Fontana F., Casa R., Ronga D. Rainfall and temperature impacts on barley (*Hordeum vulgare* L.) yield and malting quality in Scotland. Field Crops Research. 2019. No 241 (1). Art. 107559.
13. Yodgorov N. G. Influence of irrigation and feeding rates on sprouting and wintering of winter wheat. Вестник науки и образования. 2021. № 8 (111). Часть 1. С. 30-34.

References

1. Bakaeva N. P., Saltykova O. L. Productivity of winter wheat depending on weather conditions and soil cultivation during long-term studies. Proceedings of the Samara State Agricultural Academy. 2023 No 4. Pp. 3-10.
2. Belyaev A. I., Petrov N. Yu., Kuznetsova E. A., Petrov Yu. N., Nekrasova T. N., Belyaev I. V., Okonov M. M. Mineral nutrition in the issues of winter wheat yield growth in the south of Russia. Proceedings of the NV AUC. 2025. No 4 (82). Pp. 13-20.
3. Guzenko A. V. The influence of macro- and micro fertilizers on the yield and quality of winter wheat varieties. Agro chemical Bulletin. 2021. No 3. Pp. 78-84.
4. Dospekhov B. A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Alliance, 2014. 352 p.
5. Zelenev A. V., Egorov N. M., Novokreschenov I. D. The effectiveness of pure steam basic treatment techniques in increasing the yield of winter wheat varieties in the 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.
6. Karakotov S. D., Pryanishnikov A. I., Kosolapov V. M. et al. Methodological approaches to assessing winter wheat varieties in the environmental testing system of JSC Shchelkovo Agrochem. Bulletin of Russian Agricultural Science. 2021. No 1. Pp. 9-15.

7. Lentochkin A. M. et al. Methods of agronomic research: an educational and methodical manual. Izhevsk : Izhevsk State Agricultural Academy, 2018. 172 p.
8. Mikhalkov D. E., Mishchenko E. V., Razarenov S. V. et al. The yield of winter wheat depends on growth regulators and fertilizer application systems. Problems of agro-industrial complex development in the region. 2024. No 2 (58). Pp. 74-79.
9. Sapunkov V. L., Solonkin A. V., Guzenko A. V. Ecological testing of winter wheat varieties "ANTS "Donskoy" in the zone of dark chestnut soils of the Volgograd region. Grain industry of Russia. 2021. No 6 (78). Pp. 88-94.
10. Al-Ghzawi A. L. A., Al-Ajlouni Z. I., Al Sane K. O., Bsoul E. Y., Musallam I., Khalaf Y. B., Al-Hajaj N., Al-Tawaha A. R., Aldwairi Y., Al-Saqqar H. Yield stability and adaptation of four spring barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars under rainfed. Conditions Research on Crops. 2019. No 20 (1). Pp. 10-18.
11. Aubry S. The future of digital sequence information for plant genetic resources for food and agriculture. Front. Plant Sci. 2019. No 10. Art. 1046.
12. Cammarano D., Hawes C., Squire G., Holland J., Rivington M., Murgia T., Roggero P. P., Fontana F., Casa R., Ronga D. Rainfall and temperature impacts on barley (*Hordeum vulgare* L.) yield and malting quality in Scotland. Field Crops Research. 2019. No 241 (1). Art. 107559.
13. Yodgorov N. G. Influence of irrigation and feeding rates on sprouting and wintering of winter wheat. Bulletin of Science and Education. 2021. No 8 (111). Part 1. Pp. 30-34.

Информация об авторах

Сапунков Виталий Леонидович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97), SPIN-code: 7726-0004, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2425-2611>, e-mail: svl-01@mail.ru

Гузенко Алексей Юрьевич, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97), SPIN-code: 5246-9350, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3852-5358>, e-mail: guzenko.family@mail.ru

Authors' Information

Sapunkov Vitaly Leonidovich, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation, Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), SPIN-code: 7726-0004, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2425-2611>, e-mail: svl-01@mail.ru

Guzenko Aleksey Yurievich, Junior Researcher, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation, Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), SPIN-code: 5246-9350, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3852-5358>, e-mail: guzenko-ay@vifanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-26

THE CARROTS GROWTH AND DEVELOPMENT IN THE ASTRACHAN REGION TERMS USING THE NATURAL GROWTH REGULATORS

¹Sarychev A. N., ²Anishko M. Yu., ²Akatova I. O.

¹Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

²Astrakhan State University named after V. N. Tatishchev
Astrakhan, Russian Federation

Corresponding author E-mail: zeit1@yandex.ru

Received 05.02.2026

Submitted 26.03.2026

Abstract

Introduction. To obtain stable and maximum yields, improve the quality of vegetable products, and reduce production costs, various methods of stimulating plant growth and development are actively implemented. Currently, the use of natural plant growth regulators based on amino acids, seaweed extract, acids, and others is becoming more relevant and scientifically justified in the cultivation of table carrots. **Object.** The object of research is the zoned hybrids of table carrots developed by foreign breeders. **Materials and methods.** The research was conducted on a trial plot owned by A. E. Karagushev in the Kharabali district of the Astrakhan region. **Results and conclusions.** With the introduction of modern agricultural techniques, there are promising opportunities for growing carrots in the "risky" farming environment. When growing table carrots on brown semi-desert soils in the Astrakhan region using drip irrigation, all the studied natural growth regulators had a positive effect on yield, and the Biodux preparation increased the yield of the Caspian F1 hybrid by 5.9 t/ha or 7.5 % compared to the control.

Keywords: carrots, carrot hybrids, carrot yield, carrot marketability, plant growth regulators.

Citation. Sarychev A. N., Anishko M. Yu., Akatova I. O. The carrots growth and development in the Astrakhan region terms using the natural growth regulators. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 237-243 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-26.

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 submitted.

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

УДК 635.132:631.811.98(470.46)

**РОСТ И РАЗВИТИЕ МОРКОВИ СТОЛОВОЙ В УСЛОВИЯХ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИРОДНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА**¹Сарычев А. Н., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент²Анишко М. Ю., доктор сельскохозяйственных наук, профессор²Акатова И. О., аспирант¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева»

г. Астрахань, Российская Федерация

Актуальность. Для получения стабильных и максимальных урожаев, высокого качества овощной продукции, а также снижения затрат на их производство, активно внедряют различные методы стимуляции роста и развития растений. В настоящее время более актуальным и научно обоснованным при возделывании моркови столовой становится применение природных регуляторов роста растений на основе аминокислот, экстракта морских водорослей, гуминовых кислот и других. **Объект.** Объектом исследований представлены районированные гибриды моркови столовой зарубежной селекции. **Материалы и методы.** Исследования проводились на опытном участке на землепользовании ИП Карагушева А. Е. в Харабалинском районе Астраханской области. **Результаты и выводы.** С появлением современных приёмов агротехники открываются перспективы возделывания моркови столовой в условиях «рискованного» земледелия. При выращивании моркови столовой на бурых полупустынных почвах Астраханской области при капельном орошении все изучаемые природные регуляторы роста оказали положительное влияние на урожайность, а препарат Биодукс способствовал повышению урожайности на гибриде Каспий F1 на 5,9 т/га или на 7,5 % в сравнении с контролем.

Ключевые слова: морковь столовая, гибриды моркови столовой, урожайность моркови столовой, товарность моркови столовой, регуляторы роста растений.

Цитирование. Сарычев А. Н., Анишко М. Ю., Акатова И. О. Рост и развитие моркови столовой в условиях Астраханской области с применением природных регуляторов роста. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 237-243. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-26.

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. Первостепенная задача современного сельского хозяйства Российской Федерации – это обеспечение продовольственной безопасности страны. Именно отрасль овощеводства способно решить данную задачу в силу стабильно высокого спроса на свежие овощи и продукцию их переработки [5].

Значимость овощей как источника полезных витаминов, минералов, природных антиоксидантов в системе здорового питания населения постоянно возрастает, о чем свидетельствует динамичный рост объемов производства овощей в мире [3]. Традиционно высокий вклад в развитие овощного направления в нашей стране вносят Южный и Северо-Кавказский федеральные округа, являющиеся лидерами по объемам возделывания овощной продукции.

Особое внимание заслуживает Астраханская область, характеризующаяся положительным вегетационным периодом и большим количеством солнечных дней, что позволяет успешно культивировать овощи с высокими показателями урожайности и качества. Среди широкого разнообразия овощных культур на территории Астраханского региона особое значение имеет морковь столовая. Она весьма востребована, поскольку ее корнеплоды – источник биологически активных веществ, минеральных солей, витаминов, необходимых для полноценного питания человека [12, 14]. Посевная площадь, отведенная под возделывания моркови столовой в Астраханской области не превышает и 0,6 тыс. га. Возделывание культуры трудоемкий процесс и, несмотря на ограниченные площади возделывания, регион демонстрирует эффективность производства, достигая средней урожайности порядка 50-53 т/га. Потенциал продуктивности гибридов моркови столовой весьма высок, но реализуется в лучшем случае на 35-41 % [4].

В связи с этим, на этапе производства моркови столовой актуальным является увеличение урожайности культуры. В современных экономических условиях особенно важна разработка малозатратных и эффективных приёмов возделывания овощных культур. Одним из таких приёмов является применение регуляторов роста растений, в частности, природного происхождения. Это немногочисленная, но чрезвычайно важная группа регуляторов роста. Природные регуляторы роста растений обладают рядом преимуществ перед синтетическими: быстрая биоразлагаемость, низкие нормы дозирования, устойчивость к неблагоприятным условиям, болезням и вредителям, при этом они являются экологически безопасными [9].

Материалы и методы. Полевые опыты проводились в период 2023-2025 гг. на полях индивидуального предпринимателя Карагушева А. Е., расположенного в Харабалинском районе Астраханской области. Территория проведения опытов представлена бурыми полупустынными почвами и характеризуются следующими показателями: содержанием гумуса (по Тюрину) в пахотном слое в пределах 0,9-1,0 %, подвижных форм фосфора – 16-18 мг/кг, обменного калия – 306-314 мг/кг, щелочногидролизующего азота – 32-35 мг/га. Рельеф опытного участка выровненный.

Система агротехнических приёмов возделывания моркови столовой в условиях Астраханской области в исследованиях применялась с учётом региональных особенностей. В течение всех лет исследований в качестве предшествующей культуры был лук репчатый (пар – лук репчатый – морковь столовая). Объекты исследований в опыте представлены районированными гибридами зарубежной селекции: Абако F₁, Каспий F₁, Кордоба F₁ и Тангерина F₁. Норма высева, рекомендованная для данного хозяйства – 750 тыс. шт./га. Посев осуществлялся сеялкой точного посева Agricola Italiana по гребневой технологии, где ширина между ними – 0,75 м. Способ посева ленточный с формированием двух посевных строк. Морковь столовую сеяли в первой-второй декадах мая, убирали после 25 сентября. Орошение – капельное. Повторность в опыте трехкратная. Площадь опытного участка – 355 м². Площадь учётная – 20,25 м².

Варианты опыта:

Фактор А – гибриды, приспособленные к определенно-природным климатическим условиям с высокими технологическими и вкусовыми качествами [1].

Фактор В – приёмы возделывания моркови столовой с применением природных регуляторов роста растений. Варианты по фактору В:

В1 – Без обработки (контроль);

В2 – Вэзва – фолиарная обработка в норме 0,5 л/га в фазу 3-4 листьев и начало формирования корнеплода, расход рабочей жидкости 300 л/га;

В3 – Биодукс – фолиарная обработка в норме 5 мл/га в фазу смыкания, расход рабочей жидкости 300 л/га;

В4 – Амицид – корневая подкормка в норме 1 л/га в фазу 2-3 настоящих листа, 3-4 настоящих листа и начало формирования корнеплода.

Наблюдения проводили в течение всего вегетационного периода, уборку и учёт урожайности моркови столовой осуществляли при наступлении полной технической спелости сельскохозяйственной культуры [10].

Таким образом, исследования позволили изучить влияние природных регуляторов роста на урожайность моркови столовой, что может быть использовано, как современный агротехнический прием оптимизации агротехнических мероприятий и повышения эффективности производства [13].

Результаты и обсуждение. Сельскохозяйственные культуры от момента прорастания семян и на протяжении всего вегетационного периода подвергаются абиотическим факторам (свет, температура, влажность, осадки, ветер и др.). Данные метеорологические наблюдения выступают важнейшим фактором, оказывающим непосредственное воздействие на выращивание моркови столовой в Астраханской области. Значительные колебания температуры, количества осадков и относительной влажности воздуха подвергают культуру стрессу, негативно влияя на рост и развитие, нарушая физиологические процессы. Стрессовые факторы, как известно, способны существенно снизить качество и объём урожая. Общие метеорологические данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Метеорологические данные за вегетационный период в 2023-2025 г, Харабалинский район
Table 1 – Meteorological data for the growing season in 2023-2025, Kharabali District

Метеорологические данные / Meteorological data	2023 год / year	2024 год / year	2025 год / year
Сумма атмосферных осадков, мм / The amount of precipitation, mm	139,1	34,4	113,8
Среднесуточная температура воздуха, °C / Average daily air temperature, °C	22,6	22,6	22,1
Относительная влажность воздуха, % / Relative humidity of the air, %	51,9	42,7	52,4

Как видно из таблицы 1, вегетационные периоды в годы исследований различались по погодным условиям. Анализируя осадки, видно существенное колебание. Если в 2023 году сумма атмосферных осадков составила 139,1 мм, то в следующем году этот показатель резко снизился до 34,4 мм, однако в 2025 году мы наблюдали в количестве 113,8 мм. Среднесуточная температура воздуха оставалась практически неизменной на протяжении исследуемых лет, варьируясь незначительно вокруг значения 22,6 °C в первые два года и немного снижаясь до 22,1 °C в 2025 году.

Более всего атмосферных осадков выпало в 2023 году. Относительная влажность воздуха демонстрировала аналогичные колебания, увеличившись с 42,7 % в 2024 году до 52,4 % в 2025 году.

Применение природных регуляторов роста растений позволит повысить устойчивость к неблагоприятным факторам возделывания, увеличению продуктивности, улучшению товарных характеристик и внешнего вида продукции.

Урожайность – главный показатель качества применения того или иного агротехнического приема, определяется гибридными особенностями, а также современным выполнением технологических операций [6, 12]. Проведенные нами исследования по изучению влияния природных регуляторов роста растений на урожайность гибридов моркови столовой показали результаты, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Оценка урожайности гибридов моркови столовой в зависимости от применения регуляторов роста растений (среднее за 2023-2025 гг.)
Table 2 – Yield assessment of table carrot hybrids depending on the use of plant growth regulators (average for 2023-2025)

Фактор А – Гибрид / Factor A is a Hybrid	Фактор В – регулятор роста / Factor B is a growth regulator	Общая урожайность, т/га / Total yield, t/ha	Товарность, % / Marketability, %	Средняя масса корнеплода, г / Average weight of the root crop, g	Товарная урожайность, т/га / Commercial yield, t/ha
Абако F ₁ / Abako F ₁	B1	75,6	92	103,15	69,6
	B2	77,6	93	174,21	73,2
	B3	77,2	92	174,10	72,3
	B4	76,2	92	163,85	70,2
Каспий F ₁ / Kaspil F ₁	B1	78,2	92	96,96	74,9
	B2	84,1	92	156,44	77,4
	B3	84,6	93	159,63	78,7
	B4	83,3	92	149,77	76,6
Кордоба F ₁ / Kordoba F ₁	B1	78,9	92	101,48	72,6
	B2	83,6	93	170,31	77,8
	B3	83,3	93	167,52	77,5
	B4	82,7	93	160,54	76,9
Тангерина F ₁ / Tangerina F ₁	B1	75,2	91	90,33	68,4
	B2	80,5	92	165,58	74,0
	B3	81,7	93	166,47	75,9
	B4	78,8	92	156,45	72,5
НСП ₀₅ фактор А / Factor A					1,56
НСП ₀₅ фактор В / Factor B					1,66

Анализ полученных трехлетних исследований показывает положительное влияние регуляторов роста растений на товарную урожайность во всех вариантах по отношению к контролю. Наиболее высокая урожайность в среднем за годы исследований наблюдалась

на фоне регулятора роста Биодукс у гибрида Каспий F₁ – 84,6 т/га, что выше контроля на 6,4 т/га. Заметная прибавка была и на фоне регулятора роста растений Вэрва у гибрида Кордоба F₁ – 83,6 т/га, что выше относительно контроля на 4,7 т/га.

Современный рынок выдвигает четкие требования к качеству продукции овощных корнеплодов, основным критерием которого является высокая товарность – не ниже 97%. Анализ влияния регуляторов роста на урожайность гибридов моркови столовой показал значимость данного показателя. Однако для комплексной оценки эффективности и возделывания культуры в конкретных условиях необходимо дополнительно учитывать выход товарной продукции. В целом, исследования свидетельствуют о положительной динамике показателя (рисунок 1). Экспериментальные данные демонстрируют устойчивый рост товарной урожайности во всех опытных вариантах по сравнению с контрольными образцами, что в очередной раз подтверждает эффективность применения исследуемых регуляторов роста в технологии возделывания моркови столовой на бурых полупустынных почвах Астраханской области. Наибольший выход товарных корнеплодов наблюдался в варианте с применением регулятора роста Биодукс у гибрида Каспий F₁ – 93 % или 78,7 т/га. Также наблюдается положительный прирост показателя у гибрида Кордоба F₁ на фоне Вэрва, что выше контроля на 5,2 т/га.

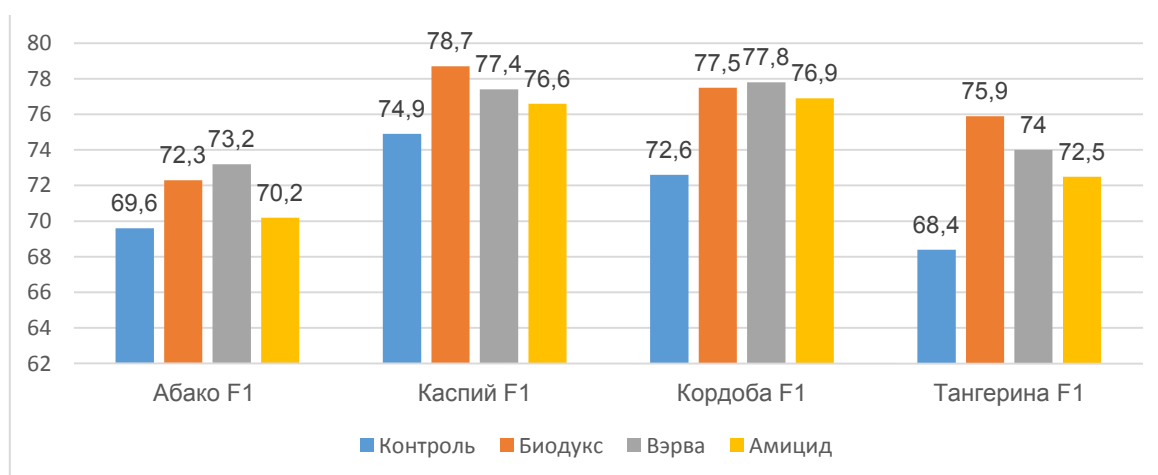


Рисунок 1 – Динамика товарной урожайности, среднее 2023-2025 гг.

Figure 1 – Dynamics of commercial yield, average 2023-2025

Урожайность моркови столовой во многом зависит от массы корнеплодов. Применение природных регуляторов роста при возделывании моркови столовой оказало положительное влияние на показатель массы корнеплода. Наибольшая средняя масса одного корнеплода за годы исследований была установлена у гибрида Абако F₁ (Вэрва), что выше контроля на 71,06 г. Также хороший результат можно наблюдать от применения регулятора роста Биодукс у гибрида Кордоба F₁ – 170,31 г, прибавка к контролю составила 68,83 г.

Стоит отметить, что кроме повышения урожайности у всех гибридов под действием природных регуляторов роста увеличилось количество стандартных корнеплодов в сравнении с контролем. Товарность в среднем составила 94 %, что является обязательным условием условий современного рынка.

Заключение. Для стабильного роста производства моркови столовой необходимо не только расширять посевные площади, но и повышать урожайность за счет внедрения современных технологий, которые должны быть ресурсосберегающими и экологически безопасными. Природные регуляторы роста растений, воздействуя на процессы жизнедеятельности культуры, позволяют эффективно использовать все, что запланировано генотипом, но в силу причин осталось нереализованным. Они помогают растению повысить иммунитет, снизить отрицательное воздействие факторов окружающей среды, полнее раскрыть потенциал продуктивности сельскохозяйственных культур. Это подтвердили результаты исследований, в результате которых было установлено, что применение регулятора роста Биодукс способствовало повышению урожайности на гибриде Каспий F₁ на 5,9 т/га или на 7,5 % в сравнении с контролем.

Conclusion. In order to achieve stable growth in the production of table carrots, it is necessary not only to expand the area under cultivation, but also to increase the yield by implementing modern technologies that are resource-saving and environmentally friendly. Natural plant growth regulators, by influencing

the vital processes of the crop, allow for the effective use of all that was planned by the genotype but remained unfulfilled due to various reasons. They help the plant to enhance its immunity, reduce the negative impact of environmental factors, and fully unlock the potential of crop productivity. This was confirmed by the results of studies, which showed that the use of the Biodux growth regulator increased the yield of the Caspian F1 hybrid by 5.9 t/ha or 7.5 % compared to the control.

Библиографический список

1. Бояркин Е. В., Абрамова И. Н. Изучение перспективных сортов столовой моркови в условиях Иркутской области. Вестник ИрГСХА. 2015. № 67. С. 13-17.
2. Васильев И. П. Урожайность столовой моркови при различных дозах применения регуляторов роста Ростмомент. Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. 2019. С. 8-13.
3. Гиш Р. А. Овощеводство открытого грунта юга России. Состояние и тенденции развития. Овощи России. 2021. № 4. С. 5-10.
4. Грязева В. И., Корягина Н. В., Чекаев Н. П., Кабунин А. А. Влияние комплексных водорастворимых удобрений с микроэлементами в хелатной форме на продуктивность моркови. Нива Поволжья. 2023. № 4 (68). С. 1001.
5. Дубовицкий А. А., Климентова Э. А., Григорьева Л. В. Анализ современного состояния и перспективы развития овощеводства России в контексте совершенствования общественного разделения труда. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. № 4. С. 147-162.
6. Сычёва И. В., Сычев С. М., Шпилёв С. Н. Особенности выращивания столовой свеклы и моркови в условиях юго-западной части Центрального региона Российской Федерации. Аграрная наука. 2022. № 362 (9). С. 161-166.
7. Рабинович Г. Ю., Фомичева Ю. Д. Эффективность жидкофазных биосредств при возделывании моркови на торфяных почвах. Известия Национальной академии наук Беларуси. 2021. № 3. С. 319-329.
8. Бояркин Е. В., Абрамова И. Н. Изучение перспективных сортов столовой моркови в условиях Иркутской области. Вестник ИрГСХА. 2015. № 67. С. 13-17.
9. Мосякина О. И., Лексикова В. В. Стимуляторы корнеобразования и регуляторы роста растений. Научный журнал молодых ученых. 2016. № 1 (6). С. 94-97.
10. Мухина М. Т., Коршунов А. А., Ламмас М. Е., Вознесенская Т. Ю. Эффективность регуляторов роста в посевах моркови в условиях Нижнего Поволжья. Плодородие. № 1. С. 14-16.
11. Селиверстова А. П., Щербакова Н. А., Климова И. И. Влияние биологически активных веществ на урожайность столовой моркови в Астраханской области. Достижение молодых ученых в развитии сельскохозяйственной науки и АПК. 2019. С. 95-98.
12. Чупина М. П., Степанов А. Ф. Оценка продуктивности и сохранности корнеплодов сортов и гибридов моркови столовой в условиях омского Прииртышья. Вестник Омского ГАУ. 2022. № 1 (45). С. 53-63.
13. Щепотко Н. А., Кружилин И. П., Боcharникова О. В. Зависимость урожайности белокочанной капусты как результат агротехнических приёмов – обработки почвы, минеральных удобрений и регулирование водного режима. Известия НВ АУК. 2025. № 6 (84). С. 293-305.
14. Choudhary G. et al. Effect of potassium and micronutrients on growth and quality of carrot (*Daucus carota* L.). International Journal of Chemical Studies. 2020. No 8 (5). Pp. 1967-1969.

References

1. Boyarkin E. V., Abramova I. N. Study of Promising Varieties of Table Carrots in the Irkutsk Region. Vestnik IrGSKHA. 2015. No 67. Pp. 13-17.
2. Vasilyev I. P. Yield of Table Carrots at Various Doses of Growth Regulators Rostmoment. Scientific and Technical Progress in Agricultural Production. 2019. Pp. 8-13.
3. Gish R. A. Open-field vegetable growing in the south of Russia. State and development trends. Vegetables of Russia. 2021. No 4. Pp. 5-10.
4. Gryazeva V. I., Koryagina N. V., Chekaev N. P., Kabunin A. A. Influence of complex water-soluble fertilizers with microelements in chelated form on the productivity of carrots. Niva of the Volga region. 2023. No 4 (68). Art. 1001.
5. Dubovitsky A. A., Klimentova E. A., Grigorjeva L. V. Analysis of the current state and prospects for the development of vegetable growing in Russia in the context of improving the social division of labor. Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2023. No 4. Pp. 147-162.
6. Sycheva I. V., Sychev S. M., Shpilev S. N. Features of growing table beet and carrots in the conditions of the southwestern part of the Central region of the Russian Federation. Agrarian Science. 2022. No 362 (9). Pp. 161-166.
7. Rabinovich G. Yu., Fomicheva Yu. D. Effectiveness of liquid-phase bio stimulants in carrot cultivation on peat soils. Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. 2021. No 3. Pp. 319-329.
8. Boyarkin E. V., Abramova I. N. Study of Promising Varieties of Table Carrots in the Irkutsk Region. Proceedings of the IrGSKHA. 2015. No 67. Pp. 13-17.
9. Mosyakina O. I., Leksikova V. V. Root Formation Stimulants and Plant Growth Regulators. Scientific Journal of Young Scientists. 2016. No 1 (6). Pp. 94-97.
10. Mukhina M. T., Korshunov A. A., Lammas M. E., Voznesenskaya T. Yu. Effectiveness of Growth Regulators in Carrot Crops in the Lower Volga Region. Fertility. No 1. Pp. 14-16.
11. Seliverstova A. P., Shcherbakova N. A., Klimova I. I. Influence of biologically active substances on the yield of table carrots in the Astrakhan Region. Achievement of young scientists in the development of agricultural science and agriculture. 2019. Pp. 95-98.
12. Chupina M. P., Stepanov A. F. Assessment of productivity and preservation of root crops of canteen carrot varieties and hybrids in the conditions of the Omsk Irtysh region. Bulletin of the Omsk State Agrarian University. 2022. No 1 (45). Pp. 53-63.
13. Shchepotko N. A., Kruzhilin I. P., Bocharnikova O. V. Dependence of white cabbage yield as the result of agricultural techniques is tillage, mineral fertilizers and regulation of the water regime. Proceedings of the NVAUK. 2025. No 6 (84). Pp. 293-305.
14. Choudhary G. et al. Effect of potassium and micronutrients on growth and quality of carrot (*Daucus carota* L.). International Journal of Chemical Studies. 2020. No 8 (5). Pp. 1967-1969.

Информация об авторах

Сарычев Александр Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: zeit1@ya.ru

Анишко Михаил Юрьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева (Российская Федерация, 414000, г. Астрахань, ул. Татищева, 20А), e-mail: mihaianisko640@gmail.com

Акатова Ирина Олеговна, аспирант, ФГБОУ ВО Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева (Российская Федерация, 414000, г. Астрахань, ул. Татищева, 20А), e-mail: agrar07@rambler.ru

Authors' Information

Sarychev Aleksandr Nikolaevich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskii Ave., 26), e-mail: zeit1@ya.ru

Anishko Mikhail Yuryevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Astrakhan State University named after V. N. Tatishchev (Russian Federation, 414000, Astrakhan, Tatishchev str., 20A), e-mail: mihaianisko640@gmail.com

Akatova Irina Olegovna, Postgraduate student, Astrakhan State University named after V. N. Tatishchev (Russian Federation, 414000, Astrakhan, Tatishchev str., 20A), e-mail: agrar07@rambler.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-27

THE OCCURRENCE OF THE WHITE RUST ON THE SPRING OILSEED CROPS OF THE BRASSICACEAE FAMILY IN THE WESTERN CAUCASUS STEPPE ZONE

Serdyuk O. A.

*V. S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops
Krasnodar, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: oserduk@mail.ru

Received 06.11.2025

Submitted 25.12.2025

Summary

The article presents the results of a study of the dependence of the frequency of occurrence of white rust in spring rapeseed, false flax, and white mustard on weather factors. It has been established that this dependence is positive (direct) and linear in nature. A strong, direct, linear correlation with a simple correlation coefficient of 0.99 was also found between the degree of plant affection and the disease harmfulness.

Abstract

Introduction. White rust, which harms the yield of oil crops in the Brassicaceae family, is caused by the fungus-like organism *Albugo candida* (Pers.) Kuntze (class Oomycetes). This disease affects sowings in different countries, leading to losses in the seed yield of these crops ranging from 20 to 90 %. This study aimed to determine the frequency of white rust occurrence in spring rapeseed, false flax, and various types of mustard plants in the steppe zone of Western Ciscaucasia, as well as the harmfulness of the disease on these crops. **Object.** Varieties of spring crops: rapeseed Tavriy, brown mustard Nika, white mustard Ruslana, black mustard Niagara, false flax Kristall bred at V. S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops. **Materials and methods.** The research was conducted from 2016 to 2023 at V. S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops (VNIIMK) in the seed nurseries. The frequency of plants affected by white rust was calculated as the ratio of affected to healthy plants, expressed as a percentage. We used the simple correlation method to statistically process the data and determine the strength of the connection between the frequency of occurrence of plants affected by white rust and weather factors (average temperature and relative humidity), as well as between the degree of plant affection by the disease and its harmfulness. **Results and conclusions.** A strong, direct, linear correlation was found between the frequency of white rust occurrence on plants of spring rapeseed and white mustard in the steppe zone of the Western Ciscaucasia and weather factors (average temperature and relative air humidity), with a simple correlation coefficient of 0.86-0.98. White rust caused significant harm to spring rapeseed, white mustard, and false flax: from 31.3-33.3 % at an affection degree of 1 point to 100 % at an affection degree of 3 points. A strong, linear, direct correlation was also found between the degree of plant affection and the harmfulness of the disease, with a simple correlation coefficient of 0.99.

Keywords: white rust, oilseeds, spring oilseeds, diseases of oilseeds, frequency of occurrence of affected plants, spring rapeseed, white mustard, spring camelina.

Citation. Serdyuk O. A. The occurrence of the white rust on the spring oilseed crops of the *Brassicaceae* family in the western Caucasus steppe zone. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 243-251 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-27.

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

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

УДК 632.4:633.853

**ПРОЯВЛЕНИЕ БЕЛОЙ РЖАВЧИНЫ НА ЯРОВЫХ МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУРАХ
СЕМЕЙСТВА КАПУСТНЫЕ В УСЛОВИЯХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ****Сердюк О. А., кандидат сельскохозяйственных наук***ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта»
г. Краснодар, Российская Федерация*

Актуальность. Белая ржавчина, наносящая вред урожаю масличных культур семейства Капустные, вызывается грибоподобным организмом *Albugo candida* (Pers.) Kuntze (класс Oomycetes). Поражение посевов болезнью в разных странах приводит к потерям урожая семян этих культур от 20 до 90 %. Целью исследования являлось определение в условиях степной зоны Западного Предкавказья частоты встречаемости пораженных белой ржавчиной растений яровых рапса, рыжика и разных видов горчицы и вредоносности болезни на этих культурах. **Объект.** Сорта яровых культур: рапса Таврион, горчицы сарептской Ника, горчицы белой Руслана, горчицы черной Ниагара, рыжика Кристалл селекции ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК. **Материалы и методы.** Исследования проводили в 2016-2023 гг. во ВНИИМК на семеноводческих питомниках сортов. Частоту встречаемости пораженных белой ржавчиной растений рассчитывали как соотношение больных растений к здоровым, выраженное в процентах. Статистическую обработку данных проводили с помощью метода простой корреляции, определяли тесноту связи между частотой встречаемости пораженных белой ржавчиной растений и погодными факторами (средней температурой и относительной влажностью воздуха), а также между степенью поражения растений болезнью и ее вредоносностью. **Результаты и выводы.** Между частотой встречаемости пораженных белой ржавчиной растений яровых рапса и горчицы белой в условиях степной зоны Западного Предкавказья и погодными факторами (средней температурой и относительной влажностью воздуха) выявлена сильная, прямолинейная, прямая корреляционная зависимость, коэффициент простой корреляции составил 0,86-0,98. Вредоносность белой ржавчины на яровых рапсе, горчице белой и рыжике была высокой: от 31,3-33,3 % при степени поражения 1 балл до 100 % при степени поражения 3 балла. Между степенью поражения растений и вредоносностью болезни также установлена сильная, прямолинейная, прямая корреляционная зависимость с коэффициентом простой корреляции 0,99.

Ключевые слова: белая ржавчина, масличные культуры, яровые масличные культуры, болезни масличных культур, частота встречаемости пораженных растений, рапс яровой, горчица белая, рыжик яровой.

Цитирование. Сердюк О. А. Проявление белой ржавчины на яровых масличных культурах семейства Капустные в условиях степной зоны Западного Предкавказья. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 243-251. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-27.

Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Автор настоящей статьи ознакомился и одобрил представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Белая ржавчина, наносящая вред урожаю масличных культур семейства Капустные, вызывается грибоподобным организмом *Albugo candida* (Pers.) Kuntze (класс Oomycetes), который является космополитом и распространен во многих частях света, где выращивают рапс, рыжик, разные виды горчицы: в Европе, Азии, Африке, Австралии, Северной, Центральной и Южной Америке. Этот грибоподобный организм не зарегистрирован в северной Скандинавии, северной и центральной Сибири, северном Китае, западной и центральной Африке, на Аляске, северной и центральной Канаде, а также на юге и западе Южной Америки [1, 2].

Симптомы белой ржавчины выявляются на всех надземных частях растений-хозяев. Сначала отмечается развитие анаморфной (бесполой) стадии патогена на поверхности органов растений: образуются молочно-белые, выпуклые пустулы, которые в начале своего развития закрыты, позже лопаются, что приводит к выходу порошкообразного содержимого – зооспор, являющихся источником вторичного инфицирования растений. Часто развитие *A. candida* в этой стадии приводит к началу образования гипертрофии и гиперплазии органов растения, которые усиливаются при переходе патогена в телеоморфную (половую) стадию, развивающуюся внутри пораженных органов с образованием ооспор, что приводит к интенсивному разрастанию их тканей и увеличению их размеров [1, 3].

Белая ржавчина представляет собой потенциальную угрозу для урожая семян маслических культур семейства Капустные, снижая количественные и ухудшая их качественные показатели [4, 5, 6]. Так, поражение посевов яровых рапса и горчицы сарептской болезнью в разных странах приводит к потерям урожая семян этих культур от 20 до 90 % [7], по другим данным, от 20 до 60 % [3, 5].

Изучение поражения белой ржавчиной яровых рапса и горчицы сарептской в разных штатах Индии показало, что на распространенность и развитие болезни влияли метеорологические условия, складывающиеся в течение вегетационного периода культур: температура, влажность воздуха и т. д. По результатам исследований 2014-2015 гг., распространенность болезни составляла от 15,5 до 20,3 %, а в последние годы из-за изменений климата происходит увеличение как распространенности, так и вредоносности болезни [8, 9].

Интенсивному первичному заражению растений ооспорами патогена благоприятствует средняя температура воздуха 10-20 °С и относительная влажность воздуха более 70 % [3]. Пораженные гипертрофированные ткани стебля устойчивы к разложению, и выход ооспор из них может занять 3-4 года. Ткани листьев разлагаются достаточно быстро, поэтому выход ооспор из них можно ожидать на следующий год [10].

В современных доступных литературных источниках отсутствует информация о распространенности и вредоносности белой ржавчины на яровых маслических культурах семейства Капустные, их зависимости от разных факторов в условиях степной зоны Западного Предкавказья, что необходимо знать для разработки эффективных защитных мер против болезни в посевах этих культур.

Целью исследования являлось определение в условиях степной зоны Западного Предкавказья частоты встречаемости пораженных белой ржавчиной растений яровых рапса, рыжика и разных видов горчицы и вредоносности болезни на этих культурах.

Материалы и методы. Исследования проводили в 2016-2023 гг. во ВНИИМК на семеноводческих питомниках сортов яровых культур: рапса Таврион, горчицы сарептской Ника, горчицы белой Руслана, горчицы черной Ниагара, рыжика Кристалл селекции ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК. Учеты поражения посевов рапса и разных видов горчицы белой ржавчиной проводили в фазе цветения культур, а рыжика – в фазе зеленого стручка, когда отчетливо были видны проявления симптомов болезни на растениях.

Во все годы исследований фиксировали среднюю температуру воздуха и количество выпавших осадков со второй декады мая по третью декаду июня, делая акцент на третью декаду мая – первую декаду июня (полное цветение горчицы белой, горчицы черной и рыжика) и вторую декаду июня (полное цветение растений рапса, горчицы сарептской).

Частоту встречаемости пораженных белой ржавчиной растений рассчитывали как соотношение больных растений к здоровым, выраженное в процентах, используя градацию:

- отсутствие пораженных болезнью растений на участке;
- + – низкая (до 10 % пораженных растений);
- ++ – средняя (от 11 до 50 % пораженных растений);
- +++ – высокая (51 % пораженных растений и более).

Вредоносность белой ржавчины (потери урожая семян с одного растения, снижение продуктивности одного растения) изучали в годы проявления симптомов болезни на изучаемых культурах. В фазе цветения яровых рапса и горчицы белой, а также фазе зеленого стручка рыжика ярового этикетировали по 10 растений на каждый балл поражения и по 10 растений без симптомов поражения болезнью. Для определения степени поражения растений маслических культур семейства Капустные белой ржавчиной нами разработана шкала:

0 баллов – растение без симптомов болезни;

1 балл – уродливые цветоносы с подушечками спороношения патогена находятся на одной ветви;

2 балла – уродливые цветоносы с подушечками спороношения патогена находятся на двух-трех ветвях;

3 балла – уродливые цветоносы с подушечками спороношения патогена на всех ветвях, полное отсутствие сформированных цветков и стручков на растении.

После созревания урожая семян проводили отбор этикетированных растений, учитывали массу семян с каждого отдельного растения, количество стручков на одном растении, рассчитывали среднюю массу семян с одного стручка каждого растения. Потери урожая семян с одного пораженного растения (вредоносность болезни) рассчитывали по формуле (1):

$$B = \frac{(m_3 - m_6)}{m_3} 100 \%, \quad (1)$$

где m_3 – средняя масса семян в одном стручке здорового растения, г; m_6 – средняя масса семян в одном стручке пораженного растения, г.

Полученные результаты мы подразделили на группы:

- низкая вредоносность – до 15,0 %;
- средняя вредоносность – 15,1-30,0 %;
- высокая вредоносность – 30,1 % и выше.

Выделение изолятов патогена в чистую культуру из пораженных болезнью тканей растений проводили в лабораторных условиях по общепринятым методикам в изложении О. А. Сердюк и др. (2019) [11] и идентифицировали с использованием микроскопа Motic BA300 при увеличении 400х.

Статистическую обработку данных проводили с помощью метода простой корреляции, определяли тесноту связи между частотой встречаемости пораженных белой ржавчиной растений и погодными факторами (средней температурой и относительной влажностью воздуха), а также между степенью поражения растений болезнью и ее вредоносностью. В ходе анализа рассчитывали коэффициенты простой корреляции r . При $r < 0,3$ зависимость между признаками слабая, $r = 0,3-0,7$ – средняя, а при $r > 0,7$ – сильная. Для доказательства достоверности данных находили критерий существенности коэффициентов корреляции t_r и доверительный интервал для генерального линейного коэффициента корреляции ρ ($r - \sigma < \rho < r + \sigma$).

Обработку многолетних данных по урожаю семян с пораженных в разной степени белой ржавчиной растений осуществляли с применением t -критерия Стьюдента по формуле (2):

$$t = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}} \quad (2)$$

где M_1 – среднее арифметическое первой выборки; M_2 – среднее арифметическое второй выборки; δ_1 – стандартное отклонение первой выборки; δ_2 – стандартное отклонение второй выборки; N_1 – объем первой выборки; N_2 – объем второй выборки.

Результаты и обсуждение. В годы исследований проведен фитосанитарный мониторинг посевов яровых масличных культур семейства Капустные: рапса, горчицы сарептской, горчицы белой, горчицы черной и рыжика. Пораженные возбудителем болезни растения выявлены на рапсе, горчице белой и рыжике. На горчице сарептской и горчице черной в 2016-2023 гг. признаки проявления болезни на растениях не отмечены.

Кроме этого, симптомы белой ржавчины в анаморфной стадии развития *A. candida* обнаружены на сорном растении портулак огородный (*Portulaca oleracea* L.), произрастающем в защитном лесонасаждении и являющимся резерватом инфекционного начала возбудителя болезни (рисунок 1).



Рисунок 1 – Симптомы белой ржавчины на портулаке огородном (ориг.)

Figure 1 – Symptoms of white rust on purslane (orig.)

Признаки проявления белой ржавчины на растениях рыжика ярового во все годы исследований отмечены в фазе зеленого стручка, яровых рапса и горчицы белой – в фазе полного цветения культур. У горчицы белой фаза цветения начинается на 10-14 суток

раньше, чем у рапса, и поражение растений этой культуры происходило в более ранние сроки: первые пораженные растения горчицы белой выявлены в конце третьей декады мая – начале первой декады июня в 2016, 2019, 2020, 2022, 2023 гг., когда средняя температура воздуха составляла 18,5-21,0 °С, а влажность воздуха варьировала от 60 до 82 %.

Первые пораженные растения рапса ярового наблюдали во второй декаде июня в 2017, 2020, 2023 гг. при значениях средней температуры воздуха 20,4-23,2 °С и относительной влажности воздуха выше 70 % (70-81 %) (рисунок 2).

Период поражения рыжика ярового белой ржавчиной совпадал с третьей декадой мая – первой декадой июня при достаточно широком варьировании значений погодных факторов.

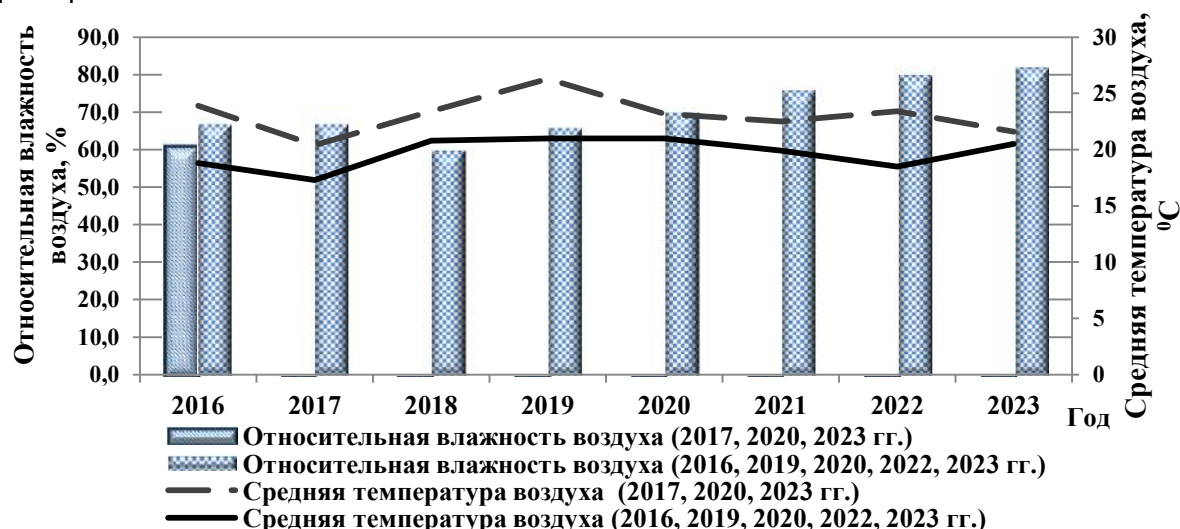


Рисунок 2 – Относительная влажность воздуха и средняя температура воздуха, вторая декада июня (2017, 2020, 2023 гг.), третья декада мая – первая декада июня (2016, 2019, 2020, 2022, 2023 гг.)
Figure 2 – Relative air humidity and average air temperature, second ten-day period of June (2017, 2020, 2023), third ten-day period of May–first ten-day period of June (2016, 2019, 2020, 2022, 2023)

Во всех случаях на растениях сначала выявляли анаморфную стадию развития патогена: белые выпуклые пустулы со спорангиями (рисунок 3а) и через трое-четыре суток отмечали развитие патогена также и в телеоморфной стадии (рисунок 3б).



Рисунок 3 – Грибоподобный организм *A. candida* на рапсе яровом:
а) спорангии *A. candida*; б) анаморфная и телеоморфная стадии развития *A. candida* на растении (ориг.)
Figure 3 – Fungus-like organism *A. candida* on spring rape: а) *A. candida* sporangia; б) anamorphic and teleomorphic stages of *A. candida* development on the plant (orig.)

Частота встречаемости пораженных белой ржавчиной растений рапса и горчицы белой была низкой, не превысив 10 %, рыжика – от средней до высокой, составив 15-60 % (таблица 1). Степень поражения растений всех культур составляла 1-3 балла.

Таблица 1 – Частота встречаемости пораженных белой ржавчиной растений яровых масличных культур семейства Капустные, 2016-2023 гг.

Table 1 – Frequency of occurrence of spring oilseed crops of the Cabbage family affected by white rust, 2016-2023

Культура / Crops	Год исследования / Year of research							
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Рапс яровой / Spring rapeseed	–	+	–	–	+	–	–	+
Горчица сарептская яровая / Spring mustard sareptskaaya	–	–	–	–	–	–	–	–
Горчица белая / White mustard	+	–	–	+	+	–	+	+
Горчица черная / Black mustard	–	–	–	–	–	–	–	–
Рыжик яровой / Spring Camelina sativa Czantz	++	++	+++	+++	+++	+++	++	+++

Частота встречаемости:

+ – низкая (до 10 % пораженных растений); ++ – средняя (от 11 до 50 % пораженных растений); +++ – высокая (51 % пораженных растений и более).

Occurrence frequency:

+ – low (up to 10 % of affected plants); ++ – medium (11 to 50% of affected plants); +++ – high (51 % of affected plants or more).

Таблица 2 – Корреляция между частотой встречаемости пораженных белой ржавчиной растений яровых рапса, горчицы белой и погодными факторами, 2016-2023 гг.

Table 2 – Correlation between the incidence of white rust in spring rapeseed and white mustard plants and weather factors, 2016-2023

Связь между показателями / The relationship between the indicators	Коэффициент корреляции r / Correlation coefficient r	Коэффициент детерминации d / Coefficient of determination d	Стандартная ошибка s_r^* / The standard error of s_r^*	Критерий существенности фактический t_r^{**} / The criterion of materiality is the actual t_r^{**}
Рапс яровой / Spring rapeseed				
Частота встречаемости пораженных растений и средняя температура воздуха / Frequency of occurrence of affected plants and average air temperature	0,91 (r_1)	0,83 (d_1)	0,08 (s_1)	11,40
Частота встречаемости пораженных растений и относительная влажность воздуха / Frequency of occurrence of affected plants and relative humidity of the air	0,93 (r_2)	0,86 (d_2)	0,07 (s_2)	13,28
Горчица белая / White mustard				
Частота встречаемости пораженных растений и средняя температура воздуха / Frequency of occurrence of affected plants and average air temperature	0,98 (r_3)	0,96 (d_3)	0,02 (s_3)	49,00
Частота встречаемости пораженных растений и относительная влажность воздуха / Frequency of occurrence of affected plants and relative humidity of the air	0,86 (r_4)	0,74 (d_4)	0,13 (s_4)	6,62
* - число степеней свободы $n-2=3$ / * - number of degrees of freedom $n-2=3$.				
** - t_r теоретический = 3,18 на уровне значимости 0,05 / ** - t_r theoretical = 3.18 at a significance level of 0.05.				

Статистический анализ данных с применением метода простой корреляции показал, что между частотой встречаемости пораженных белой ржавчиной растений яровых рапса и горчицы белой и погодными факторами (средней температурой и относительной влажностью воздуха) выявлена сильная, прямолинейная, прямая корреляционная зависимость: коэффициент корреляции составил 0,91-0,93 на рапсе и 0,86-0,98 на горчице белой (таблица 2). Коэффициенты корреляции для рыжика ярового не рассчитывали, так как пораженные болезнью растения в посевах культуры отмечались ежегодно при разных значениях метеорологических факторов.

Рассчитанные коэффициенты детерминации d свидетельствуют о том, что доля вариации частоты встречаемости пораженных белой ржавчиной растений обусловлена значениями средней температуры воздуха: на 83-96 %, относительной влажности воздуха – на 74-86 %.

Для оценки надежности рассчитанных коэффициентов простой корреляции рассчитали их ошибку s_r и критерий существенности t_r . Ошибка коэффициента корреляции s_1 и s_2 на рапсе составила 0,08 и 0,07; s_3 и s_4 на горчице белой – 0,02 и 0,13, т. е. отклонение от выборочного среднего значения является незначительным. Показатели фактического критерия существенности t_r значительно превышают теоретический на уровне 0,05 ($t_r \geq t_{05}$) во всех вариантах (на рапсе 11,40-13,28; на горчице белой – 6,62-49,00), следовательно, связь между изученными признаками существенна.

В ходе исследований установлено, что степень поражения растений белой ржавчиной влияла на их продуктивность. Средняя масса семян в стручке больного растения существенно уменьшалась по сравнению со здоровым растением на всех изученных культурах, что подтверждается значениями фактического t -критерия Стьюдента, который превышал теоретический t -критерий на уровне 0,05 (таблица 3).

При максимальной степени поражения культур белой ржавчиной (3 балла) на всех ветвях растений рапса и горчицы белой полностью отсутствовало образование генеративных органов, а на рыжике в уже сформированных стручках пораженных ветвей ткани семян полностью высыхали, оставалась только их оболочка.

Таблица 3 – Масса семян в стручке яровых рапса, горчицы белой и рыжика в зависимости от степени поражения растения белой ржавчиной, 2016-2023 гг.

Table 3 – The mass of seeds in a pod of spring rape, white mustard and Camelina depending on the degree of plant damage by white rust, 2016-2023.

Степень поражения растения, балл / The degree of damage to the plant, score	Средняя масса семян в стручке с растения, г / t -критерий Стьюдента факт.* / Average seed weight per pod per plant, g / t-Student's test fact*		
	Рапс / Rapeseed	Горчица белая / White mustard	Рыжик / Camelina
0 (здоровое) / 0 (healthy)	0,074/ -	0,033/ -	0,016/ -
1	0,050/ 2,40	0,022/ 2,36	0,011/ 2,38
2	0,024/ 3,48	0,012/ 2,36	0,006/ 2,40
3	0/ 5,28	0/ 2,40	0/ 2,62

* - число степеней свободы $n-2=8$;
 t -критерий Стьюдента теоретический = 2,31 на уровне значимости 0,05.
 * - the number of degrees of freedom is $n-2=8$; t-Student's test theoretical = 2.31 at the significance level of 0.05.

Размер потери урожая семян демонстрирует уровень вредоносности болезни растений. Учитывая массу семян в пораженных и здоровых стручках, рассчитан коэффициент вредоносности для каждого балла поражения растений. Вредоносность болезни в зависимости от степени поражения между культурами не различалась: поражение растений рапса, горчицы белой и рыжика в 1 балл привело к снижению продуктивности на 31,3-33,3 %, 2 балла – 62,5-67,6 %, 3 балла – на 100 %. Не выявлено варьирования и между средними значениями вредоносности болезни на культурах (таблица 4).

Таблица 4 – Вредоносность белой ржавчины на яровых рапсе, горчице белой и рыжике в зависимости от степени поражения растения, 2016-2023 гг.

Table 4 – Harmfulness of white rust on spring rape, white mustard and Camelina depending on the degree of plant damage, 2016-2023

Культура / Crops	Вредоносность белой ржавчины, % при степени поражения растения, балл / Severity of white rust, % of plant damage, score			
	1	2	3	средняя / average
Рапс яровой / Spring rapeseed	32,4	67,6	100	66,7
Горчица белая / White mustard	33,3	63,6	100	65,6
Рыжик яровой / Spring Camelina	31,3	62,5	100	64,6

Используя данные таблицы 4, рассчитан коэффициент простой корреляции между степенью поражения растений и вредоносностью болезни, который составил на всех культурах 0,99. Это свидетельствует о сильной, прямолинейной, прямой (положительной) корреляционной зависимости между этими показателями (таблица 5).

Таблица 5 – Корреляция между степенью поражения растений яровых рапса, горчицы белой и рыжика белой ржавчиной и вредоносностью болезни, 2016-2023 гг.

Table 5 – Correlation between the severity of disease in spring rapeseed, white mustard, and camelina plants and the severity of the disease, 2016–2023.

Культура / Crops	Коэффициент корреляции r / Correlation coefficient r	Коэффициент детерминации d / Coefficient of determination d	Критерий достоверности аппроксимации R^2 / R^2 approximation confidence criterion	Уравнение регрессии / The regression equation
Рапс / Rapeseed	0,99	0,98	0,9994	$y = 33,8x - 0,9333$
Горчица белая / White mustard	0,99	0,98	0,9972	$y = 33,35x - 1,0667$
Рыжик / Camelina	0,99	0,98	0,9972	$y = 34,35x - 4,1$

Расчетные уравнения регрессии также свидетельствуют о линейной зависимости вредоносности белой ржавчины от степени поражения растений, критерий достоверности аппроксимации R^2 на всех культурах высокий: 0,9994-0,9972, что дает возможность замены эмпирического признака расчетным.

Показатели коэффициента детерминации d свидетельствуют о том, что доля вариации вредоносности белой ржавчины на изученных культурах на 98 % обусловлена степенью поражения растений болезнью.

Кроме этого, с целью подтверждения достоверности найденных коэффициентов простой линейной корреляции (выборочных коэффициентов) определяли доверительный интервал для генерального линейного коэффициента корреляции ρ ($r - \sigma < \rho < r + \sigma$), который может быть больше или меньше выборочных коэффициентов корреляции. Для этого рассчитана точность оценки σ , которая составила для всех изученных культур $\pm 0,08$. Доверительный интервал для генерального линейного коэффициента корреляции с вероятностью 0,95 на рапсе, горчице белой и рыжике составил $0,88 < \rho < 1,00$.

Следовательно, установленные доверительные интервалы накрывают генеральный коэффициент корреляции ρ , и можно утверждать, что поражение яровых масличных культур семейства Капустные белой ржавчиной будет существенно снижать продуктивность растений не только в условиях степной зоны Западного Предкавказья, но и в других регионах возделывания этих культур.

Выводы. Сильная, прямолинейная, прямая корреляционная зависимость выявлена между частотой встречаемости пораженных белой ржавчиной растений яровых рапса и горчицы белой в условиях степной зоны Западного Предкавказья и погодными факторами (средней температурой и относительной влажностью воздуха), коэффициент простой корреляции составил 0,86-0,98.

Вредоносность белой ржавчины на яровых рапсе, горчице белой и рыжике была высокой: от 31,3-33,3 % при степени поражения 1 балл до 100 % при степени поражения 3 балла. Между степенью поражения растений и вредоносностью болезни также установлена сильная, прямолинейная, прямая корреляционная зависимость с коэффициентом простой корреляции 0,99.

Conclusions. A strong, direct, linear correlation was found between the frequency of white rust occurrence on plants of spring rapeseed and white mustard in the steppe zone of the Western Ciscaucasia and weather factors (average temperature and relative air humidity), with a simple correlation coefficient of 0.86-0.98.

White rust caused significant harm to spring rapeseed, white mustard, and false flax: from 31.3-33.3 % at an affection degree of 1 point to 100 % at an affection degree of 3 points. A strong, linear, direct correlation was also found between the degree of plant affection and the harmfulness of the disease, with a simple correlation coefficient of 0.99.

Библиографический список

1. *Albugo candida* (white rust of crucifers). Publication: CABI PlantwisePlusKnowledge Bank. 4051.
2. Upadhyay P., Tewari A. K., Pant U., Singh N. et al. Validation of molecular markers for the identification of resistant sources against white rust disease of rapeseed mustard caused by *Albugo candida*. Indian journal of genetics and plant breeding. 2024. V. 84 (04). Pp. 686-696.
3. Chand S., Singh N., Prasad L., Nanjundan J. et al. Inheritance and Allelic Relationship among Gene(s) for White Rust Resistance in Indian Mustard. Sustainability. 2022. V. 14 (18). Art. 11620.
4. Devi Y. P. Effect of Traditional Agronomic Practices on White Rust of Rapeseed – Mustard under Organic Farming System in Manipur. Current Agriculture Research Journal. 2017. V. 5. No 3.
5. Pandey R. N., Kumar D., Kumar S., Kumar A. et al. Assessment of Rapeseed – Mustard Varieties for Resistance against White Rust (*Albugo candida*) Infection. Journal of Advances in Biology & Biotechnology. 2023. V. 26. I. 12. Pp. 35-41.
6. Nirwan S., Sharma A. K., Tripathi R. M., Pati A. M. et al. Resistance strategies for defense against *Albugo candida* causing white rust disease. Microbiological Research. 2023. V. 270. Art. 127317.
7. Zainab R. White Rust of Rapeseed-mustard: A Devastating Disease. Asian Journal of Emerging Research. 2020. V. 2 (2). Pp. 56-57.
8. Gairola K. Early detection and management of white rust disease (*Albugo candida*) in rapeseed mustard. G. B. Pant University of Agriculture and Technology, Pantnagar – 263145 (Uttarakhand). 2017. 248 p. <https://krishikosh.egranth.ac.in/items/201c815e-900d-4a22-b62c-b5b6769858a8>.
9. Choudhary C. S., Singh R. S., Chand Ph., Arun A. et al. Survey for the natural occurrence of white rust disease of rapeseed-mustard in agro-climatic zone-I of Bihar. International Journal of Advanced Biochemistry Research. 2024. V. 8 (3). Pp. 420-422.
10. Meena P. D., Verma P. R., Saharan G. S., Hossein Borhan M. Historical perspectives of white rust caused by *Albugo candida* in Oilseed Brassica. Journal of Oilseed Brassica. 2014. V. 5 (Special). Pp. 1-41. <https://epubs.icar.org.in/index.php/JOB/article/view/159033>.
11. Сердюк О. А., Трубина В. С., Горлова Л. А. Методы выделения патогенов из растений капустных культур. Итоги и перспективы развития агропромышленного комплекса: сб. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конференции. 2019. С. 71-76.

References

1. *Albugo candida* (white rust of crucifers). Publication: CABI PlantwisePlusKnowledge Bank. 4051.
2. Upadhyay P., Tewari A. K., Pant U., Singh N. et al. Validation of molecular markers for the identification of resistant sources against white rust disease of rapeseed mustard caused by *Albugo candida*. Indian journal of genetics and plant breeding. 2024. V. 84 (04). Pp. 686-696.
3. Chand S., Singh N., Prasad L., Nanjundan J. et al. Inheritance and Allelic Relationship among Gene(s) for White Rust Resistance in Indian Mustard. Sustainability. 2022. V. 14 (18). Art. 11620.
4. Devi Y. P. Effect of Traditional Agronomic Practices on White Rust of Rapeseed – Mustard under Organic Farming System in Manipur. Current Agriculture Research Journal. 2017. V. 5. No 3.
5. Pandey R. N., Kumar D., Kumar S., Kumar A. et al. Assessment of Rapeseed – Mustard Varieties for Resistance against White Rust (*Albugo candida*) Infection. Journal of Advances in Biology & Biotechnology. 2023. V. 26. I. 12. Pp. 35-41.
6. Nirwan S., Sharma A. K., Tripathi R. M., Pati A. M. et al. Resistance strategies for defense against *Albugo candida* causing white rust disease. Microbiological Research. 2023. V. 270. Art. 127317.
7. Zainab R. White Rust of Rapeseed-mustard: A Devastating Disease. Asian Journal of Emerging Research. 2020. V. 2 (2). Pp. 56-57.
8. Gairola K. Early detection and management of white rust disease (*Albugo candida*) in rapeseed mustard. G.B. Pant University of Agriculture and Technology, Pantnagar – 263145 (Uttarakhand). 2017. 248 p. <https://krishikosh.egranth.ac.in/items/201c815e-900d-4a22-b62c-b5b6769858a8>.
9. Choudhary C. S., Singh R. S., Chand Ph., Arun A. et al. Survey for the natural occurrence of white rust disease of rapeseed-mustard in agro-climatic zone-I of Bihar. International Journal of Advanced Biochemistry Research. 2024. V. 8 (3). Pp. 420-422.
10. Meena P. D., Verma P. R., Saharan G. S., Hossein Borhan M. Historical perspectives of white rust caused by *Albugo candida* in Oilseed Brassica. Journal of Oilseed Brassica. 2014. V. 5 (Special). Pp. 1-41. <https://epubs.icar.org.in/index.php/JOB/article/view/159033>.
11. Serdyuk O. A., Trubina V. S., Gorlova L. A. Methods for isolating pathogens from cabbage crops. Results and prospects for the development of the agro-industrial complex: collection of articles based on the materials of the International scientific and practical conference. 2019. Pp. 71-76.

Информация об авторах

Сердюк Оксана Анатольевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК (Российская Федерация, 350038, г. Краснодар, ул. Филатова, 17), e-mail: oserduk@mail.ru

Author's Information

Serdyuk Oksana Anatolyevna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, V. S. Pustovoi All-Russian Research Institute of Oil Crops (Russian Federation, 350038, Krasnodar, Filatov Str., 17), e-mail: oserduk@mail.ru

**THE WATER RESOURCES SAVING IN THE TECHNOLOGIES OF MOISTENING
THE DOMESTIC CORN HYBRIDS OF DIFFERENT RIPENING PERIODS****Tikhonova M. K., Semenenko S. Ya.***All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – branch of the Federal Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: semenenkosy.vniioz@yandex.ru

Received 11.12.2025

Submitted 26.02.2026

The article presents the results of research conducted as part of the state assignment on the topic N FNFR-2025-0004 "Developing Innovative Water-Saving Agricultural Technologies for Irrigation of Crops Using Precision Irrigation Based on Digital Control Systems to Ensure Sustainable Yields in the Context of Global Climate Change."

Abstract

Introduction. The improvement of the world's population's welfare initiates an increase in the volume and quality of food products. These indicators significantly increase the water consumption of their production. In addition, according to the UN's forecast calculations, the world's population will increase to 8.3 billion by 2030 and to 9.1 billion by 2050, which will trigger the need to increase the demand for food. The main consumer of water is agriculture, which requires about 70 % of the total volume of consumption, while 40 % is used for livestock production, including feed production (27-31 %), livestock farming (6-7 %), and processing (3-6 %). This highlights the need for a sustainable approach to water management, including investments in water technologies by both the government and private sector agricultural producers. **The purpose** of the study is to develop a water-saving technology for soil moistening during the cultivation of grain corn, which ensures a 15-20 % reduction in irrigation water consumption while maintaining a specified yield level. **The object of the study** is the water regime of the active soil layer during the cultivation of corn. **Materials and methods.** Scientific methods of analysis, synthesis, experimental field research, and comparison were used, followed by generalization and processing of the results. The research material consisted of early-maturing and mid-early domestic corn hybrids called Khoper 150 MV and Khoper 255 MV. **Results and discussion.** The technology of differentiation of the size of the irrigation rate and the level of pre-irrigation soil moisture, synchronized with the physiological needs of corn hybrids, has been developed. It has been established that the grain yield of mid-early corn hybrids at the level of 12 t/ha can be obtained using the "Differentiated watering" technology, provided that the pre-irrigation threshold of soil moisture is maintained at a level of at least 70-80-70 % HB, and that $N_{300}P_{61}K_{69}$ is applied. There was a decrease in water consumption on the "diff-irrigation" technology compared to the "mono irrigation" technology, on average for hybrids with a planned yield of 10.0 t/ha by 67.3 m³/ha, and with a yield of 12.0 t/ha by 33.5 m³/ha.

Keywords: corn hybrids, corn ripening time, water-saving corn cultivation technologies, corn irrigation.

Citation. Tikhonova M. K., Semenenko S. Ya. The water resources saving in the technologies of moistening the domestic corn hybrids of different ripening periods. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 252-261 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-28.

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.

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

УДК 633.15:631.674

**ЭКОНОМИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В ТЕХНОЛОГИЯХ УВЛАЖНЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ
ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ РАЗЛИЧНЫХ СРОКОВ СОЗРЕВАНИЯ****Тихонова М. К., кандидат сельскохозяйственных наук
Семененко С. Я., доктор сельскохозяйственных наук, профессор***Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия –
филиал ФГБНУ «ФНЦ гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова»
г. Волгоград, Российская Федерация*

Материалы статьи представлены по результатам исследований, проведённых при выполнении государственного задания по теме № FNFR-2025-0004 «Разработать инновационные водосберегающие агротехнологии при орошении сельскохозяйственных культур с использованием прецизионного полива на основе цифровых систем управления, обеспечивающие получение устойчивой урожайности в условиях глобального изменения климата».

Актуальность. Повышение благосостояния населения планеты инициирует увеличение объёмов и улучшение качества продуктов питания. Эти показатели значительно увеличивают водоёмкость их производства. Кроме того, согласно прогнозным расчётам ООН, численность населения

планеты увеличится к 2030 году до 8,3, а к 2050 году до 9,1 млрд человек, что спровоцирует необходимость увеличения спроса на продовольствие. Главным потребителем воды является сельское хозяйство, которому необходимо около 70 % всего объема потребления, при этом 40 % её используется для получения продукции животноводства, включая производство кормов (27-31 %), выращивание поголовья (6-7 %) и переработку (3-6 %). Это указывает на необходимость рационального подхода к использованию водных ресурсов, в том числе инвестирование в «водные» технологии как со стороны государства, так и со стороны сельхозпроизводителей частного сектора. **Цель** исследования заключается в разработке водосберегающей технологии увлажнения почвы при выращивании кукурузы на зерно, обеспечивающей экономию оросительной воды на уровне 15-20 % с обеспечением заданного уровня урожайности. **Объект исследования:** водный режим активного слоя почвы при выращивании кукурузы. **Материалы и методы.** Применялись научные методы анализа, синтеза, экспериментальных полевых исследований, сравнения с последующим обобщением и обработкой результатов. Материалом исследований являлись раннеспелые и среднеранние гибриды кукурузы отечественной селекции Хопёр 150 МВ и Хопёр 255 МВ. **Результаты и обсуждение.** Разработана технология дифференциации размера поливной нормы и уровня предполивной влажности почвы, синхронизированная с физиологическими потребностями гибридов кукурузы. Установлено, что урожайность зерна среднераннеспелых гибридов кукурузы на уровне 12 т/га может быть получена на технологии «дифполив» при условии поддержания дифференцированного по фазам развития растений предполивного порога влажности почвы не ниже 70-80-70 % НВ и внесении $N_{300}P_{61}K_{69}$. Отмечено снижение водопотребления на технологии «дифполив» относительно технологии «монополив» в среднем по гибридам при уровне запланированной урожайности 10,0 т/га на 67,3 м³/га, при уровне 12,0 т/га на 33,5 м³/га.

Ключевые слова: гибриды кукурузы, сроки созревания кукурузы, водосберегающие технологии возделывания кукурузы, орошение кукурузы.

Цитирование. Тихонова М. К., Семененко С. Я. Экономия водных ресурсов в технологиях увлажнения отечественных гибридов кукурузы различных сроков созревания. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 252-261. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-28.

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. Термин *маис*, которым обозначается культура кукурузы, адаптировался в России из турецкого термина *кокороз* (в переводе «*высокое растение*»). В Российскую империю кукуруза попала в конце XVIII века, в период русско-турецкой войны и на бытовом уровне её называли турецкой пшеницей. «Царицей полей» она стала в результате почти принудительного внедрения в эпоху правления Н. С. Хрущёва.

Мировое потребление кукурузы в настоящее время оценивается в 1,2 млрд тонн, при среднем ежегодном увеличении в течение пяти последних лет в 3,5 %. Более половины ёмкости рынка приходится на США и Китай. По прогнозу Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), в 2025-2026 сельскохозяйственном году производство зерна кукурузы в мире достигнет 1,601 млрд тонн. Кукуруза будет растущим сегментом в глобальном экспорте, тогда как поставки пшеницы и ячменя снизятся. Повышение интереса к выращиванию культуры обосновывается увеличением животноводческого сектора в развитых странах и развитием глубокой её переработки (производство биоэтанола, крахмалов и т. п.). По валовому сбору (млн тонн) основные страны-производители располагаются в следующем порядке: США – 374, Китай – 254, Бразилия – 101. Россия (16,6 млн т) находится на 9 месте. Необходимо отметить, что лидерство США сохраняется в высокой урожайности, а КНР – в больших посевных площадях. Среднестатистическая мировая урожайность зерна кукурузы, выращиваемой в богарных условиях, составляет 5,5 т/га, при этом в Северной Америке – 8,5, Австралии и Океании – 7,1, Европе – 6,2, Африке – 2,0. Рассматривая долгосрочную ретроспективу динамики урожайности в РФ, необходимо отметить её положительную тенденцию: в среднем за период 1994-2003 гг. она составляла 2,39, за 2004-2013 гг. – 3,84, за 2014-2023 гг. – 5,35 т/га. Это позволило довести российский экспорт сезона 2023/2024 до рекордного значения – 23 млн тонн [1, 2].

По информации ценазерна.рф, на середину октября 2025 года, средняя урожайность кукурузы по стране в целом составляла около 5,2 т/га, что почти на 0,7 т больше уровня прошлого сезона.

По данным регионального комитета сельского хозяйства Волгоградской области (krestyane34.ruksh.volgograd.ru), в 2025 году **средняя (на богаре и орошении) урожайность кукурузы в хозяйствах области составила 5,4 т/га.** Это на 1,1 т больше прошлогоднего показателя. В условиях орошения урожайность выше, например в Калачёвском и Светлоярском районах более 10,0, в Быковском и Новониколаевском 7,0 т/га.

По прогнозам аграрного ведомства США, в сезоне 2025/2026 урожайность зерна кукурузы в России оценивается в 5,64 тонн на гектар, что на 6 % меньше, чем в сезоне 2024/2025. Это связано, по их мнению, с прогнозируемыми неблагоприятными климатическими условиями для выращивания как в мире, так и в России, особенно в южных и северокавказских регионах [2, 3, 4].

Активное развитие животноводства в России активизировало увеличение внутреннего потребления кукурузы на 30-35 % за последние 5 лет. Кроме животноводства, продукция из кукурузы востребована на российских и зарубежных рынках: спросом пользуются мальтодекстрины, сухой глюкозный сироп, кукурузный крахмал, патока, глютен кукурузный и глютеный корм, зародыш кукурузный [5, 6, 7].

Обеспечить стабильность урожайности кукурузы на аридных территориях возможно только за счёт орошения. Учитывая, что затраты оросительной воды (согласно ГОСТ 58331.3-2019 «Водопотребность для орошения сельскохозяйственных культур», табл. Б 8) составляют 6370 м³/га, а водопотребность, с учётом потерь на сток и испарение – 7350 м³/га, и если принять во внимание истощение водного потенциала Волгоградской области (Долгов С. В., 2018), разработка технологий и приёмов сбережения пресных вод в сельскохозяйственном производстве видится крайне актуальным вопросом.

Материалы и методы. В исследовании применялись научные методы анализа, синтеза, экспериментальных полевых исследований, сравнения с последующим обобщением и статистической обработкой результатов. Объектом исследований являлись раннеспелый и среднеранний гибриды кукурузы отечественной селекции Хопёр 150 МВ и Хопёр 255 МВ, включённые в Госреестр по Нижневолжскому региону (8), предметом – влияние уровней влагообеспеченности почв на водопотребление и урожайность зерна кукурузы. Лабораторные и полевые опыты проводились по общепринятым в аграрной науке методикам. Поддержание заданной в соответствии со схемой опыта влажности почвы, проводили консольной дождевальную машиной Baueg. Актуализированные данные о состоянии погоды и влажности почвы в режиме реального времени обеспечивались современной метеостанцией с набором датчиков, устанавливаемых на глубинах 0,2, 0,4 и 0,6 м в посевах кукурузы на исследуемых вариантах технологий увлажнения с облачным хранением данных.

Почвенный покров опытного участка представлен светло-каштановой тяжелосуглинистой почвой, отличающейся сравнительно невысоким содержанием органического вещества. Гумусированный слой составляет 0,26 м. Реакция почвенного раствора слабощелочная (рН 7,5-7,9), что может также ограничивать доступность некоторых микроэлементов для растений. Обеспеченность почвы минеральным азотом крайне низкая (5,7 мг/кг), что является серьёзным лимитирующим фактором для роста и развития растений. Содержание подвижного фосфора (58,20 мг/кг) относится к повышенному уровню, обеспеченность обменным калием (294 мг/кг) – средняя. Плотность длительно орошаемой почвы в слое 0,0-0,5 м составляет 1,43 т/м³. Это довольно высокая плотность, свидетельствующая о возможном ухудшении структурного состояния почвы, что приводит к затруднению проникновения воды и воздуха к корням растений. Высокая плотность может быть обусловлена механической обработкой почвы тяжелой техникой, особенно при недостатке органического вещества. Низкая влагоёмкость в сочетании с низким содержанием гумуса делает почву весьма уязвимой к засухам, что может существенно снизить урожайность зерна кукурузы.

Схемой опыта предусматривалось исполнение следующих вариантов:

- по режиму орошения (фактор А): А₁ – проведение поливов при предполивном пороге влажности не ниже 70 % НВ в слое почвы 0,5 м. (монополив); А₂ – поддержание дифференцированного по фазам развития растений режима влажности почвы не ниже 70-80-70 % НВ по схеме: 70 % НВ от начала вегетации до фазы 7-й лист, 80 % НВ от фазы 7-й лист до молочной спелости зерна и 70 % НВ от молочной до технической спелости зерна в слое почвы 0,5 м. (дифполив);

- по дозам удобрений (фактор В) под планируемую урожайность 10 и 12 т/га соответственно: В₁ – N₃₀₀P₇₇K₁₃₈; В₂ – N₃₆₀P₉₂K₁₆₆; В₃ – контроль – вариант без удобрений;

- по периоду созревания (фактор С): С₁ – раннеспелый гибрид Хопер 150 МВ (ФАО 150) (селекции ФГБНУ ВНИИОЗ), С₂ – среднераннеспелый гибрид Хопер 255 МВ (ФАО 255) (селекции ФГБНУ ВНИИОЗ).

Опыт закладывался при систематическом расположении вариантов по водному режиму и дозам удобрений. Площадь делянок (посевная) составляла: I фактор 336 м², II фактор – 112 м², III фактор – 84 м².

Цель исследований заключается в научном обосновании элементов технологии возделывания раннеспелых и среднераннеспелых гибридов кукурузы отечественной селекции (Хопёр 150 МВ и Хопёр 255 МВ), обеспечивающих водосбережение и зерновую продуктивность на уровне 10-12 т/га.

Результаты и обсуждение. Современная идея прецизионного земледелия, ныне активно продвигаемая в сельскохозяйственное производство, является как бы ранее знакомой моделью рациональной сельскохозяйственной деятельности, но со следующими ключевыми индикаторами – снижение на 10-15 % затрат оросительной воды, на 20-30 % удобрений и пестицидов, однако технология их достижения основана на использовании дифференцированного подхода к элементам возделывания культур с учётом индивидуальных особенностей (пестрота почвенного покрова, плотность почвы, топографические условия и др.) различных частей орошаемого поля, фактическое состояние которых отслеживается с помощью датчиков климатических параметров, влажности и наличия питательных веществ в почве. Использование технических средств позволяет обеспечить «быстродействие» в принятии управленческих решений для обеспечения задач поддержания точности увлажнения заданного слоя почвы без образования поверхностного стока и создания благоприятного микроклимата в агрофитоценозах, нивелирующего стрессовые температурные ситуации.

Характеристика гидротермической напряжённости периодов вегетации (по ГТК Селянинова Г. Т.) выглядит следующим образом: 2022 год характеризовался как влажный, только за период от посева до 5 листьев выпало 373 м³/га осадков; 2023 год характеризовался как сухой, эффективных осадков выпало 106,4 мм; 2024 год с ГТК 0,26 также был сухим с осадками 123,7 мм.

Таблица 1 – Поливной режим посевов кукурузы (Хопер 150 МВ, 70 % НВ, m – 450 м³/га)

Table 1 – Irrigation regime for corn crops (Hopper 150 MV, 70% NB, m – 450 m³/ha)

Номер полива / Irrigation number	Годы исследований / Years of research					
	2022 г.		2023 г.		2024 г.	
	дата полива / date of watering	фаза развития растений / the phase of plant development	дата полива / date of watering	фаза развития растений / the phase of plant development	дата полива / date of watering	фаза развития растений / the phase of plant development
1	12.06	5 листьев / 5 leaves	29.05	всходы / shoots	31.05	всходы / shoots
2	24.06	9 листьев / 9 leaves	13.06	5 листьев / 5 leaves	01.07	9 листьев / 9 leaves
3	04.07	11 листьев / 11 leaves	24.06	9 листьев / 9 leaves	09.07	11 листьев / 11 leaves
4	12.07	11 листьев / 11 leaves	04.07	11 листьев / 11 leaves	17.07	вымётывание / the appearance of inflorescences
5	20.07	вымётывание / the appearance of inflorescences	12.07	вымётывание / the appearance of inflorescences	30.07	цветение / blossom
6	29.07	цветение / blossom	19.07	цветение / blossom	11.08	молочная спелость / milk ripeness
7	05.08	молочная спелость / milk ripeness	27.07	цветение / blossom	-	-
8	-	-	05.08	молочно-восковая спелость / milky-waxy ripeness	-	-
М, м ³ /га	3150	-	3600	-	2700	-

Выпавшие осадки оказали неоднозначное влияние на поливной режим кукурузы при «монополье», особенно в сухом 2024 году, когда было проведено 6 поливов, меньше на 1 по сравнению с влажным 2022 годом (таблица 1). Это объясняется интенсивностью дождя.

В 2022 году наблюдались ливневые дожди с высокой интенсивностью – на уровне 0,8-1,1 мм/мин, что спровоцировало образование поверхностного стока и уменьшение эффективности использования осадков, а в течение вегетационного периода 2024 года осадки имели морозящий характер с интенсивностью 0,008-0,012 мм/мин, что обеспечило полное их впитывание почвой. Средневзвешенная оросительная норма (М) на данном варианте составила 3150 м³/га.

На сезонные затраты оросительной воды и использование осадков существенное влияние оказывает продолжительность вегетационного периода кукурузы. Принятый к исследованию гибрид кукурузы с ФАО 255 имеет период вегетации 90-100 дней, на 10 % больше, чем гибрид с ФАО 150. Данный факт повлиял на количество поливов (п, шт.) и размер оросительной нормы (М, м³/га): по годам исследований они составили на монополиве соответственно: 2022 г. – 8 и 3600; 2023 г. – 9 и 4050; 2024 – 7 и 3150, при средней оросительной норме 3600 м³/га. Таким образом, удлинение периода вегетации на 10 % увеличило оросительную норму на 450 м³/га, т. е. на 12,5 %.

В процессе онтогенеза кукуруза отзывается на факторы внешней среды, что даёт возможность влияния на рост, развитие и урожайность культуры [6-10].

Исследователями (В. В. Мелихов, 2004 и др.) установлено, что потребность растений кукурузы во влаге зависит от фазы развития. За период протекания фазы «всходы-начало вымётывания» растения потребляют 20-30, «вымётывание-цветение» 40-45, «цветение-созревание» 25-28 % от общего объёма потребления [11-15].

Учитывая данное положение, в опыте рассматривается дифференцированное по фазам развития растений поддержание предполивной влажности почвы для гибридов разных групп спелости. В таблице 2 представлены результаты режима орошения с использованием варианта «дифполив» среднераннеспелого гибрида.

Поддержание предполивной влажности почвы не ниже 70 % НВ от начала вегетации до фазы 7-й лист, в соответствии с методикой А. Н. Костякова, обеспечивается поливной нормой 450 м³/га, 80 % НВ – нормой 300 м³/га.

Первые поливы до фазы «5 листьев» проводились поливной нормой 450 м³/га, последующие, до начала фазы «молочная спелость» – нормой 300 м³/га, от фазы «начало молочной спелости-техническая спелость» – нормой 450 м³/га, а их размер синхронизировался с предполивной влажностью соответственно 70, 80 и 70 % НВ. В зависимости от водообеспеченности года, поливной режим сложился следующим образом: 2022 г. – 2 полива по 450 и 10 по 300 м³/га; 2023 г. – 4 полива по 450 и 10 по 300 м³/га; 2024 г. – 3 по 450 и 7 по 300 м³/га. Средневзвешенная оросительная норма за 3 сезона составила 4150 м³/га.

Таблица 2 – Режим увлажнения среднераннеспелого гибрида дифференцированными по фазам развития кукурузы, поливными нормами

Table 2 – Moisture regime for a mid-early hybrid with differentiated irrigation rates based on the phases of corn development

Номер полива / irrigation number	Годы исследований /					
	2022 г.		2023 г.		2024 г.	
	дата поливная норма, м ³ /га / date, irrigation rate, m ³ /ha	фаза роста и развития растений / the phase of plant growth and develop- ment	дата поливная норма, м ³ /га / date, irrigation rate, m ³ /ha	фаза роста и развития растений / the phase of plant growth and develop- ment	дата поливная норма, м ³ /га / date, irriga- tion rate, m ³ /ha	фаза роста и развития растений / the phase of plant growth and devel- opment
1	2	3	4	5	6	7
1	<u>12.06</u> 450	5 листьев / 5 leaves	<u>29.05</u> 450	всходы /	<u>31.05</u> 450	всходы /
2	<u>21.06</u> 300	7 листьев / 7 leaves	<u>13.06</u> 450	5 листьев / 5 leaves	<u>29.06</u> 300	7 листьев / 7 leaves
3	<u>28.06</u> 300	7 листьев / 7 leaves	<u>23.06</u> 300	7 листьев / 7 leaves	<u>11.07</u> 300	7 листьев / 7 leaves
4	<u>07.07</u> 300	11 листьев / 11 leaves	<u>30.06</u> 300	7 листьев / 7 leaves	<u>16.07</u> 300	11 листьев / 11 leaves
5	<u>12.07</u> 300	11 листьев / 11 leaves	<u>05.07</u> 300	11 листьев / 11 leaves	<u>25.07</u> 300	вымётыва- ние / the appearance of inflores- cences

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
6	<u>17.07</u> 300	вымётыва- ние / the appearance of inflores- cences	<u>11.07</u> 300	11 листьев / 11 leaves	<u>30.07</u> 300	вымётыва- ние / the appearance of inflores- cences
7	<u>22.07</u> 300	вымётыва- ние / the appearance of inflores- cences	<u>15.07</u> 300	11 листьев / 11 leaves	<u>04.08</u> 300	цветение / blossom
8	<u>28.07</u> 300	вымётыва- ние / the appearance of inflores- cences	<u>19.07</u> 300	вымётыва- ние / the appearance of inflores- cences	<u>11.08</u> 300	цветение / blossom
9	<u>1.08</u> 300	цветение / blossom	<u>23.07</u> 300	вымётыва- ние / the appearance of inflores- cences	<u>19.08</u> 450	молочная спелость / milk ripeness
10	<u>06.08</u> 300	цветение / blossom	<u>28.07</u> 300	цветение / blossom	<u>16.08</u> 450	молочно- восковая спелость / milky-waxy ripeness
11	<u>10.08</u> 300	цветение / blossom	<u>02.08</u> 300	цветение / blossom	-	-
12	<u>17.08</u> 450	молочная спелость / milk ripeness	<u>06.08</u> 300	цветение / blossom	-	-
13	-	-	<u>12.08</u> 450	молочная спелость / milk ripeness	-	-
14	-	-	<u>20.08</u> 450	молочно- восковая спелость / milky-waxy ripeness	-	-
M, м ³ /га	3900	-	4800	-	3750	-

Закономерности отклика раннеспелого гибрида Хопёр 150 МВ на дифференциацию уровня влажности по фазам развития растений в зависимости от гидротермической напряжённости вегетационного периода, практически совпадают со среднераннеспелым, с той лишь разницей, что количество поливов уменьшилось. Поливной режим сложился следующим образом: 2022 г. – 2 полива по 450 и 9 по 300 м³/га; 2023 г. – 4 полива по 450 и 8 по 300 м³/га; 2024 г. – 2 полива по 450 и 8 по 300 м³/га. Средневзвешенная оросительная норма за 3 сезона составила 3700 м³/га.

Причиной данного различия является более короткий период вегетации раннеспелого гибрида, который и обусловил уменьшение средневзвешенной оросительной нормы на 450 м³/га. Однако данный показатель только опосредованно отражает экономию оросительной воды, поскольку не связан с урожайностью зерна кукурузы.

Установлено существенное влияние на урожайность зерна кукурузы как уровня минерального питания, рассчитанного на получение 10,0 или 12,0 т/га, так и вида вегетационных поливов, при этом интенсивность реакции разных групп спелости различна (таблица 3).

Анализируя абсолютные значения урожайности по группам спелости, отмечаем, что среднераннеспелый гибрид отличается более высокими, на 1,47-2,28 т/га, показателями на всех уровнях планируемой урожайности.

Изменение технологии «монополив» на «дифполив» увеличивает урожайность ран-
неспелого гибрида с 7,06 до 9,32 т/га, однако заданный индикатор планируемой урожайно-
сти в 10,0 т/га не выполнен. Получение такого уровня урожайности возможно на технологии
«дифполив», но с увеличением дозы NPK соответственно на 69, 15 и 28 кг. д.в./га.

Таблица 3 – Урожайность гибридов кукурузы при 14 % влажности зерна, т/га, (2022-2024 гг.)
Table 3 – Yield of corn hybrids at 14 % grain moisture, t/ha, (2022-2024)

Вид вегетационного полива, предполивная влажность, (фактор А) / Type of vegetative irrigation, pre-irrigation moisture content, (factor A)	Доза удобрений на планируемую урожайность, т/га, (фактор В) / Fertilizer dose for the planned yield, t/ha, (factor B)	Группа спелости гибрида, (фактор С) / Hybrid maturity group, (factor C)		Прибавка от увеличения группы спелости / Increase in the ripening group
		раннеспелый / early ripening	среднеранне спелый / mid-early ripening	
Монополив, 70 % НВ / Mono watering, 70 % HB	контроль б/у / control	2,94	4,02	1,08
	10 т/га / t/ha	7,06	9,34	2,28
	12 т/га / t/ha	9,00	10,47	1,47
Дифференцированный полив, 70-80-70 % НВ / Differential watering, 70-80-70 % HB	контроль б/у / control	3,47	4,85	1,38
	10 т/га / t/ha	9,32	10,98	1,66
	12 т/га / t/ha	10,64	12,20	1,56
Прибавка от диффе- ренциации увлажнения на уровне планируемой урожайности 10 т/га / Increase in yield due to moisture differentiation at the planned yield level of 10 t/ha		2,26	1,64	
Прибавка от диффе- ренциации увлажнения на уровне планируемой урожайности 12 т/га / Addition from moisture differentiation at the level of the planned yield of 12 t/ha		1,64	1,73	
HCP _{0,5} : A-0,20; B-0,24; C-0,20; AB-0,34; AC-0,28; BC-0,34; ABC-0,24 т/га.				

Изменяя условия влажности в почвенной среде и микроклимата в посевах, средне-
раннеспелый гибрид, видимо обладая большей экологической пластичностью в плане со-
здания урожайности, обеспечил получение планируемого значения продуктивности при
технологии «дифполив» на рассчитанных по балансовому методу дозах минеральных
удобрений. На технологии «монополив» заданный уровень урожайности не получен, что
говорит о специфике возможности её применимости, например, в условиях дефицита вод-
ных ресурсов.

По мере нарастания вегетативной массы растениям кукурузы необходимо наращи-
вание объёма потребляемой влаги, что отражается величиной среднесуточного водопо-
требления (рисунок 1). В период «всходы-3 лист», при минимальной вегетативной массе,
расход влаги обусловлен, в основном, испарением с поверхности земли. Пик среднесуточ-
ного водопотребления наблюдался в фазу «выметывание-молочная спелость» и составлял
64,5-70,7 м³/га. Следует отметить, что технология «дифполив» существенное отличие по-
казала с фазы «7-11 листьев», т. е. практически с переходом на частые поливы нормой
300 м³/га. Форма графического хода изменения среднесуточного водопотребления средне-
раннеспелого гибрида аналогична с раннеспелым, однако численные его значения в крити-
ческий период на 12-15 % выше.

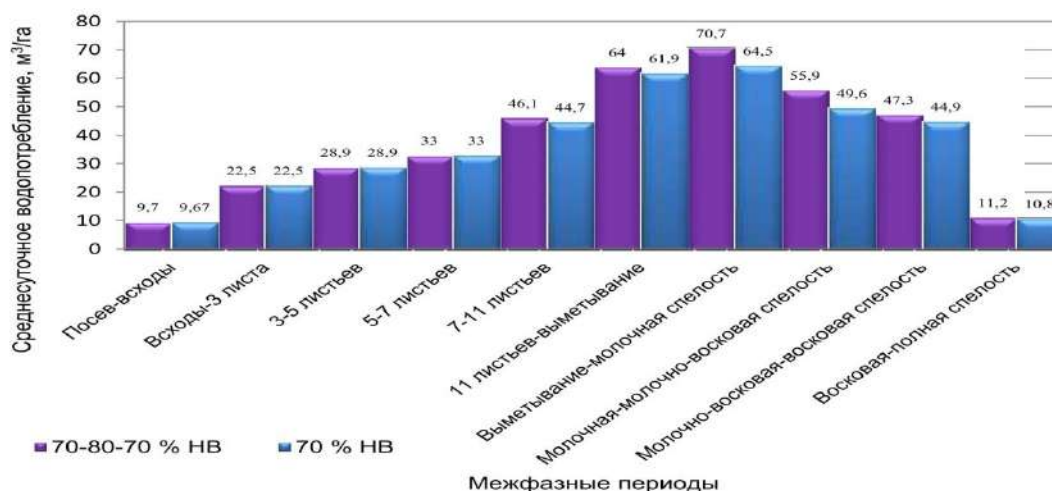


Рисунок 1 – Межфазное изменение среднесуточного водопотребления раннеспелого гибрида кукурузы от технологий увлажнения (2022-2024 гг., доза удобрений на 10 т/га зерна)

Figure 1 – Interphase change in the average daily water consumption of an early-maturing corn hybrid depending on the irrigation technology (2022-2024, fertilizer dose of 10 t/ha of grain)

Общепринятым показателем эффективности использования оросительной воды является «коэффициент эффективного водопотребления» ($K_{эв}$), который в отличие от «коэффициента водопотребления» (K_v) не учитывает в структуре суммарного водопотребления выпавшие за вегетационный период осадки. Анализ зависимости $K_{эв}$ от режима увлажнения и спелости гибрида представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Зависимость коэффициента эффективного водопотребления от режима увлажнения и спелости гибрида, м³/га (2022-2024 гг.)

Table 4 – Dependence of the effective water consumption coefficient on the moisture regime and hybrid maturity, m³/ha (2022-2024)

Монополив / Mono watering		Дифференцированный полив / Differentiated watering	
гибрид раннеспелый / early ripe hybrid	гибрид среднераннеспелый / mid-early ripening	гибрид раннеспелый / early ripe hybrid	гибрид среднераннеспелый / mid-early ripening
планируемая урожайность 10 т/га / planned yield is 10 t/ha			
524,1	385,4	397,0	378,0
планируемая урожайность 12 т/га / planned yield is 12 t/ha			
411,1	343,8	347,7	340,2

Общий анализ показателей $K_{эв}$ указывает снижение водопотребления на технологии полива «дифполив» относительно технологии «монополив» в среднем по гибридам при уровне запланированной урожайности 10,0 т/га на 67,3 м³/га, на уровне 12,0 т/га – 33,5 м³/га, что составляет 50,2 %.

Установлено, что для раннеспелого гибрида Хопер 150 МВ, получение урожайности зерна кукурузы на уровне 7-10 т/га обеспечивается двумя технологиями: поддержанием предполивной влажности не ниже 70 % НВ в режиме «монополив» и внесением $N_{300}P_{61}K_{69}$ или в режиме «дифполив» по фазам развития (70-80-70 % НВ) и внесением $N_{250}P_{51}K_{58}$.

Урожайность зерна среднераннеспелых гибридов кукурузы на уровне 12 т/га может быть получена только на технологии «дифполив» при условии поддержания дифференцированного по фазам развития растений предполивного порога влажности почвы не ниже 70-80-70 % НВ и внесении $N_{300}P_{61}K_{69}$.

Закключение. Исследование технологии увлажнения почвы с учётом биологических потребностей культуры, такой как дифференциация поливной нормы по фазам развития растений среднераннеспелого гибрида кукурузы Хопер 255 МВ, указывает, что она обеспечивает получение 10,98 т/га при планируемой урожайности на уровне 10,0 т/га и 12,20 т/га при планируемой урожайности на уровне 12,0 т/га. Минимальные затраты оросительной воды на создание единицы продукции – 340,2 и 378,0 м³/т, также наблюдаются на данной технологии и рассмотренных уровнях планируемой урожайности гибрида Хопёр 255МВ.

Conclusion. The study of soil moisture technology, taking into account the biological needs of the crop, such as the differentiation of irrigation rates according to the phases of plant development in the medium-early maturing hybrid of corn, Kхoper 255 MV, indicates that it provides a yield of 10.98 t/ha with a planned yield of 10.0 t/ha and 12.20 t/ha with a planned yield of 12.0 t/ha. The minimum irrigation water consumption per unit of production is 340.2 and 378.0 m³/t, which is also observed for this technology and the considered levels of planned yield for the Kхopyor 255MV hybrid.

Библиографический список

1. Аналитический доклад «Мировая продовольственная безопасность и международная торговля продукцией АПК 2023/24». <https://agrotrend.ru/news/47320-obzor-mirovogo-rynka-kukuruzy>
2. Sugri I., Abubakari M., Owusu R. K., Bijakin J. K. Post-harvest Losses and Technologies for Their Reduction: A Case Study of the Upper East Region of Ghana. *Sustain Fut.* 2021. V. 3. Art. 100048.
3. Mordor Intelligence. Grain NASA: World wheat production to increase, corn production to decrease in 10 years. 2021. V. 13. Art. 45. [Krishijagran.com](https://www.krishijagran.com)
4. Market in Ghana – Growth, Trends, COVID-19 Impact, Forecast (2022-2027). 2022. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/grain-market-in-ghana#:~:text=Maize%20Dominates%20the%20Grain%20Market%20in%20Ghana&text=Maize%20is%20the%20major%20grain,cultivated%20staple%20crop%20in%20Ghana>
5. Измайлова А. Т., Костоева Л. Ю. Режим орошения и способы полива кукурузы в условиях Ингушетии. *Горное сельское хозяйство*. 2022. № 3. С. 9-10.
6. Сидоров О. О., Волков А. И., Сидоров О. О. Влияние технологии возделывания на урожайность и качество кукурузного зерна. *Аграрная Россия*. 2021. № 10. С. 26-29.
7. Ланцев В. В. Оценка универсальных гибридов кукурузы по урожайности зерна и зеленой массы в агроландшафтных условиях юго-запада Центрального региона России. *Вестник Курской ГСХА*. 2021. № 8. С. 60-67.
8. Кузыченко Ю. А., Гаджиумаров Р. Г., Джандаров А. Н. Комбинированная обработка почвы с элементами технологии Strip till под кукурузу в зоне Предкавказья. *Аграрная наука*. 2021. № 1. С. 57-59.
9. Zhand Qifeng et al. Features of the technology of cultivation and care of crop, maize in the southern regions of Hainan Island (PRC). *Agroscience*. 2024. V. 2. N. 4. Pp. 5-12.
10. Монастырский В. А., Тищенко Я. С. Влияние оросительных мелиораций при выращивании кукурузы. *Мелиорация и гидротехника*. 2023. Т. 13. № 4. С. 281-294.
11. Кузмицкая Г. А., Меньшинина И. Ю., Гашевский В. Р. Сравнительная оценка продуктивности перспективных гибридов кукурузы в условиях зоны рискованного земледелия Приамурья. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2023. № 1. С. 44-47.
12. Тихонова М. К., Семенов С. Я., Воронин Г. А., Сиуков С. С. Влияние водного и пищевого режима на динамику линейного роста среднеранних гибридов кукурузы. *Инновационные технологии в земледелии и мелиорации на современном этапе развития АПК: материалы Международной научно-практической конференции*. Махачкала, 2023. С. 199-204.
13. Кружильин И. П., Тихонова М. К., Семенов С. Я., Сиуков С. С. Особенности водопотребления раннеспелых гибридов кукурузы отечественной селекции. *Мелиорация и орошаемое земледелие в решении задач устойчивого развития АПК*. Москва, 2024. С. 233-238.
14. Гурина И. В., Михеев Н. В., Гурин К. Г. Водосберегающие поливы кукурузы на мелиорированных землях Ростовской области. *Мелиорация и гидротехника*. 2023. Т. 13. № 3. С. 17-29.
15. Чугунова Е. В., Набойченко К. В., Новиков А. А. Новый гибрид кукурузы Хопер 258MB для засушливых условий юго-востока России. *Орошаемое земледелие*. 2024. № 4 (47). С. 17-21.

References

1. Analytical report "Global Food Security and International Agricultural Trade in 2023/24". <https://agrotrend.ru/news/47320-obzor-mirovogo-rynka-kukuruzy>
2. Sugri I., Abubakari M., Owusu R. K., Bijakin J. K. Post-harvest Losses and Technologies for Their Reduction: A Case Study of the Upper East Region of Ghana. *Sustain Fut.* 2021. V. 3. Art. 100048.
3. Mordor Intelligence. Grain NASA: World wheat production to increase, corn production to decrease in 10 years. 2021. V. 13. Art. 45. [Krishijagran.com](https://www.krishijagran.com)
4. Market in Ghana – Growth, Trends, COVID-19 Impact, Forecast (2022-2027). 2022. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/grain-market-in-ghana#:~:text=Maize%20Dominates%20the%20Grain%20Market%20in%20Ghana&text=Maize%20is%20the%20major%20grain,cultivated%20staple%20crop%20in%20Ghana>
5. Izmailova A. T., Kostoyeva L. Yu. Irrigation regime and methods of watering corn in the conditions of Ingushetia. *Mountain Agriculture*. 2022. No 3. Pp. 9-10.
6. Sidorov O. O., Volkov A. I., Sidorov O. O. Influence of cultivation technology on the yield and quality of corn grain. *Agrarian Russia*. 2021. No 10. Pp. 26-29.
7. Lantsev V. V. Evaluation of universal corn hybrids by grain and green mass yield in the agro-landscape conditions of the south-west of the Central region of Russia. *Bulletin of Kursk State Agricultural Academy*. 2021. N. 8. Pp. 60-67.
8. Kuzichenko Yu. A., Gadzhumarov R. G., Dzhandarov A. N. Combined tillage with elements of Strip till technology for corn in the Ciscaucasia zone. *Agrarian science*. 2021. N. 1. Pp. 57-59.
9. Zhand Qifeng et al. Features of the technology of cultivation and care of crop, maize in the southern regions of Hainan Island (PRC). *Agrarian Science*. 2024. V. 2. N. 4. Pp. 5-12.
10. Monastyrsky V. A., Tishchenko Ya. S. Influence of Irrigation Land Reclamation in Growing Corn. *Melioration and Hydraulic Engineering*. 2023. Vol. 13. N. 4. Pp. 281-294.
11. Kuzmitskaya G. A., Menshinina I. Yu., Gashevsky V. R. Comparative Assessment of the Productivity of Promising Corn Hybrids in the Risky Agriculture Zone of the Amur Region. *Bulletin of Russian Agricultural Science*. 2023. N. 1. Pp. 44-47.

12. Tikhonova M. K., Semenenko S. Ya., Voronin G. A., Siukov S. S. Influence of water and food regime on the dynamics of linear growth of mid-early corn hybrids. Innovative technologies in agriculture and land reclamation at the current stage of agro-industrial complex development: materials of the International scientific and practical conference. Makhachkala, 2023. Pp. 199-204.

13. Kruzilin I. P., Tikhonova M. K., Semenenko S. Ya., Siukov S. S. Features of water consumption of early-ripening hybrids of domestic selection. Land reclamation and irrigated agriculture in solving the tasks of sustainable development of the agro-industrial complex. Moscow, 2024. Pp. 233-238.

14. Gurina I. V., Mikheev N. V., Gurin K. G. Water-saving irrigation of corn on reclaimed lands of the Rostov region. Land Reclamation and Hydraulic Engineering. 2023. Vol. 13. N. 3. Pp. 17-29.

15. Chugunova E. V., Naboychenko K. V., Novikov A. A. A New Hybrid of Corn, Khoper 258MV, for Arid Conditions in the South-East of Russia. Irrigated Agriculture. 2024. N. 4 (47). Pp. 17-21.

Информация об авторах

Тихонова Маргарита Константиновна, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал ФГБНУ «ФНЦ гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова», (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8451-0443>, e-mail: tihonovamk.vniioz@yandex.ru

Семенов Сергей Яковлевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал ФГБНУ «ФНЦ гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9), ORCID: <https://orcid.org/0000-00015992-8127>, e-mail: sergeysemenenko@list.ru

Authors' Information

Tikhonova Margarita Konstantinovna, Senior Researcher, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – the branch of the Federal Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev Str., 9), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8451-0443>, e-mail: tihonovamk.vniioz@yandex.ru

Semenenko Sergey Yakovlevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov" (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev Str., 9), ORCID: <https://orcid.org/0000-00015992-8127>, e-mail: sergeysemenenko@list.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-29

THE FEATURES OF THE PAMYATI KIRICHENKO VARIETY HIGH-MENTHOL MINT GROWING IN THE CONDITIONS OF THE CENTRAL PART OF RUSSIA

Tkacheva E. V., Olehnovich L. S., Shelepova O. V.

*N. V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (MBG RAS)
Moscow, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: gbsad_lib@mail.ru

Received 10.10.2025

Submitted 26.01.2026

This work was supported by the state assignment of the N. V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (MBG RAS) under the research topic: "Study of the biological characteristics of cultivated and wild plant species during their ontogenesis as a strategy for depositing genetic resources in natural and artificial habitats" (State Registration No. 124030100058-4), Russia.

Summary

The study aimed to determine the optimal cultivation parameters – harvesting time and plantation longevity – for the high-menthol mint variety Pamyati Kirichenko in central Russia. The green mass yield and essential oil content peaked in the second year of vegetation (4.9 t/ha and 3.95 %, respectively). The highest menthol content in the essential oil (51.4 %) was observed during the mass flowering phase. Therefore, it is recommended to harvest raw materials during the mass flowering phase in the second and third years of vegetation to obtain a high-quality essential oil with a high menthol content.

Abstract

Introduction. Climate change, particularly persistent warming in central Russia, is creating favorable agro-climatic conditions for cultivating heat-loving crops such as mint. The urgent need for import substitution of raw materials for the pharmaceutical and perfume industries, coupled with a lack of scientifically-grounded cultivation technologies for high-menthol mint in temperate latitudes, necessitates the development of effective agricultural practices for new, promising varieties. The object of this study is the high-menthol mint variety Pamyati Kirichenko. **Object** was to determine the optimal cultivation parameters-harvesting time and plantation longevity – for this variety in the conditions of central Russia. **Materials and methods.** The research was conducted on an experimental plot in the Moscow region using plants from their first to third year of vegetation. The essential oil yield was determined by hydrodistillation, and its qualitative composition was analyzed by gas chromatography-mass spectrometry. **Results and conclusion.** The yield of green mass and the essential oil content reached their maximum in the second year of vegetation (4.9 t/ha and 3.95 %, respectively). The highest menthol content in the essential oil (51.4 %) was recorded during the mass flowering phase. Productivity declined by the third year. The obtained essential oil met all require-

ments of the relevant national quality standards. The study confirms the efficiency of a three-year cultivation cycle for the Pamyati Kirichenko mint in central Russia. It is recommended to harvest during the mass flowering phase in the second and third years of vegetation to obtain high-quality essential oil with a high menthol content.

Keywords: high-menthol mint, mint varieties, mint cultivation conditions, mint cultivation technologies, mint essential oil, mint essential oil yield.

Citation. Tkacheva E. V., Olehnovich L. S., Shelepova O. V. The features of the Pamyati Kirichenko variety high-menthol mint growing in the conditions of the central part of Russia. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 261-269 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-29.

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 633.822:631.517(470.3)

ОСОБЕННОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ ВЫСОКОМЕНТОЛЬНОЙ МЯТЫ СОРТА ПАМЯТИ КИРИЧЕНКО В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕЙ ПОЛОСЫ РОССИИ

Ткачева Е. В., кандидат биологических наук, научный сотрудник

Олехнович Л. С., младший научный сотрудник

Шелепова О. В., кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник

ФГБУН Главный ботанический сад им. Н. В. Цицина Российской академии наук (ГБС РАН)
г. Москва, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН Главный ботанический сад им. Н. В. Цицина Российской академии наук (ГБС РАН) по теме: «Изучение биологических особенностей культурных и дикорастущих видов растений в процессе их онтогенеза как стратегия депонирования генетических ресурсов в естественных и искусственных условиях обитания», № госрегистрации 124030100058-4.

Актуальность. Изменение климата, выражающееся в устойчивом потеплении в средней полосе России, создаёт агроклиматические предпосылки для возделывания теплолюбивой культуры мяты. А также острая потребность в импортозамещении сырья для фармацевтической и парфюмерной промышленности и недостаток научно обоснованных технологий выращивания высокоментольной мяты в умеренных широтах являются задачами разработки эффективной агротехники нового перспективного сорта. **Объект исследования.** Высокоментольный сорт мяты Памяти Кириченко. **Цель:** определение оптимальных параметров возделывания (сроков уборки и длительности использования плантаций) сорта мяты Памяти Кириченко в условиях средней полосы России. **Материалы и методы:** исследования проводили на экспериментальном участке в Московском регионе на растениях I-III годов вегетации. Выход эфирного масла определяли методом гидродистилляции, качественный состав - методом газовой хроматографии-масс-спектрометрии. **Результаты и выводы:** Урожайность зеленой массы и выход эфирного масла достигали максимума на второй год вегетации (4,9 т/га и 3,95 % соответственно). Максимальное содержание ментола в эфирном масле (51,4 %) зафиксировано в фазе массового цветения. К третьему году вегетации продуктивность снижалась. Полученное эфирное масло соответствовало требованиям национальных стандартов качества. Установлена эффективность трехлетнего цикла культивирования сорта Памяти Кириченко в средней полосе России. Сбор сырья рекомендуется проводить в фазе массового цветения растений второго-третьего года вегетации для получения высококачественного эфирного масла с высоким содержанием ментола.

Ключевые слова: высокоментольная мята, сорта мяты, условия возделывания мяты, технологии возделывания мяты, эфирное масло мяты, выход эфирного масла мяты.

Цитирование. Ткачева Е. В., Олехнович Л. С., Шелепова О. В. Особенности выращивания высокоментольной мяты сорта Памяти Кириченко в условиях средней полосы России. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 261-269. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-29.

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. Мята (*Mentha* L.) – одна из важнейших эфиромасличных культур, широко используемая в фармацевтической и парфюмерно-косметической промышленности. Эфирное масло мяты обладает антибактериальным, фунгицидным, анальгезирующим, спазмолитическим и стимулирующим действием. К числу значимых представителей се-

мейства Lamiaceae относится мята сахалинская, или японская (*Mentha canadensis* L., синоним *Mentha arvensis* var. *piperascens* Malinv. ex Holmes). Это ментоловый вид – ценное лекарственное растение, традиционно возделываемое в тропических и субтропических регионах в условиях орошения. Характерный запах и вкус данного вида обусловлены высоким содержанием ментола (до 75-80 %) [1]. Эфирное масло этой мяты, как и масло мяты перечной (*M. piperita* L.), содержит схожие основные компоненты – ментол и ментон, и входит в число наиболее производимых и продаваемых эфирных масел в мире. Основными производителями масла мяты сахалинской являются Китай, Индия, Бразилия и Япония [2]. В России выращивание мяты в качестве сырья для получения эфирного масла и лекарственного растительного сырья развито сравнительно слабо; в основном культивируются мята перечная и мята колосистая, в то время как данный вид в производственных масштабах практически не используется. В настоящее время в Государственной комиссии Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений (2011 г.) зарегистрирован единственный сорт этого вида – Памяти Кириченко [3]. В связи с высоким интересом фармацевтических и парфюмерных компаний к мятному сырью, обусловленным растущим спросом на эфирное масло с натуральным ментолом, наблюдается увеличение потребности в производстве мятного масла.

Образование эфирного масла у растений мяты в значительной степени определяется видовыми особенностями, однако его количество и состав могут существенно изменяться под влиянием внешних экологических факторов. Согласно мнению большинства исследователей, для использования мяты в качестве источника эфирного масла требуется сумма эффективных температур за вегетационный период 3200-3400 °С [4]. Именно поэтому до 1990-х годов основными регионами промышленного выращивания мяты в России были Краснодарский край и Воронежская область, хотя в настоящее время производство мятного сырья в этих регионах значительно сократилось. Для Средней полосы России, в частности для Московской области, многолетний показатель суммы эффективных температур составляет 2400-2600 °С, что позволяет выращивать мяту в данном регионе преимущественно для получения «аптечного листа». Однако участвовавшие в последние годы погодные аномалии привели к значительному потеплению климата и увеличению суммы эффективных температур в средней полосе. Так, в обычные годы в Московском регионе этот показатель превышал среднепогодные значения на 300-650 °С, а в аномально жаркие годы – на 1100-1250 °С. Оценки коэффициента линейного тренда для суммы активных температур воздуха и суммы температур выше 5 °С свидетельствуют о росте этих показателей в европейской части России; средняя скорость роста по земледельческой зоне составляет около 90 °С/10 лет [5]. Изменение климатических условий может способствовать повышению продуктивности биомассы мяты, а также увеличению выхода и улучшению качества эфирного масла, поскольку температура воздуха является одним из ключевых регулирующих факторов в период его интенсивного образования [6, 7]. Этими факторами и обусловлено расширение зоны выращивания мяты за пределы традиционных регионов, в частности, в средней полосе России, для производства высококачественного эфирного масла. В теплых климатических условиях возможен двукратный сбор зеленой массы, что существенно повышает урожайность и выход эфирного масла. Продолжительность культивирования различных видов мяты варьирует от 2-3 лет (мята перечная) до 4 лет (мята длиннолистная) [8, 9]. В условиях средней полосы России возможен только один сбор урожая за сезон [10]. В литературе достаточно полно освещена технология выращивания мяты перечной и японской в теплых климатических условиях [11, 12], тогда как работы, посвященные возделыванию данного вида в умеренном климате, существенно меньше [13]. В то же время изучение биологических и хозяйственно ценных особенностей высокоментольной мяты сахалинской позволит расширить сырьевую базу.

Целью настоящего исследования было определение оптимальных сроков заготовки растений, обеспечивающих максимальный выход биомассы с высоким содержанием качественного эфирного масла, а также установление оптимальной продолжительности эксплуатации насаждений мяты сорта Памяти Кириченко.

Материалы и методы. Объектом исследования являются растения высокоментольного сорта мяты сахалинской Памяти Кириченко (*M. canadensis* = *M. arvensis* var. *piperascens*), (патент RU 6475, заявка № 8853145, дата регистрации 01.08.2011, дата публикации 04.06.2012) (рисунок 1).



Рисунок 1 – Сорт мяты Памяти Кириченко (*M. canadensis* = *M. arvensis* var. *piperascens*)
Figure 1 – Mint cultivar Pamyati Kirichenko (*M. canadensis* = *M. arvensis* var. *piperascens*)

Условия и схема эксперимента. Исследования проводили на экспериментальном участке научно-исследовательского отдела экспериментальной биологии и патологии растений ГБС РАН (55,864° с. ш., 37,597° в. д.). Мятую размножали столонами и корневищами, высаживая их в конце мая в борозды на расстоянии 10-15 см друг от друга с междурядьями 70 см. В течение вегетационного периода растения выращивали с дополнительным поливом. Исследования проводили на растениях первого, второго и третьего годов вегетации. У растений второго года вегетации для оптимизации сроков уборки анализировали состав эфирного масла надземной массы в фазы бутонизации, массового цветения и окончания цветения.

Определение содержания и состава эфирного масла. Навеску воздушно-сухих надземных частей растения массой до 20 г измельчали и подвергали гидродистилляции в течение 2 часов в соответствии со стандартной методикой, описанной в Государственной фармакопее XIII (ОФС.1.5.3.0010.15) [14]. Полученные эфирные масла хранили в темноте до проведения анализа.

Качественный состав масла определяли методом газовой хроматографии с масс-спектрометрией в ЦКП ФИЦ «Биотехнология» РАН (RFMEFI62114X0002) на хроматографе Shimadzu GS 2010 с масс-детектором GCMS-QP 2010. Использовали неполярную капиллярную колонку SPB-1 (метилсиликон) длиной 30 м и диаметром 0,25 мм. Образцы растворяли в бензоле в соотношении 1:150. Параметры хроматографирования: температура инжектора – 180 °С, интерфейса – 205 °С, детектора – 200 °С; газ-носитель – гелий; поток через колонку – 1 см³/мин; режим деления потока – 1:10. Параметры масс-детектора: режим регистрации – TIC, диапазон масс – 30-400 m/z. Для веществ с индексом удерживания до 1300 применяли следующий температурный режим: изотерма при 60 °С в течение 3 мин, нагрев со скоростью 2 °С/мин до 230 °С и изотерма при 230 °С в течение 2 мин. Для веществ с индексом удерживания выше 1300: изотерма при 60 °С в течение 1 мин, нагрев со скоростью 4 °С/мин до 230 °С и изотерма при 230 °С в течение 2 мин. Для определения линейных индексов удерживания использовали смесь n-алканов (нонан, декан, тридекан, пентадекан, гептадекан).

Статистическая обработка данных. Данные представлены как среднее значение ± стандартная ошибка среднего.

Результаты и обсуждения. Долговечность плантаций мяты в значительной степени зависит от климатических условий зоны возделывания и зимостойкости сорта. Ранее нами была показана высокая зимостойкость корневищ мяты сорта Памяти Кириченко [13, 15], что делает возможным многолетнее культивирование данного сорта в Средней

полосе России. Эта технология исключает затраты на посадочный материал в течение второго и третьего годов эксплуатации плантации, что существенно снижает себестоимость конечной продукции.

Растения мяты сорта Памяти Кириченко характеризовались высокой скоростью нарастания биомассы. При посадке в середине мая первого года вегетации к первой декаде июля формировались хорошо облиственные кусты с 2-3 побегами. В последующие годы вегетация начиналась в первой-второй декадах мая. Фаза бутонизации в разные годы наступала в последней декаде июля – первой декаде августа, а массовое цветение, в зависимости от года наблюдений, – с начала до середины августа.

Урожайность зеленой массы в первый год вегетации составила 3,5 т/га, на второй год увеличилась на 40 %, а на третий год снизилась на 15 % по сравнению со вторым годом (таблица 1). Выход эфирного масла из воздушно-сухой надземной массы статистически значимо зависел от года вегетации. Эти результаты согласуются с данными Хлыпенко и Феськова (2018) [16] и Kumaretal (2024) [17] и сопоставимы с результатами Soltanbeigietal (2021) [9].

Таблица 1 – Урожайность и продуктивность мяты сорта Памяти Кириченко по годам вегетации ($M \pm m$)
Table 1 – Yield and productivity of mint variety Pamyati Kirichenko by growing season (mean $\pm$ SE)

Показатель / Indicator	I год вегетации / The first year of vegetation	II год вегетации / The second year of vegetation	III год вегетации / The third year of vegetation
Урожайность зеленой массы, т/га / Yield of green mass, t/ha	3,5 $\pm$ 0,24	4,9 $\pm$ 0,35	4,2 $\pm$ 0,2
Содержание эфирного масла, % / Essential oil Content, %	2,90 $\pm$ 0,15	3,95 $\pm$ 0,20	3,20 $\pm$ 0,20
Продуктивность выхода эфирного масла, кг/га / Productivity of essential oil yield, kg/ha	102,0 $\pm$ 10,1	194,0 $\pm$ 12,5	133,0 $\pm$ 10,5

Согласно нашим предыдущим исследованиям [13], максимальное содержание эфирного масла у растений мяты различных видов наблюдается в фазе массового цветения. Выход эфирного масла из воздушно-сухой надземной массы у сорта Памяти Кириченко увеличивался в эту фазу на 10-12 % по сравнению с фазой бутонизации. В среднем выход эфирного масла составил 2,9 % в первый год вегетации, 3,9 % – во второй и 3,25 % – в третий. Это значение несколько ниже, чем у мяты перечной [18], однако близко к результатам, полученным для других ментоловых мят [19, 20]. Продуктивность эфирного масла в первый год вегетации составила 102 кг/га, достигла максимума на второй год (194 кг/га) и снизилась на третий год (133 кг/га).

Биосинтез эфирного масла является частью адаптационного ответа растения на изменения температуры и влажности. Входящие в его состав летучие органические соединения способствуют стабилизации среды обитания растения, нормализуя фотохимические и биохимические процессы в тканях [21, 22].

Методом хромато-масс-спектрометрии в эфирном масле было идентифицировано 53 компонента. Анализ динамики компонентного состава в ходе онтогенеза выявил значительные изменения биосинтетической активности (таблица 2). Максимальное содержание ментола (51,4 %) отмечено в фазе массового цветения, что на 3,5 % выше, чем в фазе бутонизации. Это определяет данную фазу как оптимальную для сбора сырья как для фармацевтических целей, так и для получения эфирного масла.

При переходе от бутонизации к массовому цветению наблюдалось значительное снижение доли ментона (с 10,5 % до 5,96 %) и изоментона (с 21,5 % до 18,4 %), что свидетельствует о переориентации биосинтетических путей в сторону образования ментола. В фазе отцветания, которая сопровождалась увеличением численности тли и появлением грибковых поражений, отмечен рост содержания соединений с потенциальной фунги- и инсектицидной активностью, таких как β -кариофиллен и 1,8-цинеол.

Таблица 2 – Динамика компонентного состава эфирного масла растений сорта Памяти Кириченко второго года вегетации на разных стадиях онтогенеза (массовая доля в % от общего состава)
Table 2 – Dynamics of the essential oil composition in mint variety Pamyati Kirichenko during the second growing year at different ontogenesis stages (mass fraction, % of total composition)

Компонент эфирного масла / Essential oil Component	Фаза бутонизации / The budding phase	Фаза массового цветения / The phase of mass flowering	Фаза отцветания / The fading phase
Ментол / Menthol	49,6	51,4	50,3
Ментон / Menthone	10,5	5,96	6,06
Изоментон / Isomenthone	21,5	18,4	19,8
Ментилацетат / Menthyl Acetate	13,5	15,1	12,3
D-лимонен / D-limonene	1,11	0,82	0,75
Пулегон / Pulegon	0,22	0,21	0,15
β-кариофиллен / β-caryophyllene	0,50	0,62	0,71
1,8-цинеол / 1,8-cineole	0,21	0,33	0,35
Выход эфирного масла, % / Essential oil output, %	2,90 ± 0,21	3,95 ± 0,35	3,25 ± 0,15

Примечание: жирным шрифтом выделены ключевые показатели. Значения представлены как средние.
Note: Key indicators are highlighted in bold. Values are presented as averages.

Среднемесячная температура воздуха в течение вегетационных сезонов I-III годов исследований превышала многолетние нормы на 1,5-3,8 °С. Состав эфирного масла растений разных лет вегетации представлен в таблице 3. Результаты показывают, что растения второго и третьего года вегетации превосходят растения первого года, как по продуктивности, так и по качеству эфирного масла. Во второй и третий годы была зафиксирована максимальная концентрация ментола (51,4 % и 52,1 % соответственно), ментона и изоментона, а также более высокий выход масла. Напротив, в первый год вегетации (наиболее прохладный) содержание ментола было минимальным (40,3 %), при этом доля ментилацетата резко возросла (25,2 %). Это указывает на адаптационную стратегию растения, при которой в менее благоприятных условиях синтез более окисленных форм терпеноидов (ментилацетат) может замещать производство ментола.

Таблица 3 – Компонентный состав эфирного масла растений сорта Памяти Кириченко I-III годов вегетации (массовая доля в % от общего состава)

Table 3 – Essential oil composition of mint variety Pamyati Kirichenko from the 1st to the 3rd growing year (mass fraction, % of total composition)

Компонент эфирного масла / Essential oil Component	I год вегетации / The first year of vegetation	II год вегетации / The second year of vegetation	III год вегетации / The third year of vegetation
Ментол / Menthol	40,3	51,4	52,1
Ментон / Menthone	7,8	6,0	8,2
Изоментон / Isomenthone	17,6	18,4	19,3
Ментилацетат / Menthyl Acetate	25,2	15,1	8,9
Изоментол / Isomenthol	0,9	1,1	1,2
Выход эфирного масла, % / Essential oil output, %	3,01 ± 0,18	3,95 ± 0,35	3,52 ± 0,20

Примечание: Жирным шрифтом выделены ключевые показатели. Значения представлены как средние.
Note: Key indicators are highlighted in bold. Values are presented as averages.

Можно констатировать, что содержание ментола в эфирном масле интродуцированных растений сорта Памяти Кириченко ниже, чем у культиваров этой разновидности, выращенных в южных регионах [2]. Однако, получаемое масло соответствует требованиям национальных стандартов ГОСТ 31791-2017 и ГОСТ-ISO 9776-2017, согласно которым содержание ментола должно находиться в пределах 35-60 %. Умеренное содержание ментола обеспечивает приятный аромат, сбалансированный вкус и высокую дегустационную оценку масла, что позволяет использовать сырье для производства «аптечного листа», а также в качестве источника мятного масла и ментола.

Несмотря на сохранение значительного содержания эфирного масла в сырье третьего года вегетации, дальнейшее возделывание культуры становится менее рентабельным из-за снижения урожайности. Наблюдается изреживание посадок, образование проплешин и активное развитие многолетних сорняков. В связи с этим наиболее рациональным в условиях средней полосы России является трехлетний цикл культивирования данного сорта.

Закключение. Установлена принципиальная возможность успешной интродукции и трехлетнего возделывания мяты сорта Памяти Кириченко в условиях средней полосы России.

Определены оптимальные сроки сбора сырья: фаза массового цветения, обеспечивающая максимальный выход эфирного масла (3,95 %) и содержание в нем ментола (51,4 %).

Наибольшее содержание эфирного масла в надземной массе зафиксировано у растений второго и третьего годов вегетации (3,95 % и 3,52 % соответственно). Максимальная концентрация ментола в масле составила в среднем 51,4 % и 52,1 %.

Подтверждено соответствие получаемого эфирного масла требованиям национальных стандартов качества (ГОСТ 31791-2017 и ГОСТ-ISO 9776-2017), что делает целесообразным его использование в качестве источника мятного масла, ментола и сырья для производства «аптечного листа».

Conclusions. The successful introduction and three-year cultivation of the Pamyati Kirichenko mint variety in central Russia has been demonstrated. The optimal harvest time was determined to be the mass flowering phase, which ensures maximum essential oil yield (3.95 %) and menthol content (51.4 %). The highest essential oil content in the aerial parts was recorded in the second and third years of vegetation (3.95 % and 3.52 %, respectively), with corresponding peak menthol concentrations averaging 51.4 % and 52.1 %. The resulting essential oil was confirmed to comply with the relevant national quality standards (State standard-ISO 31791-2017 and State standard-ISO 9776-2017), confirming its suitability as a source of mint oil, menthol, and raw material for the production of "pharmacy leaf."

Библиографический список

1. Gupta S., Kumar A., Gupta A. K., Jnanesha A. C., Talha M., Srivastava A., Lal R. K. Industrial mint crop revolution, new opportunities, and novel cultivation ambitions. A review. *Ecological Genetics and Genomics*. 2023. V. 27. Art. 100174.
2. Singh P. S. Potential of Indian menthol mint oil in production and export: a growth and instability analysis. *Agri Sci Food Res*. 2012. V. 11. Art. 214.
3. Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений (ФГБУ «Госсорткомиссия»). <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektcionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/pamyati-kirichenko-myata-polevaya>
4. Кириченко Е. Б. Экофизиология мяты: производственный процесс и адаптационный потенциал. М.: Наука, 2008. 140 с.
5. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 год. М., 2025. 104 с.
6. Железняк Т., Баранова Н., Ворнику З. Сравнительный анализ производственных показателей образцов мяты в различные по метеоусловиям годы. *NordulRepublicii Moldova: realizări, probleme, perspective*. 2023. Ed. 7. Pp. 71-77.
7. Jadwisieńczyk K. K., Kaliniewicz Z., Majkowska-Gadomska J., Mikulewicz E., Francke A., Marks M., Choszcz D. J. Effect of Light on the Yield and Nutrient Composition of Selected Mint Species Grown in a Controlled Environment. *Agronomy*. 2025. No 15 (8). Art. 1959.
8. Lothe N. B., Mazeed A., Pandey J., Patairiya V., Verma K., Semwal M., Verma R. K. Maximizing yields and economics by supplementing additional nutrients for commercially grown menthol mint (*Mentha arvensis* L.) cultivars. *Industrial Crops and Products*. 2021. V. 160. Art. 113110.
9. Soltanbeigi A., Özgüven M., Hassanpouraghdam M. B. Planting-date and cutting-time affect the growth and essential oil composition of *Mentha×piperita* and *Mentha arvensis*. *Industrial Crops and Products*. 2021. V. 170. Art. 113790.
10. Aflatuni A. et al. Optimum Harvesting Time of Four *Mentha* Species in Northern Finland. *Journal of Essential Oil Research*. 2006. V. 18 (2). Pp. 134-138.
11. Шуваева Т. П., Бородин А. П. Технология выращивания переходящей мяты второго-третьего года жизни. *Масличные культуры*. 2018. № 1 (173). С. 67-70.
12. Савченко О. М. Определение оптимального срока эксплуатации насаждений мяты длиннолистной. *Вестник КрасГАУ*. 2025. № 6. С. 3-20.
13. Шелепова О. В., Кондратьева В. В., Олехнович Л. С., Зайчик Б. Ц., Ружицкий А. О. Вариации состава эфирного масла и накопления салициловой кислоты у *Mentha arvensis* var. *piperascens* (Lamiaceae) при интродукции в Московском регионе. *Растительные ресурсы*. 2016. Т. 52. № 3. С. 414-424.
14. Государственная Фармакопея XIII (ГФ 13 online). ОФС.1.5.3.0010.15 <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-5/1-5-1/opredelenie-soderzhaniya-efirnogo-masla-v-lekarstvennom-rastitelnom-syre-i-lekarstvennykh-sredstvakh>
15. Шелепова О. В., Кондратьева В. В., Воронкова Т. В., Олехнович Л. С. О взаимосвязи выхода и состава эфирного масла и уровня салициловой кислоты у растений мяты на разных этапах онтогенеза. *Известия РАН. Сер. Биологическая*. 2013. № 3. С. 309-314.

16. Хлыпенко Л. А., Феськов С. А. Хемотипическое разнообразие видов рода *Mentha* L. в коллекции ароматических и лекарственных растений Никитского ботанического сада. Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2018. Т. 146. С. 121-127.

17. Kumar D., Kumar A., Nilofer N., Singh A. K. et al. Maximizing essential oil yield and quality in menthol mint (*Mentha arvensis* L.) by reducing water requirement through deficit irrigation practices. Agro techniques in Industrial Crops. 2024. V. 4 (1). Pp. 24-37.

18. Быкова О. А., Тропина Н. С., Тхаганов В. Р., Морозов А. И. Особенности компонентного состава эфирного масла перспективных сортов мяты перечной и пути повышения его выхода. Масличные культуры. 2024. № 2 (198). С. 61-68.

19. Bahl J. R., Singh A. K., Lal R. K., Gupta A. K. High-yielding improved varieties of medicinal and aromatic crops for enhanced income. New age herbals: resource, quality and pharmacognosy. 2018. Pp. 247-265.

20. Mishra A., Gupta P., Dhawan S. S., Lal R. K. Adaptability and stability pattern of a genetic character-trichome diversity in menthol mint (*Mentha arvensis* L.). Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences. 2020. V. 42 (1-2). Pp. 121-126.

21. Chiappero J., Cappellari L. D. R., Palermo T. B., Giordano, W., Banchio E. Influence of drought stress and PGPR inoculation on essential oil yield and volatile organic compound emissions in *Mentha piperita*. Horticulturae. 2022. V. 8 (12). Art. 1120.

22. Abbas F., O'Neill Rothenberg D., Zhou Y., Ke Y., Wang H. C. Volatile organic compounds as mediators of plant communication and adaptation to climate change. Physiologia Plantarum. 2022. V. 174 (6). Art. 13840.

References

1. Gupta S., Kumar A., Gupta A. K., Jnanesha A. C., Talha M., Srivastava A., Lal R. K. Industrial mint crop revolution, new opportunities, and novel cultivation ambitions. A review. Ecological Genetics and Genomics. 2023. V. 27. Art. 100174.

2. Singh P. S. Potential of Indian menthol mint oil in production and export: a growth and instability analysis. Agri Sci Food Res. 2012. V. 11. Art. 214.

3. State Commission of the Russian Federation for Testing and Protection of Breeding Achievements (FGBU "Gossortkomissiya"). State Register of Selection Achievements Approved for Use. Vol. 1. Plant Varieties: 'Pamyati-Kirichenko' Field Mint. <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektionsnykh-dostizheniy-dopushchennykh-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteniy/pamyati-kirichenko-myata-polevaya>

4. Kirichenko E.B. Ecophysiology of Mint: Production Process and Adaptive Potential. Moscow: Nauka, 2008. 140 p.

5. Report on Climate Features in the Territory of the Russian Federation for 2024. Moscow, 2025. 104 p.

6. Zheleznyak T., Baranova N., Vorniku Z. Comparative analysis of production indicators of mint samples in years with different weather conditions. Nordul Republicii Moldova: realizări, probleme, perspective. 2023. Ed. 7. Pp. 71-77.

7. Jadwisieńczyk K. K., Kaliniewicz Z., Majkowska-Gadomska J., Mikulewicz E., Francke A., Marks M., Choszcz D. J. Effect of Light on the Yield and Nutrient Composition of Selected Mint Species Grown in a Controlled Environment. Agronomy. 2025. No 15 (8). Art. 1959.

8. Lothe N. B., Mazeed A., Pandey J., Patairiya V., Verma K., Semwal M., Verma R. K. Maximizing yields and economics by supplementing additional nutrients for commercially grown menthol mint (*Mentha arvensis* L.) cultivars. Industrial Crops and Products. 2021. V. 160. Art. 113110.

9. Soltanbeigi A., Özgüven M., Hassanpouraghdam M. B. Planting-date and cutting-time affect the growth and essential oil composition of *Mentha piperita* and *Mentha arvensis*. Industrial Crops and Products. 2021. V. 170. Art. 113790.

10. Aflatuni A. et al. Optimum Harvesting Time of Four *Mentha* Species in Northern Finland. Journal of Essential Oil Research. 2006. V. 18 (2). Pp. 134-138.

11. Shuvaeva T. P., Borodkina A. P. Cultivation technology for overwintering mint in the second and third year of life. Oil Crops. 2018. No 1 (173). Pp. 67-70.

12. Savchenko O. M. Determining the optimal lifespan of longleaf mint plantations. Vestnik KrasSAU. 2025. No 6. Pp. 3-20.

13. Shelepova O. V., Kondratyeva V. V., Olekhovich L. S., Zaychik B. Ts., Ruzhitsky A. O. Variations in essential oil composition and salicylic acid accumulation in *Mentha arvensis* var. *piperascens* (Lamiaceae) during introduction in the Moscow region. Plant resources. 2016. Vol. 52. No 3. Pp. 414-424.

14. State Pharmacopoeia of the Russian Federation, XIII Edition (SP XIII online). OFS.1.5.3.0010.15 "Determination of Essential Oil Content in Medicinal Herbal Raw Materials and Medicinal Herbal Preparations". <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1-5/1-5-1/opredelenie-soderzhaniya-efirnogo-masla-v-lekarstvennom-rastitelnom-syre-i-lekarstvennykh-sredstvakh>

15. Shelepova O. V., Kondratyeva V. V., Voronkova T. V., Olekhovich L. S. On the relationship between the yield and composition of essential oil and the level of salicylic acid in mint plants at different ontogenetic stages. Proceedings of RAS. Series: Biology. 2013. No 3. Pp. 309-314.

16. Khlypenko L. A., Feskov S. A. Chemotypic diversity of *Mentha* L. species in the aromatic and medicinal plant collection of the Nikitsky Botanical Garden. Plant Biology and Horticulture: Theory and Innovation. 2018. Vol. 146. Pp. 121-127.

17. Kumar D., Kumar A., Nilofer N., Singh A. K. et al. Maximizing essential oil yield and quality in menthol mint (*Mentha arvensis* L.) by reducing water requirement through deficit irrigation practices. Agro techniques in Industrial Crops. 2024. V. 4 (1). Pp. 24-37.

18. Bykova O. A., Tropina N. S., Thagapov V. R., Morozov A. I. Features of the component composition of essential oil from promising peppermint cultivars and ways to increase its yield. Oil Crops. 2024. No 2 (198). Pp. 61-68.

19. Bahl J. R., Singh A. K., Lal R. K., Gupta A. K. High-yielding improved varieties of medicinal and aromatic crops for enhanced income. New age herbals: resource, quality and pharmacognosy. 2018. Pp. 247-265.

20. Mishra A., Gupta P., Dhawan S. S., Lal R. K. Adaptability and stability pattern of a genetic character-trichome diversity in menthol mint (*Mentha arvensis* L.). Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences. 2020. V. 42 (1-2). Pp. 121-126.

21. Chiappero J., Cappellari L. D. R., Palermo T. B., Giordano W., Banchio E. Influence of drought stress and PGPR inoculation on essential oil yield and volatile organic compound emissions in *Mentha piperita*. *Horticulturae*. 2022. V. 8 (12). Art. 1120.

22. Abbas F., O'Neill Rothenberg D., Zhou Y., Ke Y., Wang H. C. Volatile organic compounds as mediators of plant communication and adaptation to climate change. *Physiologia Plantarum*. 2022. V. 174 (6). Art. 13840.

Информация об авторах

Ткачева Екатерина Васильевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник, ФГБУН Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН (ГБС РАН) (Российская Федерация, 127276, г. Москва, ул. Ботаническая, 4), e-mail: qbsad_lib@mail.ru

Олехнович Людмила Сергеевна, младший научный сотрудник, ФГБУН Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН (ГБС РАН) (Российская Федерация, 127276, г. Москва, ул. Ботаническая, 4), e-mail: mila.oleh@mail.ru

Шелепова Ольга Владимировна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУН Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН (ГБС РАН) (Российская Федерация, 127276, г. Москва, ул. Ботаническая, 4), e-mail: shov_gbsad@mail.ru

Authors' Information

Tkacheva Ekaterina Vasilyevna, Candidate of Biological Sciences, Researcher, N. V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (MBG RAS) (Russian Federation, 127276, Moscow, Botanicheskaya St., 4), e-mail: qbsad_lib@mail.ru

Olekhnovich Lyudmila Sergeevna, Junior Researcher, N. V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (MBG RAS) (Russian Federation, 127276, Moscow, Botanicheskaya St., 4), e-mail: mila.oleh@mail.ru

Shelepova Olga Vladimirovna, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, N. V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (MBG RAS) (Russian Federation, 127276, Moscow, Botanicheskaya St., 4), e-mail: shov_gbsad@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-30

THE MILLET VARIETIES PRODUCTIVITY AGRICULTURAL AND ECOLOGICAL ASSESSMENT IN THE LOWER VOLGA REGION CONDITIONS¹Neymysheva A. N., ¹Karyakin V. V., ¹Smutnev P. A., ^{2,3}Zelenev A. V., ²Pakina E. H.

¹*Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences»
Volgograd, Russian Federation*

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

³*Federal Research Center «Nemchinovka»
Moscow, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: zelenev.a@bk.ru

Received 22.02.2026

Submitted 31.03.2026

Summary

Based on the results of three years of research in the arid conditions of the Lower Volga region, the Diana variety and variety samples No. 4 and No. 11 were identified as the most productive and adaptive genotypes, promising for zoning and use in breeding in conditions of climatic variability.

Abstract

Introduction. Agricultural and ecological assessment of millet varieties is aimed at studying their adaptive potential to local agricultural and climatic conditions, resistance to stress factors and the ability to form stable yields. An integrated approach allows us to rank varieties by adaptability and predict their behavior under climate variability, which is especially relevant for risky farming zones, where millet has traditionally been a highly stress-resistant crop. **Object.** Varieties and promising breeding samples of millet (*Panicum miliaceum* L.) of different ecological and geographical origins. **Materials and methods.** In 2023-2025, a comprehensive assessment of millet genotypes was carried out in the dry steppe zone of the Lower Volga region in the experimental field of the Kamyshin laboratory of the Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences. The research included demonstration sowing and competitive variety testing on chestnut heavy loam soils. The meteorological conditions of the growing seasons were characterized by an increase in temperature (10.5-35.2 % of the norm) and a moisture deficit (HTC = 0.40-0.69), corresponding to a very arid climate zone. Statistical processing of data was performed using the analysis of variance (ANOVA) method. **Results and conclusions.** A reliable influence of the varietal factor on biometric parameters (plant height, panicle length, number of internodes), 1000-grain weight and yield was established. In the demonstration sowing, the Diana variety provided the highest yield (2.11 t/ha) and 1000-grain weight (8.3 g), reliably exceeding the Saratovskoye Zheltoye and Kamyshinskoye 98 standards. In the competitive test, variety sample No. 4 became the leader (2.04 t/ha, 8.3 g), surpassing the control varieties by 15.2-22.1 % in yield and by 5.1 % in grain size. The Zolotistoe and Kazatske varieties were identified as promising donors of large-grain traits and drought adaptability. Based on the research results, the Diana variety is recommended for further study and potential zoning in the dry steppe zone; variety samples No. 4 and No. 11 are recommended for continued breeding. The isolated genotypes have the potential to improve the efficiency of millet cultivation under conditions of climatic variability.

Keywords: millet yield, weight of 1,000 grains, millet cultivation conditions, millet varieties, characteristics of millet varieties.

Citation. Neymysheva A. N., Karyakin V. V., Smutnev P. A., Zelenev A. V., Pakina E. N. The millet varieties productivity agricultural and ecological assessment in the Lower Volga region conditions. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 269-279 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-30.

Authors' contribution. All authors contributed equally to the planning, execution, and analysis of this study. The final version of the manuscript was approved by all co-authors.

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

УДК 633.17:631.526.32(470.44/.47)

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ СОРТОВ ПРОСА В УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

¹Неймышева А. Н., старший агроном-селекционер

¹Карякин В. В., агроном-селекционер

¹Смутнев П. А., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий агроном-селекционер

^{2,3}Зеленев А. В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник

²Пакина Е. Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН
г. Волгоград, Российская Федерация

²ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»
г. Москва, Российская Федерация

³Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»
г. Москва, Российская Федерация

Актуальность. Агроэкологическая оценка сортов проса направлена на изучение их адаптационного потенциала к локальным агроклиматическим условиям, резистентности к стрессовым факторам и способности формировать стабильные урожаи. Комплексный подход позволяет ранжировать сорта по адаптивности и прогнозировать их поведение в условиях климатической изменчивости, что особенно актуально для зон рискованного земледелия, где просо традиционно выступает как культура с высокой стрессоустойчивостью. **Объект.** Сорта и перспективные селекционные образцы проса посевного (*Panicum miliaceum* L.) различного эколого-географического происхождения. **Материалы и методы.** В 2023-2025 гг. проведена комплексная оценка генотипов проса в условиях сухостепной зоны Нижнего Поволжья на опытном поле Камышинской лаборатории ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии РАН». Исследования включали демонстрационный посев и конкурсное сортоиспытание на каштановых тяжелосуглинистых почвах. Метеоусловия вегетационных периодов характеризовались повышением температурного фона (10,5-35,2 % к норме) и дефицитом увлажнения (ГТК = 0,40-0,69), соответствующим зоне очень засушливого климата. Статистическую обработку данных выполняли методом дисперсионного анализа (ANOVA). **Результаты и выводы.** Установлено достоверное влияние сортового фактора на биометрические параметры (высота растений, длина метёлки, количество междоузлий), массу 1000 зёрен и урожайность. В демонстрационном посеве сорт Диана обеспечил наибольшую урожайность (2,11 т/га) и массу 1000 зёрен (8,3 г), достоверно превысив стандарты Саратовское жёлтое и Камышинское 98. В конкурсном испытании лидером стал сортообразец № 4 (2,04 т/га, 8,3 г), превзойдя контрольные сорта на 15,2-22,1 % по урожайности и на 5,1 % по крупности зерна. Сорта Золотистое и Казацке выделены как перспективные доноры признаков крупнозёрности и адаптивности к засухе. По итогам исследований сорт Диана рекомендован для дальнейшего изучения и потенциального районирования в зоне сухих степей; сортообразцы № 4 и № 11 – для продолжения селекционного процесса. Выделенные генотипы обладают потенциалом для повышения эффективности возделывания проса в условиях климатической изменчивости.

Ключевые слова: урожайность проса, масса 1000 зёрен, условия возделывания проса, сорта проса, характеристики сортов проса.

Цитирование. Неймышева А. Н., Карякин В. В., Смутнев П. А., Зеленев А. В., Пакина Е. Н. Агроэкологическая оценка продуктивности сортов проса в условиях Нижнего Поволжья. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 269-279. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-30.

Авторский вклад. Все авторы внесли эквивалентный вклад в планирование, выполнение и анализ данного исследования. Окончательная версия рукописи была согласована всеми соавторами.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Просо представляет ценную продовольственную и кормовую культуру с широким спектром хозяйственного применения. Из зерна проса производят пшено – крупу, характеризующуюся высокими органолептическими свойствами и повышенным содержанием протеинов и липидов. Мукомольное использование проса ограничено: выпечка из

просяной муки быстро черствеет и уступает по качеству традиционным хлебобулочным изделиям [1, 2]. Продукты переработки проса находят широкое применение в животноводстве: зерно и побочные продукты (мучка, лузга) служат высокопитательным кормом для свиней и домашней птицы; солома и полowa используются в рационах крупного рогатого скота [3, 4]. Энергетическая ценность продуктов проса выражается в следующих показателях: 1 кг зерна содержит 0,97 кормовой единицы, соломы – 0,51, полowy – 0,42 кормовой единицы. Просяное сено по питательности сопоставимо с сеном из могара, при этом отличается более нежной текстурой. Одна кормовая единица эквивалентна 5,1 кг зелёной массы проса [5]. Благодаря комплексу биологических особенностей – укороченному вегетационному периоду, высокой засухоустойчивости и экономному расходу семян – просо эффективно используется в качестве: страховой культуры (при гибели основных посевов); пожнивной культуры (для повторных посевов после уборки ранних культур); покровной культуры (при закладке многолетних трав). В регионах с продолжительным тёплым периодом (Северный Кавказ, Нижнее Поволжье) агротехнологии позволяют получать два урожая проса за один вегетационный сезон [6]. Культура характеризуется повышенной резистентностью к фитопатогенам и вредителям, устойчивостью к полеганию и термическому стрессу, что обуславливает её востребованность в зонах рискованного земледелия. Дополнительно зерно проса применяется в пищевой промышленности для производства солода [7].

Исследования в области агроэкологической оценки и стабильности сортов проса направлены на изучение их адаптационного потенциала к локальным агроклиматическим условиям, резистентности к стрессовым факторам среды и способности формировать воспроизводимые урожаи в различных условиях возделывания. Данные работы реализуются в разнообразных почвенно-климатических зонах, в том числе в агроэкосистемах Нижнего Поволжья [8, 9]. Основные задачи исследований: идентификация экологически пластичных сортов, демонстрирующих стабильную продуктивность в широком спектре условий; оценка адаптивного потенциала генотипов в рамках конкурсного сортоиспытания; выявление доноров хозяйственно-ценных признаков для их целенаправленного использования в селекционных программах [10, 11]. Полученные данные имеют стратегическое значение для развития селекции проса, обеспечивая: создание адаптивных сортов, способных реализовывать высокий урожайный потенциал в переменных почвенно-климатических условиях; формирование банка генетических ресурсов с акцентом на формы с широкой экологической пластичностью; изучение фенотипической реакции сортов на абиотические факторы (урожайность зерна и зелёной массы, густота продуктивного стеблестояния, морфометрические параметры) [12, 13]. Комплексный подход к агроэкологической оценке позволяет не только ранжировать сорта по степени адаптивности, но и прогнозировать их поведение в условиях климатической изменчивости. Это приобретает особую актуальность для зон рискованного земледелия, где просо традиционно выступает как культура с высокой стрессоустойчивостью и надёжностью [14, 15].

Селекционный процесс опирается на взаимосвязь морфометрических показателей и продуктивности, существенно варьирующих под воздействием климатических факторов [16]. Ключевые морфологические характеристики включают высоту стебля (0,45-1,5 м) и длину метёлки (10-60 см), причём наблюдается чёткая экологическая дифференциация: в засушливых южных регионах доминируют сжатые формы для минимизации влагопотерь, тогда как на севере преобладают рыхлые соцветия [17]. Продуктивность соцветия составляет 300-1000 зёрен, а масса 1000 зёрен варьирует от 4 до 9 г (крупнозёрность способствует лучшей всхожести в условиях дефицита влаги). Оптимальная плёнчатость зерна (12-14 %) гарантирует выход крупы на уровне 82-85 % [18]. Итоговая урожайность определяется комплексом факторов: густотой продуктивного стеблестояния, кустистостью, наполненностью зерна, продолжительностью вегетационного периода, фотосинтетическим потенциалом и устойчивостью к фитопатогенам (в частности, к меланозу) [19, 20].

Основная цель исследования – комплексная агроэкологическая оценка сортов и селекционных образцов проса посевного (*Panicum miliaceum* L.) в условиях изменчивых климатических факторов для выявления высокопродуктивных, адаптивных генотипов, пригодных для возделывания в Нижнем Поволжье.

Материалы и методы. В период 2023-2025 гг. на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии Российской академии наук» (ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии РАН») были проведены научные

исследования на опытном поле Камышинской лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства. Объектом изучения являлись сорта и перспективные селекционные образцы проса различного эколого-географического происхождения, предметом – закономерности формирования продуктивности и биометрических показателей в зависимости от сортовых особенностей и условий вегетационного периода.

Опытный участок расположен в сухостепной зоне и представлен каштановыми среднесиловыми тяжелосуглинистыми почвами. Агрохимический анализ пахотного слоя показал низкое содержание гумуса (2,0-2,2 %), средний уровень обеспеченности гидролизующим азотом по Корнфилду (9,16-9,48 мг/100 г почвы), повышенное содержание подвижного калия (32,96-33,42 мг/100 г) и низкое – подвижного фосфора по Мачигину (2,29-2,65 мг/100 г). Реакция почвенной среды близка к нейтральной (рН 7,4).

Посев в рамках конкурсного сортоиспытания проводился сплошным рядовым способом в соответствии с методикой Государственной комиссии по испытанию и охране селекционных достижений. Норма высева составляла 3,0 млн всхожих семян на 1 га. Площадь учетной делянки – 24 м², повторность четырехкратная. В качестве стандартов использовались сорта: Саратовское желтое (ФГБНУ ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов); Камышинское 98 (ФГБНУ ФНЦ агроэкологии РАН, г. Волгоград). Также изучались новый сорт Диана и перспективные гибридные формы сложной ступенчатой гибридизации: № 4 – Саратовское-10 х [(Саратовское-8 х Сангвиниум-7) х К8982]; № 11 – (Саратовское-10 х [К6990 х (Саратовское-8 х Сангвиниум-7)]) х [(Камышинское-67 х К7669) х (Камышинское-95 х Саратовское-10)].

Демонстрационный посев осуществлялся сплошным рядовым способом (норма высева – 3,0 млн всхожих семян на 1 га, площадь делянки – 9 м²). В опыт были включены восемь сортов проса: три сорта селекции ФГБНУ ФНЦ агроэкологии РАН (Камышинское 98 (St), Камышинское Юбилейное, Диана), два сорта ФГБНУ ФАНЦ Юго-Востока (Золотистое, Саратовское желтое (St)), а также сорта Казацье (ФНЦ зернобобовых и крупяных культур, г. Орёл), Казацке (Институт растениеводства им. В. Я. Юрьева НААН) и Золотая Орда (совместная селекция ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» и ООО ОВП «Покровское»).

Возделывание проса осуществлялось по адаптивной технологии, традиционной для каштановых почв сухостепной агроклиматической зоны. Фенологические наблюдения, учет роста и развития растений, а также уборка урожая с опытных делянок проводились в соответствии с методическими указаниями Государственной комиссии Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений. Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена методом дисперсионного анализа (ANOVA) с использованием программного пакета Statistica 20.0.

Результаты и обсуждение. Анализ метеорологических условий вегетации проса в 2023-2025 гг. выявил существенные отклонения температурного режима и увлажнения от среднеемноголетних значений, что оказало влияние на рост и развитие культуры (таблица 1).

Таблица 1 – Основные агроклиматические параметры вегетационного периода проса
(июнь-август, 2023-2025 гг.)

Table 1 – Main agricultural and climatic parameters of the growing season of millet
(June-August, 2023-2025)

Показатель / Indicator	Год / Year		
	2023	2024	2025
Среднемесячная температура воздуха, °C / Average monthly air temperature, °C	26,9	24,4	22,0
Среднегодовая температура воздуха, °C / Average annual air temperature, °C	19,9	19,9	19,9
Количество осадков, мм / Amount of precipitation, mm	84,3	155,8	114,1
Среднегодовое количество осадков, мм / Average annual precipitation, mm	143,1	143,1	143,1
Сумма активных температур, °C / The sum of active temperatures, °C	2131,7	2244,3	2022,9
Гидротермический коэффициент (ГТК) / Hydrothermal coefficient	0,40	0,69	0,56

Как следует из данных таблицы 1, в период вегетации проса (июнь-август) в 2023-2025 гг. наблюдалось устойчивое повышение температурного фона относительно климатической нормы. Среднемноголетняя температура воздуха за этот период составляет 19,9 °С. Фактические значения по годам распределились следующим образом: 2023 г. – 26,9 °С (+35,2 %), 2024 г. – 24,4 °С (+22,6 %), 2025 г. – 22,0 °С (+10,5 %). Наибольшее отклонение от нормы отмечено в 2023 г., что указывает на аномально тёплый характер вегетационного сезона в этот год. Устойчивое превышение температурного фона, особенно в 2023 г., в сочетании с дефицитом осадков (ГТК = 0,40) создавало стрессовые условия для роста проса, что могло негативно сказаться на формировании урожая.

Количество осадков за период вегетации проса существенно варьировало по годам исследований. При среднемноголетней норме 143,1 мм максимальная сумма осадков обеспечивалась в 2024 г. – 155,8 мм (+12,7 мм, или +8,9 % к норме). В 2023 и 2025 гг. отмечался дефицит увлажнения: 84,3 мм (-58,8 мм, или -41,1 %) и 114,1 мм (-29,0 мм, или -20,3 %) соответственно. Сочетание повышенного температурного фона и дефицита осадков в 2023 г. (ГТК = 0,40) создало условия острой почвенной засухи, тогда как более благоприятное соотношение тепла и влаги в 2024 г. (ГТК = 0,69) способствовало оптимальному развитию посевов проса.

Теплообеспеченность вегетационного периода проса, оценённая по сумме активных температур (≥ 10 °С), была достаточной во все годы исследований. Максимальное накопление тепла отмечено в 2024 г. – 2244,3 °С, что на 221,4 °С превышает показатель 2025 г. (2022,9 °С – минимальное значение). В 2023 г. сумма активных температур составила 2131,7 °С, что соответствует среднему уровню теплообеспеченности за период исследований. Полученные значения суммы активных температур (2022,9–2244,3 °С) превышают минимальную потребность проса в тепле за вегетацию (1800 °С), что свидетельствует о достаточной теплообеспеченности посевов во все годы исследований. Однако в сочетании с дефицитом осадков в 2023 г. (ГТК = 0,40) высокий температурный фон мог усиливать испарение и усугублять засушливые условия.

Анализ гидротермического коэффициента (ГТК) показал, что во все годы исследований вегетационный период проса протекал в условиях очень засушливого климата (ГТК = 0,40-0,69). По шкале Г. Т. Селянинова значения ГТК < 0,7 соответствуют зоне сухих степей с высоким риском засухи. Наименее благоприятным оказался 2023 г. (ГТК = 0,40 – чрезвычайно засушливый), тогда как 2024 г. (ГТК = 0,69) и 2025 г. (ГТК = 0,56) характеризовались несколько лучшими, но всё ещё недостаточными условиями увлажнения. Поэтому, метеорологические условия вегетации проса в 2023-2025 гг. характеризовались повышенным температурным фоном (превышение нормы на 10,5-35,2 %) и нестабильным увлажнением. Только 2024 г. можно считать относительно благоприятным (ГТК = 0,69), тогда как 2023 и 2025 гг. относились к засушливым (ГТК = 0,40 и 0,56 соответственно). Сочетание высоких температур и дефицита осадков создавало стрессовые условия для роста и развития проса, что могло отразиться на продуктивности культуры.

Сортовой фактор оказал существенное влияние на биометрические параметры растений проса: региональные сорта достоверно различались по всем изученным показателям роста и развития (таблица 2-4).

Анализ данных таблицы 2 показывает, что в среднем за 2023-2025 гг. в демонстрационном посеве не все сорта проса превысили стандарты по высоте растений. Контрольными сортами выступали Саратовское жёлтое (81,3 см) и Камышинское 98 (86,4 см); значение НСР₀₅ составило 0,29 см. Наибольшую высоту имел сорт Золотистое – 91,4 см. Это достоверно выше первого стандарта на 10,1 см (12,4 %), а второго – на 5,0 см (5,8 %). Сорт Диана (86,3 см) существенно превысил Саратовское жёлтое на 5,0 см (6,1 %), но находился на уровне Камышинского 98 (разница не превысила значение НСР₀₅). Сорт Казацке (83,0 см) достоверно превысил первый стандарт на 1,7 см (2,1 %), однако уступил второму на 3,4 см (3,9 %). Сорта Казачье и Золотая Орда (81,5 см) не имели существенных различий с первым стандартом, но уступали второму на 4,9 см (5,7 %). Сорт Камышинское Юбилейное достоверно уступал обоим стандартам: на 5,9 см (7,3 %) и 11,0 см (12,7 %) соответственно.

Таблица 2 – Высота растений сортов проса демонстрационного посева, сортов и сортообразцов конкурсного сортоиспытания за период 2023-2025 гг., см

Table 2 – Plant height of millet varieties for demonstration sowing, varieties and variety samples for competitive variety testing for the period 2023-2025, cm

Сорт, сортообразец / Variety	Год / Year			Среднее/ Average
	2023	2024	2025	
Демонстрационный посев / Demonstration seeding				
Камышинское 98 (St) / Kamishenskoe 98 (St)	74,9	91,2	93,2	86,4
Камышинское Юбилейное / Kamishenskoe Yubileinoe	68,1	79,2	78,8	75,4
Казачье / Kazache	77,7	89,1	77,6	81,5
Казачьке / Kazatske	76,1	89,2	83,7	83,0
Золотистое / Zolotistoe	78,6	101,4	94,1	91,4
Золотая Орда / Zolotaya Orda	74,9	85,6	84,1	81,5
Диана / Diana	77,5	90,8	90,5	86,3
Саратовское желтое (St) / Saratovskoe zheltoe (St)	72,4	95,7	75,7	81,3
НСР ₀₅ , см / sm	0,51	0,32	0,37	0,29
Конкурсное сортоиспытание / Competitive variety testing				
Саратовское желтое (St) / Saratovskoe zheltoe (St)	85,8	95,7	86,8	89,4
Камышинское 98 (St) / Kamishenskoe 98 (St)	80,0	96,3	93,2	89,8
Диана / Diana	82,5	93,1	84,8	86,8
№ 4 – Саратовское10х[(Саратовское8хСангвиниум7)хК8982] / No 4 Saratovskoe	77,8	90,7	84,7	84,4
№ 11 – (Саратовское-10х[K6990х(Саратовское8хСангвиниум7)]) х[(Камышинское67хК7669)х(Камышинское 95хСаратовское10)] / No 11 Saratovskoe	77,4	92,0	95,8	88,4
НСР ₀₅ , см / sm	1,19	0,2	0,26	0,4

В конкурсном сортоиспытании за 2023-2025 гг. наибольшую высоту растений сформировали сорта-стандарты: Саратовское жёлтое (89,4 см) и Камышинское 98 (89,8 см). Уровень значимости различий составил $НСР_{05} = 0,4$ см. Сорт Диана (86,8 см) достоверно уступал обоим стандартам: первому – на 2,6 см (2,9 %), второму – на 3,0 см (3,3 %). Сортообразец № 11 (88,4 см) также показал существенное отставание: на 1,0 см (1,1 %) от Саратовского жёлтого и на 1,4 см (1,6 %) от Камышинского 98. Наибольшее отставание выявлено у сортообразца № 4 (84,4 см): он оказался ниже первого стандарта на 5,0 см (5,9 %), а второго – на 5,4 см (6,0 %).

Таблица 3 – Длина метелки сортов проса демонстрационного посева, сортов и сортообразцов конкурсного сортоиспытания за период 2023-2025 гг., см

Table 3 – Length of panicle of millet varieties of demonstration sowing, varieties and variety samples of competitive variety testing for the period 2023-2025, cm

Сорт, сортообразец / Variety	Год / Year			Среднее / Average
	2023	2024	2025	
Демонстрационный посев / Demonstration seeding				
Камышинское 98 (St) / Kamishenskoe 98 (St)	19,8	22,6	21,2	21,2
Камышинское Юбилейное / Kamishenskoe Yubileinoe	17,0	18,3	18,6	18,0
Казачье / Kazache	21,3	19,6	17,7	19,5
Казачьке / Kazatske	20,1	20,4	19,5	20,0
Золотистое / Zolotistoe	23,3	24,4	22,3	23,3
Золотая Орда / Zolotaya Orda	21,3	18,2	20,8	20,1
Диана / Diana	18,9	19,4	20,2	19,5
Саратовское желтое (St) / Saratovskoe zheltoe (St)	18,9	21,9	19,4	20,1
НСР ₀₅ , см / sm	0,24	0,54	0,24	0,26
Конкурсное сортоиспытание / Competitive variety testing				
Саратовское желтое (St) / Saratovskoe zheltoe (St)	22,0	21,9	20,6	21,5
Камышинское 98 (St) / Kamishenskoe 98 (St)	19,3	19,8	21,2	20,1
Диана / Diana	19,7	19,7	19,5	19,6
№ 4 – Саратовское10х[(Саратовское8хСангвиниум7)хК8982] / No 4 Saratovskoe	19,1	19,6	19,6	19,4
№ 11 – (Саратовское-10х[K6990х(Саратовское8хСангвиниум7)]) х[(Камышинское67хК7669)х(Камышинское 95хСаратовское10)] / No 11 Saratovskoe	18,6	20,4	20,0	19,7
НСР ₀₅ , см / sm	0,22	0,37	0,31	0,24

Согласно данным таблицы 3, в среднем за 2023-2025 гг. в демонстрационном посеве длина метелки у сортов проса варьировала относительно контрольных значений. Стандартами выступали Саратовское жёлтое (20,1 см) и Камышинское 98 (21,2 см); значение НСР составило 0,26 см. Наибольшую длину метелки сформировал сорт Золотистое – 23,3 см. Этот показатель достоверно превышал первый стандарт на 3,2 см (15,9 %), а второй – на 2,1 см (9,9 %). Сорта Казачье и Диана (19,5 см) существенно уступали обоим стандартам: первому – на 0,6 см (3,0 %), второму – на 1,7 см (8,0 %). Еще большее отставание наблюдалось у сорта Камышинское Юбилейное (18,0 см): разница составила 2,1 см (10,4 %) и 3,2 см (15,1 %) соответственно. Сорта Казацке (20,0 см) и Золотая Орда (20,1 см) не имели существенных различий с первым стандартом (Саратовское жёлтое), но достоверно уступали второму (Камышинское 98) на 1,2 см (5,7 %) и 1,1 см (5,2 %) соответственно.

В конкурсном сортоиспытании за 2023–2025 гг. наибольшую длину метелки сформировали сорта-стандарты: Саратовское жёлтое (21,5 см) и Камышинское 98 (20,1 см). Уровень значимости различий составил $НСР_{05} = 0,24$ см. Сорт Диана (19,6 см) достоверно уступал обоим стандартам: первому – на 1,9 см (8,8 %), второму – на 0,5 см (2,5 %). Сортообразец № 11 (19,7 см) также показал существенное отставание: на 1,8 см (8,4 %) от Саратовского жёлтого и на 0,4 см (2,0 %) от Камышинского 98. Наибольшее отставание выявлено у сортообразца № 4 (19,4 см): он оказался ниже первого стандарта на 2,1 см (9,8 %), а второго – на 0,7 см (3,5 %).

Таблица 4 – Количество междоузлий сортов проса демонстрационного посева, сортов и сортообразцов конкурсного сортоиспытания за период 2023-2025 гг., шт.
Table 4 – Number of internodes of millet varieties for demonstration sowing, varieties and variety samples for competitive variety testing for the period 2023-2025, pcs.

Сорт, сортообразец / Variety	Год / Year			Среднее / Average
	2023	2024	2025	
Демонстрационный посев / Demonstration seeding				
Камышинское 98 (St) / Kamishenskoe 98 (St)	5,7	5,8	6,0	5,8
Камышинское Юбилейное / Kamishenskoe Yubileinoe	5,2	5,6	5,4	5,4
Казачье / Kazache	4,9	5,8	5,2	5,3
Казацке / Kazatske	5,3	5,4	5,5	5,4
Золотистое / Zolotistoe	5,4	6,1	5,8	5,8
Золотая Орда / Zolotaya Orda	4,8	5,8	5,4	5,3
Диана / Diana	5,6	6,2	5,6	5,8
Саратовское желтое (St) / Saratovskoe zheltoe (St)	5,4	6,1	5,6	5,7
НСР ₀₅ , шт. / pcs.	0,15	0,2	0,09	0,06
Конкурсное сортоиспытание / Competitive variety testing				
Саратовское желтое (St) / Saratovskoe zheltoe (St)	6,0	6,1	5,7	5,9
Камышинское 98 (St) / Kamishenskoe 98 (St)	5,6	6,2	6,0	5,9
Диана / Diana	5,7	6,0	5,8	5,8
№ 4 – Саратовское10х[(Саратовское8хСангвиниум7)хK8982] / No 4 Saratovskoe	6,0	6,3	5,7	6,0
№ 11 – (Саратовское-10х[K6990х(Саратовское8хСангвиниум7)])х[(Камышинское67хK7669)х(Камышинское 95хСаратовское10)] / No 11 Saratovskoe	6,4	6,2	5,9	6,2
НСР ₀₅ , шт. / pcs.	0,17	0,1	0,18	0,11

Согласно данным таблицы 4, в среднем за 2023-2025 гг. в демонстрационном посеве количество междоузлий у сортов проса варьировало относительно контрольных значений. Стандартами выступали Саратовское жёлтое (5,7 шт.) и Камышинское 98 (5,8 шт.); значение $НСР_{05}$ составило 0,06 шт. Наибольшее количество междоузлий сформировали сорта Золотистое и Диана (5,8 шт.). Этот показатель достоверно превышал первый стандарт (Саратовское жёлтое) на 0,1 шт. (1,7 %), но не имел существенных различий со вторым стандартом (Камышинское 98). Остальные сорта существенно уступали обоим контролям. Камышинское Юбилейное и Казацке (5,4 шт.) оказались ниже первого стандарта на 0,3 шт. (5,3 %), а второго – на 0,4 шт. (6,9 %). Сорта Казачье и Золотая Орда (5,3 шт.) уступали первому стандарту на 0,4 шт. (7,0 %), а второму – на 0,5 шт. (8,6 %).

В конкурсном сортоиспытании за 2023-2025 гг. стандартами выступали сорта Саратовское жёлтое и Камышинское 98, у которых количество междоузлий составило 5,9 шт. Уровень значимости различий – $НСР_{05} = 0,11$ шт. Наибольшее количество междоузлий сформировал сортообразец № 11 (6,2 шт.), что достоверно превышало значения стандартов на 0,3 шт. (5,1 %). Сортообразец № 4 (6,0 шт.) и сорт Диана (5,8 шт.) не имели существенных различий с контрольными сортами: отклонения не превышали значение $НСР_{05}$.

На массу 1000 зёрен проса влияют продолжительность вегетационного периода и условия возделывания. У сортов различной хозяйственной спелости увеличение длительности вегетации способствует росту крупности зерна. Кроме того, масса зерна одной и той же культуры может варьировать в зависимости от года и конкретных условий выращивания (таблица 5).

Таблица 5 – Масса 1000 зерен сортов проса демонстрационного посева, сортов и сортообразцов конкурсного сортоиспытания за период 2023-2025 гг., г
Table 5 – Weight of 1000 grains of millet varieties of demonstration sowing, varieties and variety samples of competitive variety testing for the period 2023-2025, g

Сорт, сортообразец / Variety	Год / Year			Среднее / Average
	2023	2024	2025	
Демонстрационный посев / Demonstration seeding				
Камышинское 98 (St) / Kamishenskoe 98 (St)	8,0	8,2	8,1	8,1
Камышинское Юбилейное / Kamishenskoe Yubileinoe	7,7	8,2	8,1	8,0
Казачье / Kazache	8,0	8,2	8,0	8,1
Казачьке / Kazatske	8,0	8,2	8,0	8,1
Золотистое / Zolotistoe	8,5	8,0	8,0	8,2
Золотая Орда / Zolotaya Orda	7,7	7,9	8,0	7,9
Диана / Diana	8,2	8,4	8,2	8,3
Саратовское желтое (St) / Saratovskoe zheltoe (St)	8,0	8,3	7,7	8,0
НСР ₀₅ , г / g	0,14	0,22	0,2	0,13
Конкурсное сортоиспытание / Competitive variety testing				
Саратовское желтое (St) / Saratovskoe zheltoe (St)	8,0	7,9	7,8	7,9
Камышинское 98 (St) / Kamishenskoe 98 (St)	7,8	7,9	7,9	7,9
Диана / Diana	8,1	8,0	7,9	8,0
№ 4 – Саратовское10х[(Саратовское8хСангвиниум7)хК8982] / No 4 Saratovskoe	8,2	8,4	8,3	8,3
№ 11 – (Саратовское-10х[K6990х(Саратовское8хСангвиниум7)]) х[(Камышинское67хК7669)х(Камышинское 95хСаратовское10)] / No 11 Saratovskoe	8,1	8,4	8,0	8,2
НСР ₀₅ , г / g	0,13	0,17	0,26	0,16

Анализ данных таблицы 5 показал, что в среднем за 2023-2025 гг. в условиях демонстрационного посева масса 1000 зёрен сортов проса варьировала относительно стандартов. В качестве стандартов использовались сорта Саратовское жёлтое (8,0 г) и Камышинское 98 (8,1 г); значение НСР₀₅ составило 0,13 г. Наибольшую массу 1000 зёрен сформировал сорт Диана (8,3 г). Этот показатель достоверно превышал стандарт Саратовское жёлтое на 0,3 г (3,7 %) и стандарт Камышинское 98 на 0,2 г (2,5 %). Сорт Золотистое достоверно превышал первый стандарт на 0,2 г (2,5 %), но статистически не различался со вторым. Сорта Камышинское Юбилейное, Казачье и Казачьке (8,0-8,1 г) находились на уровне обоих стандартов: различия не выходили за пределы НСР₀₅. Сорт Золотая Орда (7,9 г) достоверно уступал стандарту Камышинское 98 на 0,2 г (2,5 %), однако по сравнению со стандартом Саратовское жёлтое существенных различий не выявлено (разница в пределах НСР₀₅).

В условиях конкурсного сортоиспытания масса 1000 зёрен сортов проса также варьировала относительно стандартов. В качестве контролей использовались сорта Саратовское жёлтое и Камышинское 98 (7,9 г); значение НСР₀₅ составило 0,16 г. Наибольшую массу 1000 зёрен сформировал сортообразец № 4 (8,3 г), достоверно превысив оба стандарта на 0,4 г (5,1 %). Сортообразец № 11 (8,2 г) также достоверно превысил стандарты на 0,3 г (3,8 %). Сорт Диана (8,0 г) находился на уровне обоих стандартов: различия не выходили за пределы НСР₀₅.

На урожайность проса существенное влияние оказал фактор сорта как в условиях демонстрационного посева, так и в конкурсном сортоиспытании (таблица 6).

Анализ данных таблицы 6 показал, что в условиях демонстрационного посева наибольшая урожайность проса сформировалась в 2024 году и составила 0,95-3,0 т/га (в среднем 2,13 т/га). Минимальные значения отмечены в 2023 году: 0,86-2,2 т/га (средняя 1,46 т/га). В 2025 году урожайность варьировала в пределах 0,89-2,06 т/га при среднем значении 1,53 т/га. В среднем за период исследования урожайность сортов оценивалась

относительно стандартов Саратовское жёлтое (1,79 т/га) и Камышинское 98 (1,84 т/га); НСР₀₅ = 0,16 т/га. Наивысший показатель обеспечил сорт Диана (2,11 т/га), достоверно превысив стандарт Саратовское жёлтое на 0,32 т/га (17,9 %) и Камышинское 98 на 0,27 т/га (14,7 %). Сорт Казацьке (1,85 т/га) существенно превысил первый стандарт на 0,06 т/га (3,3 %), но статистически не различался со стандартом Камышинское 98. Сорт Золотистое (1,81 т/га) достоверно превышал Саратовское жёлтое на 0,02 т/га (1,1 %), однако уступал Камышинскому 98 на 0,03 т/га (1,6 %). Сорта Камышинское Юбилейное (1,68 т/га), Казацьке (1,53 т/га) и Золотая Орда (1,07 т/га) достоверно уступали обоим стандартам. По отношению к Саратовскому жёлтому снижение составило 0,11; 0,26 и 0,72 т/га (6,1; 14,5 и 40,2 %), а к Камышинскому 98 – 0,16; 0,31 и 0,77 т/га (8,7; 16,8 и 41,8 %) соответственно.

Таблица 6 – Урожайность зерна сортов проса демонстрационного посева, сортов и сортообразцов конкурсного сортоиспытания за период 2023-2025 гг., т/га

Table 6 – Grain yield of millet varieties for demonstration planting, varieties, and accessions of competitive variety trials for the period 2023-2025, t/ha

Сорт, сортообразец / Variety	Год / Year			Среднее / Average
	2023	2024	2025	
Демонстрационный посев / Demonstration seeding				
Камышинское 98 (St) / Kamishenskoe 98 (St)	1,43	2,67	1,42	1,84
Камышинское Юбилейное / Kamishenskoe Yubileinoe	0,86	2,11	2,06	1,68
Казацьке / Kazache	1,41	2,11	1,08	1,53
Казацьке / Kazatske	1,64	2,31	1,6	1,85
Золотистое / Zolotistoe	2,2	1,26	1,98	1,81
Золотая Орда / Zolotaya Orda	0,87	0,95	1,38	1,07
Диана / Diana	1,78	2,67	1,87	2,11
Саратовское желтое (St) / Saratovskoe zheltoe (St)	1,48	3,0	0,89	1,79
НСР ₀₅ , т/га / t/ha	0,03	0,03	0,04	0,01
Конкурсное сортоиспытание / Competitive variety testing				
Саратовское желтое (St) / Saratovskoe zheltoe (St)	1,74	1,94	1,64	1,77
Камышинское 98 (St) / Kamishenskoe 98 (St)	1,31	2,01	1,7	1,67
Диана / Diana	1,99	2,02	1,75	1,92
№ 4 – Саратовское10х[(Саратовское8хСангвиниум7)хK8982] / No 4 Saratovskoe	2,02	2,16	1,95	2,04
№ 11 – (Саратовское-10х[K6990х(Саратовское8хСангвиниум7)]) х[(Камышинское67хK7669)х(Камышинское 95хСаратовское10)] / No 11 Saratovskoe	1,94	2,13	1,74	1,94
НСР ₀₅ , т/га / t/ha	0,03	0,03	0,03	0,02

В условиях конкурсного сортоиспытания наибольшая урожайность проса также сформировалась в 2024 году и составила 1,94-2,16 т/га (в среднем 2,05 т/га). Минимальные значения отмечены в 2025 году: 1,64-1,95 т/га (средняя 1,76 т/га). В 2023 году урожайность варьировала в пределах 1,31-2,02 т/га при среднем значении 1,8 т/га. В среднем за 2023-2025 гг. наивысшую урожайность обеспечил сортообразец № 4 (2,04 т/га), достоверно превысив стандарт Саратовское жёлтое (1,77 т/га) на 0,27 т/га (15,2 %) и стандарт Камышинское 98 (1,67 т/га) на 0,37 т/га (22,1 %). Сорт Диана и сортообразец № 11 также достоверно превышали показатели стандартов: по отношению к Саратовскому жёлтому прибавка составила 0,15 и 0,17 т/га (8,5 и 9,6 %), а к Камышинскому 98 – 0,25 и 0,27 т/га (15,0 и 16,2 %) соответственно.

Выводы. По результатам трёхлетних исследований в засушливых условиях Нижнего Поволжья сорт Диана рекомендован к дальнейшему изучению и потенциальному районированию в зоне сухих степей как наиболее стабильный и продуктивный. Сортообразцы № 4 и № 11 перспективны для продолжения селекционного процесса, поскольку сочетают высокую крупность зерна с урожайностью, превышающей стандарты. Сорта Золотистое и Казацьке целесообразно использовать в качестве доноров признаков крупнозёрности и адаптивности к стрессовым факторам среды при создании новых сортов. Поэтому в условиях меняющегося климата и учащения засушливых периодов селекция проса должна быть направлена на сочетание засухоустойчивости, стабильности продуктивности и качества зерна. Выделенные в ходе исследований генотипы обладают высоким потенциалом для повышения эффективности возделывания проса в регионе.

Conclusions. Based on the results of three years of research in the arid conditions of the Lower Volga region, the Diana variety is recommended for further study and potential zoning in the dry steppe zone as the most stable and productive. Varieties No. 4 and No. 11 are promising for continuing the selection process, as they combine large grain size with a yield that exceeds standards. It is advisable to use the Zolotistoe and Kazatske varieties as donors of large-grain traits and adaptability to environmental stress factors when creating new varieties. Therefore, in the context of a changing climate and increasing frequency of dry periods, millet breeding should be aimed at combining drought resistance, stability of productivity and grain quality. The genotypes identified during the research have high potential for increasing the efficiency of millet cultivation in the region.

Библиографический список

1. Дюкин Р. Ф., Коконев С. И. Продуктивность сортов проса в зависимости от нормы высева. Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2010. № 3 (24). С. 42-44.
2. Patil K. S. et al. Growth and Productivity Dynamics of Proso Millet (*Panicum miliaceum* L.) under Water Stress at Pre- and Post-Flowering Stages. Journal of Global Innovation in Agricultural and Social Sciences. 2025. V. 13 (4). Pp. 423-435.
3. Осипова В. В., Платонова А. З., Олесова М. М. и др. Сорные растения в посевах проса посевного (*Panicum miliaceum*) в зависимости агроприемов возделывания на мерзлотных почвах Якутии. Международный сельскохозяйственный журнал. 2025. № 1 (403). С. 132-134.
4. Shen R. et al. Phenotypic Variation of 933 Broomcorn Millet (*Panicum miliaceum* L.) Germplasm for Agronomic Traits. Plants. 2025. V. 14 (16). Art. 2536.
5. Солонкин А. В., Сухарева Е. П., Беликина А. В. Выращивание проса посевного для получения семян в Нижневолжском регионе. Инновационное развитие агропромышленного комплекса: новые подходы и актуальные исследования: материалы Международной научно-практической конференции. Краснодар, 2024. С. 351-356.
6. Сухарева Е. П., Беликина А. В. Агроэкономическая оценка урожайности сортов посевного проса на каштановых почвах. Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов: материалы VII Международной научно-практической конференции. Курск, 2025. С. 128-130.
7. Сухарева Е. П., Карякин В. В., Беликина А. В. Меры борьбы с болезнями проса в селекционной работе. Агроинновации: интеграция науки и бизнеса: материалы Школы-конференции для молодых ученых с международным участием. Краснодар, 2025. С. 257-262.
8. Воронов С. И., Зеленов А. В., Неймышева А. Н. и др. Новый сорт проса посевного Диана. Аграрная Россия. 2024. № 11. С. 13-17.
9. Terfa G. N., Pan W., Hu L. et al. Drought Tolerance Evaluation and Classification of Foxtail Millet Core Germplasms Using Comprehensive Tolerance Indices. Life. 2025. V. 15 (9). Art. 1485.
10. Вилюнов С. Д., Сидоренко В. С. Адаптивность и стабильность мультилинейного сорта проса посевного Квартет, в сравнении с сортами традиционной селекции. Земледелие. 2021. № 4. С. 35-39.
11. Yazdizadeh M. et al. Evaluation of Wide Range of Foxtail Millet (*Setaria italica* L.) Germplasms Based on Yield and Some Agronomic Traits. Journal of Crop Improvement. 2022. V. 36 (4). Pp. 512-528.
12. Куделко В. Н., Лужинская Н. А., Кошевой П. О. Изучение образцов проса посевного различного эколого-географического происхождения. Земледелие и селекция в Беларуси. 2021. № 57. С. 316-324.
13. Gao H., Liu J., Li S. et al. Physiological and molecular mechanisms of drought adaptation in foxtail millet: insights and future perspectives. Frontiers in Plant Science. 2025. V. 16. Art. 1701035.
14. Мозлов В. А., Тихонова Т. В., Армянинова И. С. Оценка хозяйственно ценных признаков у сортов проса посевного селекции научно-исследовательских учреждений различного географического положения. Аграрный научный журнал. 2023. № 11. С. 88-94.
15. Reddy P. S., Satyavathi C. T., Khandelwal V. et al. Performance and Stability of Pearl Millet Varieties for Grain Yield and Micronutrients in Arid and Semi-Arid Regions of India. Frontiers in Plant Science. 2021. V. 12. Art. 670201.
16. Sun M. et al. Genotypic diversity of quality traits in Chinese foxtail millet (*Setaria italica* L.) and the establishment of a quality evaluation system. Food Chemistry. 2021. V. 353. Art. 129421.
17. Сокурова Л. Х. Значение и изучение исходного материала проса посевного для условий Кабардино-Балкарской Республики. Зернобобовые и крупяные культуры. 2022. № 4 (44). С. 116-124.
18. Wang X. et al. Comprehensive Evaluation and Main Identification Indexes of Quality Traits in Foxtail Millet (*Setaria italica* L.). Agronomy. 2023. V. 13 (12). Art. 3033.
19. Сурков А. Ю., Суркова И. В. Морфофизиологические особенности формирования продуктивности сортов проса. Зернобобовые и крупяные культуры. 2024. № 4 (52). С. 96-103.
20. Li X. et al. Multi-omics analyses of 398 foxtail millet accessions reveal genomic regions associated with domestication, metabolite traits, and anti-inflammatory effects. Molecular Plant. 2022. V. 15 (8). Pp. 1367-1383.

References

1. Dyukin R. F., Kokonov S. I. Productivity of millet varieties depending on the seeding rate. Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy. 2010. No 3 (24). Pp. 42-44.
2. Patil K. S. et al. Growth and Productivity Dynamics of Proso Millet (*Panicum miliaceum* L.) under Water Stress at Pre- and Post-Flowering Stages. Journal of Global Innovation in Agricultural and Social Sciences. 2025. V. 13 (4). Pp. 423-435.
3. Osipova V. V., Platonova A. Z., Olesova M. M. et al. Weeds in millet (*Panicum miliaceum*) crops depending on agricultural cultivation practices on permafrost soils of Yakutia. International Agricultural Journal. 2025. No 1 (403). Pp. 132-134.
4. Shen R. et al. Phenotypic Variation of 933 Broomcorn Millet (*Panicum miliaceum* L.) Germplasm for Agronomic Traits. Plants. 2025. V. 14 (16). Art. 2536.

5. Solonkin A. V., Sukhareva E. P., Belikina A. V. Growing millet for seed production in the Lower Volga region. Innovative Development of the Agro-Industrial Complex: New Approaches and Current Research: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Krasnodar, 2024. Pp. 351-356.
6. Sukhareva E. P., Belikina A. V. Agricultural and economic assessment of the yield of millet varieties on chestnut soils. Problems and prospects of scientific and innovative support for the agro-industrial complex of the regions: Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference. Kursk, 2025. Pp. 128-130.
7. Sukhareva E. P., Karyakin V. V., Belikina A. V. Measures to combat millet diseases in breeding work. Agroinnovations: integration of science and business: Proceedings of the School-conference for young scientists with international participation. Krasnodar, 2025. Pp. 257-262.
8. Voronov S. I., Zelenev A. V., Neymysheva A. N. et al. New variety of millet Diana. Agrarian Russia. 2024. No 11. Pp. 13-17.
9. Terfa G. N., Pan W., Hu L. et al. Drought Tolerance Evaluation and Classification of Foxtail Millet Core Germplasms Using Comprehensive Tolerance Indices. Life. 2025. V. 15 (9). Art. 1485.
10. Vilyunov S. D., Sidorenko V. S. Adaptability and stability of the multilinear millet variety Quartet, in comparison with traditionally bred varieties. Agriculture. 2021. No 4. Pp. 35-39.
11. Yazdizadeh M. et al. Evaluation of Wide Range of Foxtail Millet (*Setaria italica* L.) Germplasms Based on Yield and Some Agronomic Traits. Journal of Crop Improvement. 2022. V. 36 (4). Pp. 512-528.
12. Kudelko V. N., Luzhinskaya N. A., Koshevoy P. O. Study of millet samples of different ecological and geographical origins. Agriculture and breeding in Belarus. 2021. No 57. Pp. 316-324.
13. Gao H., Liu J., Li S. et al. Physiological and molecular mechanisms of drought adaptation in foxtail millet: insights and future perspectives. Frontiers in Plant Science. 2025. Vol. 16. Art. 1701035.
14. Mozlov V. A., Tikhonova T. V., Armyaninova I. S. Evaluation of economically valuable traits in millet varieties bred by research institutions in different geographic locations. Agrarian scientific journal. 2023. No 11. Pp. 88-94.
15. Reddy P. S., Satyavathi C. T., Khandelwal V. et al. Performance and Stability of Pearl Millet Varieties for Grain Yield and Micronutrients in Arid and Semi-Arid Regions of India. Frontiers in Plant Science. 2021. Vol. 12. Art. 670201.
16. Sun M. et al. Genotypic diversity of quality traits in Chinese foxtail millet (*Setaria italica* L.) and the establishment of a quality evaluation system. Food Chemistry. 2021. V. 353. Art. 129421.
17. Sokurova L. Kh. The Importance and Study of the Source Material of Millet for the Conditions of the Kabardino-Balkaria Republic. Legumes and Cereal Crops. 2022. No 4 (44). Pp. 116-124.
18. Wang X. et al. Comprehensive Evaluation and Main Identification Indexes of Quality Traits in Foxtail Millet (*Setaria italica* L.). Agronomy. 2023. V. 13 (12). Art. 3033.
19. Surkov A. Yu., Surkova I. V. Morphological and physiological features of the formation of productivity of millet varieties. Grain legumes and cereal crops. 2024. No 4 (52). Pp. 96-103.
20. Li X. et al. Multi-omics analyses of 398 foxtail millet accessions reveal genomic regions associated with domestication, metabolite traits, and anti-inflammatory effects. Molecular Plant. 2022. V. 15 (8). Pp. 1367-1383.

Информация об авторах

Неймышева Алла Николаевна, старший агроном-селекционер, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9261-8016>, e-mail: alla.neymysheva@bk.ru

Карякин Владимир Владимирович, агроном-селекционер, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97), ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5002-9851>, e-mail: felitsiya@list.ru

Смутнев Павел Анатольевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий агроном-селекционер, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4958-4946>, e-mail: smut-pavel@yandex.ru

Зеленев Александр Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 8/2); главный научный сотрудник лаборатории, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка» (Российская Федерация, 121205, г. Москва, территория Инновационного центра Сколково, бульвар Большой, 30, строение 1, офис 304), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9351-9922>, e-mail: zelenev.a@bk.ru

Пакина Елена Николаевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 8/2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1647-9138>, e-mail: pakina_en@pfur.ru

Authors' Information

Neymysheva Alla Nikolaevna, Senior Agronomist Breeder, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Reclamation and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9261-8016>, e-mail: alla.neymysheva@bk.ru

Karyakin Vladimir Vladimirovich, Agronomist Breeder, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Reclamation and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5002-9851>, e-mail: felitsiya@list.ru

Smutnev Pavel Anatolyevich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Agronomist Breeder, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Reclamation and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4958-4946>, e-mail: smut-pavel@yandex.ru

Zelenev Aleksandr Vasilievich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Director, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (Russian Federation, 117198, Moscow, Miklukho-Maklaya str., 8/2); Chief Researcher, Federal Research Center "Nemchinovka" (Russian Federation, 121205, Moscow, Skolkovo Innovation Center territory, Bolshoi Boulevard, 30), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9351-9922>, e-mail: zelenev.a@bk.ru

Pakina Elena Nikolaevna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Director, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (Russian Federation, 117198, Moscow, Miklukho-Maklaya str., 8/2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1647-9138>, e-mail: pakina_en@pfur.ru

THE SOYBEAN CROPS FOLIAR TREATMENT EFFECTIVENESS DURING SEED INOCULATION ON THE LOWER VOLGA REGION IRRIGATED LANDS¹Agapova S. A., ²Moskvichev A. Yu¹All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – the Branch of the All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov²Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: sveta-sxi@rambler.ru

Received 15.01.2026

Submitted 19.02.2026

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation FNFR-2025-0003 «Monitoring of long-term irrigated agricultural landscapes to predict their condition, manage environmental sustainability and productivity using digital technologies in adaptive farming systems».

Summary

This article analyzes the impact of pre-sowing soybean seed treatment, as well as foliar top dressing on key grain quality indicators. As part of the study, the following indicators were analyzed: the mass of grains per plant, the mass of thousands of grains, the amount of grain per plant, the content of protein, fat and fiber. Experimental studies in the field have revealed that the use of these agricultural techniques has a beneficial effect on the quality of the final product.

Abstract

Introduction. In the above work, the effect of foliar treatments of soybean crops with various preparations during the pre-sowing treatment of seeds of the studied crop on irrigated soils of the Lower Volga region was studied. **Materials and methods.** Field experiments were carried out on light chestnut soil of the Volgograd region on the medium-ripened Volgogradka 2 variety. Field observations based on experience, as well as related studies were conducted in accordance with generally accepted methods on experimental plots of the All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture OS "Irrigated" (Volgograd region, Vodny settlement) for two years (2022-2023). **Results and conclusions.** The values of weather conditions during the period of the experiments showed that the most favorable year was in 2022, and in 2023 the highest yield was obtained at the level of 2.48-3.02 t/ha in the control plots. The analysis of the structure of the soybean crop depending on inoculation and the drugs used looked better in the variants with pre-sowing inoculation of seeds using biological preparations in a complex, which had the maximum effect on the grain weight per 1 plant, the mass of 1000 grains and the amount of grain per plant. In this regard, productivity based on this combination of the studied factors made it possible to achieve a maximum grain yield of 3.91 t/ha, producing high-quality grain with a protein content of 37.29 %, fat – 22.78 % and fiber – 11.04 %. From the two-year studies carried out, it should be said with confidence about the high effect of inoculation and a bio-complex of foliar preparations, which contributed to obtaining a maximum yield of 3.91 t/ha with the best indicators of soybean grain quality. The purpose of these observations was to use methods of pre-sowing treatment of seeds and foliar applications with various preparations against the background of years that differ in moisture availability.

Keywords: soybean cultivation technologies, soybean cultivation conditions, soybean yield, soybean seed inoculation, soybean seed quality, foliar treatments of crops, and soybean yield structure.

Citation. Agapova S. A., Moskvichev M. Yu. The soybean crops foliar treatment effectiveness during seed inoculation on the Lower Volga region irrigated lands. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 280-286 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-31.

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 633.34:631.53.01:631.67

РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ ФОЛИАРНЫХ ОБРАБОТОК ПОСЕВОВ СОИ ПРИ ИНОКУЛЯЦИИ СЕМЯН НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ¹Агапова С. А., младший научный сотрудник²Москвичев А. Ю., доктор сельскохозяйственных наук, профессор¹ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ имени А. Н. Костякова»²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России FNFR-2025-0003 «Мониторинг длительно орошаемых агроландшафтов для прогнозирования их состояния, управления экологической устойчивостью и продуктивностью с использованием цифровых технологий в адаптивных системах земледелия».

Аннотация. В приведенной работе изучалось действие фоллиарных обработок посевов сои различными препаратами при предпосевной обработке семян исследуемой культуры на орошаемых почвах Нижнего Поволжья. **Материалы и методы.** Полевые опыты проводились на светлокаштановых почвах Волгоградского региона на среднеспелом сорте Волгоградка 2. Полевые наблю-

дения в заложенном опыте, а также сопутствующие исследования проводились в соответствии с общепринятыми методиками на опытных делянках Всероссийского научно-исследовательского института орошаемого земледелия ОС «Орошаемая» (Волгоградская область, поселок Водный) в течение двух лет (2022-2023 гг.). **Результаты и выводы.** Значения показателей метеоусловий в период проведения опытов показали, что наиболее благоприятный год сложился в 2022 году, а в 2023 году был получен наибольший урожай на уровне 2,48-3,02 т/га на контрольных делянках. Анализ структуры урожая сои в зависимости от инокуляции и применяемых препаратов показал лучшие результаты на вариантах с проведением предпосевной инокуляции семян с использованием биологических препаратов в комплексе, что максимально отразилось на массе зерен на одном растении, массе 1000 зерен и количестве зерна на одном растении. В связи с этим продуктивность на данном сочетании изучаемых факторов позволило достичь максимальной урожайности зерна в 3,91 т/га, с получением высококачественного зерна с содержанием белка в 37,29 %, жира – 22,78 и клетчатки – 11,04 %. Из проведенных двухлетних исследований, следует с уверенностью сказать о высоком действии инокуляции и биокомплекса препаратов с фолиарным внесением, которое способствовало получению максимального урожая в 3,91 т/га с наилучшими показателями качества зерна сои. **Цель** настоящих подклюдений состояла в использовании приемов предпосевной обработки семян и внекорневых подкормок различными препаратами на фоне лет, отличающихся по влагообеспеченности.

Ключевые слова: технологии возделывания сои, условия возделывания сои, урожайность сои, инокуляция семян сои, качество семян сои, фолиарные обработки посевов, структура урожая сои.

Цитирование. Агапова С. А., Москвичев М. Ю. Результативность фолиарных обработок посевов сои при инокуляции семян на орошаемых землях Нижнего Поволжья. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 280-286. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-31.

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 тотальной химизации сельского хозяйства и зачастую неконтролируемого использования агрохимикатов обостряется проблема минимизации техногенного воздействия на экосистемы. Это обусловлено необходимостью получения экологически чистой продукции, поддержания плодородия почв и сохранения экологического баланса [1]. В данном контексте особую актуальность приобретает разработка и внедрение биологизированных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, которые могут быть интегрированы в системы органического земледелия [2].

Биологизированные технологии выращивания зернобобовых культур, включая сою, представляют собой современные научно обоснованные подходы, основанные на применении биологических методов и средств для повышения урожайности, улучшения качества продукции и повышения устойчивости растений к стрессовым факторам [3, 4].

Эти технологии направлены на стабилизацию экосистем, увеличение биоразнообразия, улучшение почвенного плодородия и минимизацию негативного воздействия на окружающую среду.

Способность сои к азотфиксации позволяет ей удовлетворять более 60 % потребности в азоте, что делает её важным элементом агроэкосистем [5, 6]. Инокуляция семян сои бактериями *Bradyrhizobium* spp. является эффективным методом повышения азотфиксирующей способности культуры. Этот подход не только способствует повышению урожайности и качества зерна, но и является экономически выгодным, что подтверждается его обязательным включением в современные технологии выращивания сои [7].

Исследования, проведенные учёными из различных стран, демонстрируют значительное стимулирующее действие бактериальных препаратов на развитие корневой системы сои, а также положительное влияние на урожайность и качество зерна [8] Таким образом, изучение биологизированных агротехнических мероприятий при выращивании сои имеет важное научное и практическое значение.

В последние годы в агротехнологиях сои всё чаще применяются внекорневые подкормки, особенно в критические фазы развития растений, такие как 4-6 листьев, бутонизация и формирование бобов [9]. Эти подкормки обеспечивают растения необходимыми макро- и микроэлементами, а также стимуляторами роста, что способствует повышению урожайности, качества культуры и рентабельности её возделывания [10]. В условиях постоянного расширения ассортимента препаратов для внекорневых подкормок и варьирования их стоимости, изучение их влияния на сою в различных регионах, включая Волгоградский, приобретает особую значимость.

Микроэлементы, вносимые через листовые подкормки, играют ключевую роль в компенсации недостающих мезо- и микроэлементов, поддержании сбалансированного питания растений, ускорении их развития и созревании семян [11, 12].

Современные биопрепараты обладают рядом ценных свойств, таких как высокая экологическая безопасность, низкие нормы расхода и способность снижать стрессовые воздействия окружающей среды на растения. Эти характеристики делают их перспективными для широкого применения в агротехнологиях [13, 14]. В условиях роста цен на минеральные удобрения, экономическая эффективность биопрепаратов становится особенно значимой, что делает их применение особенно актуальным для сельскохозяйственного производства.

Материалы и методы. Изучение эффективности фоллиарных обработок на посевах сои проводилось в условиях орошения Волгоградской области, в пос. Водный на базе ОС «Орошаемая», принадлежащей ВНИИОЗ – филиалу ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова».

Агрометеорологические условия в 2022 году складывались благоприятно для роста и развития соевых посевов. Количество выпавших осадков с мая по сентябрь составило 161,5 мм, что характерно для среднесуточных показателей. Наибольшее количество осадков выпало в третьей декаде мая и второй декаде июля. Наименьшее количество осадков отмечалось в июне.

Почва опытного участка светло-каштановая тяжелосуглинистая. Гумусовый слой составлял 0,00-0,26 м, а содержание гумуса здесь было низким 1,5-2,0 %. Почва снабжена гидролизующим азотом низко (31,0 мг/кг почвы), подвижным фосфором средне (40 мг на 1 кг почвы), а подвижным калием высоко (277 мг/кг). Водородный показатель почвы (рН) – 8,0.

Поливы проводились дождевальными машинами Rainstar E-41. Влажность почвы поддерживалась на уровне 80 % НВ в слое 0,4 и 0,6 м. Поливная норма составляла 250 м³/га в слое 0,4 м, для слоя 0,6 – 300 м³/га. Оросительная норма при режиме орошения с поддержанием влажности почвы не ниже 80 % НВ находилась в пределах 3500-4050 м³/га.

Агротехника опытного участка типична для Волгоградского региона. Дата сева культуры – первая (2023 г.) и вторая (2022 г.) декады мая. Норма высева – 600 тыс. всхожих семян на 1 га. В опыте использовался сорт сои Волгоградка 2. При посеве вносилось удобрение – нитроаммофоска.

Обработку препаратами для фоллиарного внесения проводили природным минералом три раза за вегетацию, а биокомплексом осуществляли одно опрыскивание перед цветением согласно рекомендациям производителя.

Схема опыта представлена двухфакторным опытом:

Фактор 1 – обработка семенного материала, где:

- 1.1. контроль (без обработки семенного материала);
- 1.2. обработка семян биопрепаратами – Импровер, Геостим ФитГ и Гумэл Супер.

Фактор 2 – фоллиарное внесение препаратов:

- 2.1. контроль;
- 2.2. природный минерал – билатор;
- 2.3. биокосплекс – Геостим Фит Ж, БФТИМ, Импровер, Гумэл Люкс и Гумэл БорМо-

либден.

Результаты и обсуждение. Погодные условия вегетационного периода 2022-2023 гг. отличались выраженной контрастностью метеорологических параметров в различных фенологических фазах роста и развития растений сои (таблица 1).

Из данных таблицы 1 следует, что в 2022 году гидротермический коэффициент с мая по сентябрь колебался с 1,48 до 1,15, тогда как в 2023 году он составил 0,47-0,19. Количество дней с относительной влажностью менее 30 % в 2022 году за вегетационный период составило 47 дней при среднесуточном значении в 20 дней, а в 2023 году за этот же период – только 18 дней. Таким образом, следует признать, что 2023 год был более засушливым, чем 2022 год.

Таблица 1 – Показатели метеорологических условий за период проведения опытов (2022-2023 гг.)
Table 1 – Indicators of meteorological conditions for the period of the experiments (2022-2023)

Показатель / Indicator	Месяц / Month						Среднеголетний показатель / Annual average	Отклонение от среднеголетнего показателя / Deviation from the annual average
	май / May	июнь / June	июль / July	август / August	сентябрь / September	май- сентябрь / May- September		
2022 год / year								
Сумма осадков, мм / Precipitation amount, mm	59,6	4,9	23,7	19,5	56,0	163,7	149,0	14,7
Сумма температур, °C / The sum of temperatures, °C	401,8	710,6	743,8	856,7	486,3	3199,2	3253,6	-54,4
ГТК / Hydrothermal coefficient	1,48	0,07	0,32	0,23	1,15	0,51	0,46	0,05
Количество дней с относительной влажностью менее 30 / Number of days with relative humidity less than 30	4	11	6	25	1	47	20	27
2023 год / year								
Сумма осадков, мм / Precipitation amount, mm	25,8	28,8	35,6	5,9	10,3	106,4	149,0	-42,6
Сумма температур, °C / The sum of temperatures, °C	543,7	661,0	766,7	811,4	554,8	3337,6	3253,6	84,0
ГТК / Hydrothermal coefficient	0,47	0,44	0,46	0,07	0,19	0,32	0,46	-0,14
Количество дней с относи- тельной влаж- ностью менее 30 / Number of days with relative humidity less than 30	2	4	4	7	1	18	20	-2

При посеве семян без инокуляции на контроле масса зерна на одном растении составила 6,51 г, а на вариантах с внекорневым применением природного минерала 7,51 и с использованием биоконкомпекса 8,45 г. Масса 1000 зерен на контрольных делянках составила 121,4 г, а с фолларным внесением препаратов увеличилась до 140,3-148,2 г. По количеству зерна на одном растении на контроле оказалось 46,2 шт., а с препаратами для внекорневого внесения увеличилась от 57,0 до 77,5 шт.

На делянках с инокуляцией семян эти показатели были несколько выше и составили на контроле – 8,12 г по массе зерен на одном растении, а с использованием фолларного внесения природного минерала 9,67 и биоконкомпекса – 11,23 г. Масса 1000 зерен у контрольного ва-

рианта составила 138,7 г, по препаратам с внекорневым внесением разбег находился в диапазоне от 150,5 до 165,1 г, а количество зерна на растении на контроле оказалось 50,8 шт., по вариантам с фолитарным применением препаратов с 68,1 до 81,7 шт. соответственно.

Таблица 2 – Значения структуры урожая зерна сои в зависимости от применяемых препаратов, в среднем за два года

Table 2 – The values of the structure of the soybean grain harvest, depending on the drugs used, on average over two years

Варианты опыта / Test options	Показатели / Indicators		
	масса зерна на одном растении, г / grain weight per plant, g	масса 1000 зерен, г / weight of 1000 grains, g	количество зерна на растении, шт. / the amount of grain per plant, pcs.
Без инокуляции / Without inoculation			
Контроль / Control	6,51	121,4	46,2
Природный минерал / Natural mineral	7,51	140,3	57,0
Биокомплекс / Biological complex	8,45	148,2	77,5
С инокуляцией / With inoculation			
Контроль / Control	8,12	138,7	50,8
Природный минерал / Natural mineral	9,67	150,5	68,1
Биокомплекс / Biological complex	11,23	165,1	81,7

Таким образом, максимальные значения показателей структуры урожая зерна сои в среднем за два года были достигнуты при инокуляции семян и фолитарном внесении биокомплекса в период вегетации.

В условиях идентичных почвенных и метеорологических параметров наблюдались существенные вариации в формировании урожая зерна у растений сои (таблица 3).

Таблица 3 – Продуктивность сои в зависимости от используемых препаратов, т/га (2022-2023 гг.)

Table 3 – Soybean productivity depending on the preparations used, t/ha (2022-2023)

Варианты опыта / Test options	Урожайность, т/га / Yield, t/ha			Прибавка / The increase	
	2022 г.	2023 г.	среднее / average	т/га / t/ha	%
Без инокуляции / Without inoculation					
Контроль / Control	2,14	2,48	2,31	-	-
Природный минерал / Natural mineral	2,53	2,94	2,74	0,43	18,61
Биокомплекс / Biological complex	2,78	3,43	3,11	0,80	34,63
С инокуляцией / With inoculation					
Контроль / Control	2,67	3,02	2,85	-	-
Природный минерал / Natural mineral	3,34	3,48	3,41	0,56	19,65
Биокомплекс / Biological complex	3,84	3,98	3,91	1,06	37,19
	НСП ₀₅ А-0,01, В-0,01, С-0,02, АВС-0,02	НСП ₀₅ А-0,02, В-0,02, С-0,03, АВС-0,02			

Сопоставляя между собой годы исследования, следует отметить, что урожай зерна по изучаемым вопросам был наибольшим в 2023 году, тогда как в 2022 году он был ниже примерно на 0,15-0,65 т/га.

В среднем при посеве семян без обработки инокулянтom прибавка урожая от внекорневого применения природного минерала составила 0,43 т/га, а с использованием биокomплекса – 0,80 т/га. На вариантах с инокуляцией семян прибавка урожая по вышеуказанным обработкам составила 0,56 и 1,06 т/га соответственно.

Исходя из этого, наилучшим вариантом по продуктивности (3,91 т/га) следует признать вариант с проведением предпосевной инокуляции семян и использованием фoлиарного вне-сения биокomплекса препаратов.

Применение препаратов для фoлиарного внесения (природного минерала и биокomплекса) по-разному влияло на формирование качественных показателей зерна сои (таблица 4).

Таблица 4 – Влияние препаратов для фoлиарного внесения на качество зерна сои, %
(среднее за 2022-2023 гг.)

Table 4 – The effect of foliar application preparations on the quality of soybean grain, %
(average for 2022-2023)

Варианты опыта / Test options	Белок, % / Protein, %	Жир, % / Fat, %	Клетчатка, % / Fiber, %
Без инокуляции / Without inoculation			
Контроль / Control	30,20	19,63	8,80
Природный минерал / Natural mineral	33,94	21,34	10,11
Биокomплекс / Biological complex	36,81	22,02	10,55
С инокуляцией / With inoculation			
Контроль / Control	31,27	20,15	9,26
Природный минерал / Natural mineral	34,79	21,48	10,22
Биокomплекс / Biological complex	37,29	22,78	11,04

Анализируя результаты, представленные в таблице, можно сказать, что самые низкие показатели оказались на варианте с посевом семян без инокуляции на контрольных делянках и по белку составили 30,20 %, жиру 19,63, клетчатки 8,80 %.

Применяемые препараты для фoлиарного внесения (природный минерал и биокomплекс) повышали белок на 33,94-36,81 %, жир от 21,34 до 22,02 и клетчатку с 10,11 до 10,55 %.

Посев семян с инокуляцией увеличивал эти показатели качества, как на контроле, так и на вариантах с фoлиарным внесением препаратов. Наилучшие качественные показатели оказались на этом фоне с использованием по листу, и они достигли следующих значений: белок – 37,29 %, жир – 22,78 и клетчатка – 11,04 %.

Заключение. На основании проведенного анализа данных можно с высокой степенью уверенности констатировать, что наиболее оптимальным агротехническим решением явился посев сои с использованием инокуляции и фoлиарного внесения биокomплекса. Данная методика продемонстрировала наивысшую продуктивность, обеспечив урожайность в 3,91 т/га. Кроме того, она показала наилучшие результаты по структуре урожая и качественным характеристикам зерна, что свидетельствует о ее высокой эффективности и целесообразности применения в сельскохозяйственной практике.

Conclusions. Based on the data analysis, it can be stated with a high degree of confidence that the most optimal agricultural technical solution was soybean sowing using inoculation and foliar application of a biological complex. This technique demonstrated the highest productivity, providing a yield of 3.91 t/ha. In addition, it has shown the best results in terms of yield structure and grain quality characteristics, which indicates its high efficiency and expediency of application in agricultural practice.

Библиографический список

1. Turyansky A. V. et al. Research of development trends in the field of soil fertility restoration. Ecology, Environment and Conservation Paper. 2018. № 24 (3). Pp. 1048-1052.
2. Захарова М. Н. и др. Влияние элементов технологии на урожайность сои сорта Георгия в Рязанской области. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2023. № 5. С. 18-21.
3. Шадских В. А., Кижяева В. Е., Пешкова В. О. Показатели формирования агрофитоценозов зернобобовых культур при применении стимулирующих биопрепаратов в условиях орошения. Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13. № 4. С. 314-331.

4. Тишков Н. М., Махонин В. Л., Носов В. В. Урожайность и качество урожая сои в зависимости от способов и доз применения удобрений. Масличные культуры. Науч.-тех. бюл. ВНИИМК. 2019. № 4. С. 53-60.
5. Шабалдас О. Г., Власова О. И. Влияние биопрепаратов на азотфиксирующую деятельность в посевах и продуктивность гороха. Вестник АПК Верхневолжья. 2025. № 3 (71). С. 37-42.
6. Bekuzarova S. A. et al. Enhancing of nitrogen fixation by legumes. Plants and Microbes: The Future of Biotechnology (PLAMIC2020): II International Scientific Conference. Saratov: EDP Sciences, 2020. V. 23. Art. 02006.
7. Kotlyarova E. G., Gritsina E. G. Productivity and economic efficiency of soybean varieties cultivation upon application of organic and mineral fertilizers. Journal of Fundamental and Applied Sciences. 2017. V. 9. No 2S. Pp. 1582-1602.
8. Агапова С. А. Инокуляция семян сои – фактор получения стабильных урожаев с надлежащим качеством зерна при орошении. Орошаемое земледелие. 2025. № 3 (50). С. 46-52.
9. Агапова С. А., Москвичев А. Ю. Влияние предпосевной инокуляции семян и внекорневого внесения препаратов на продуктивность и качество зерна сои в условиях орошения дождеванием в Нижнем Поволжье. Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14. № 3. С. 181-191.
10. Shabaldas O. G. et al. Efficiency of Biopreparation Application in Soya Cultivation on Common Dark-colored Soil. Innovations in Sustainable Agricultural Systems. Stavropol-Samarkand, 2024. Pp. 247-253.
11. Маржохова М. Х., Кашукоев М. В. Эффективность некорневой подкормки сои микроудобрениями (обзор). Масличные культуры. 2022. Вып. 2 (190). С. 77-88.
12. Шабалкин А. В., Дубинкина Е. А. Применение инокулянта и микроудобрений на сое в условиях Центрального Черноземья. Масличные культуры. 2023. Вып. 2 (194). С. 86-93.
13. Гладышева, О. В. Свирина В. А., Черногаев В. Г. Влияние биопрепаратов на продуктивность и качество сои в Нечерноземье. Плодородие. 2024. № 4 (139). С. 74-78.
14. Тедеева В. В., Тедеева А. А. Урожайность посевов сои в зависимости от применения биопрепаратов. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2024. № 110. С. 183-189.

References

1. Turyansky A. V. et al. Research of development trends in the field of soil fertility restoration. Ecology, Environment and Conservation Paper. 2018. № 24 (3). Pp. 1048-1052.
2. Zakharova M. N. et al. Influence of technology elements on the yield of soybean variety Georgiya in the Ryazan region. Bulletin of Russian agricultural science. 2023. No 5. Pp. 18-21.
3. Shadskikh V. A., Kizhaeva V. E., Peshkova V. O. Indicators of the formation of agrophytocenoses of leguminous crops when using stimulating biological products under irrigation conditions. Land Reclamation and Hydraulic Engineering. 2023. V. 13. No 4. Pp. 314-331.
4. Tishkov N. M., Makhonin V. L., Nosov V. V. Productivity and quality of soybeans depending on the methods and doses of fertilizers. Scientific and technical bul. All-Russian Research Institute of Oilseeds. 2019. No 4. Pp. 53-60.
5. Shabaldas O. G., Vlasova O. I. The influence of biological preparations on nitrogen-fixing activity in sowings and of pea productivity. Bulletin of the Agro-industrial complex of the Upper Volga region. 2025. № 3 (71). Pp. 37-42.
6. Bekuzarova S. A. et al. Enhancing of nitrogen fixation by legumes. The Future of Biotechnology" (PLAMIC2020): II International Scientific Conference "Plants and Microbes. Saratov: EDP Sciences, 2020. V. 23. Art. 02006.
7. Kotlyarova E. G., Gritsina E. G. Productivity and economic efficiency of soybean varieties cultivation upon application of organic and mineral fertilizers. Journal of Fundamental and Applied Sciences. 2017. V. 9. № 2S. Pp. 1582-1602.
8. Agapova S. A. Inoculation of soybean seeds is a factor in obtaining stable yields with proper grain quality during irrigation. Irrigated agriculture. 2025. No 3 (50). Pp. 46-52.
9. Agapova S. A., Moskvichev A. Yu. The effect of pre-sowing inoculation of seeds and foliar application of drugs on the productivity and quality of the soybean grain under sprinkling irrigation in the Lower Volga region. Land Reclamation and Hydraulic Engineering. 2024. No 14 (3). Pp. 181-191.
10. Shabaldas O. G. et al. Efficiency of Biopreparation Application in Soya Cultivation on Common Dark-colored Soil. Innovations in Sustainable Agricultural Systems. Stavropol-Samarkand, 2024. Pp. 247-253.
11. Marzhokhova M. Kh., Kashukoev M. V. The Effectiveness of Foliar Fertilization of Soybeans with Microfertilizers (Review). Oilseeds. 2022. Issue 2 (190). Pp. 77-88.
12. Shabalkin A. V., Dubinkina E. A. Application of an Inoculant and Microfertilizers on Soybeans in the Central Chernozem Region. Oilseeds. 2023. Issue 2 (194). Pp. 86-93.
13. Gladysheva, O. V. Svirina V. A., Chernogaev V. G. Influence of biopreparations on the productivity and quality of soybeans in the Non-Chernozem region. Fertility. 2024. No 4 (139). Pp. 74-78.
14. Tedeeva V. V., Tedeeva A. A. Yield of soybean crops depending on the use of biological products. Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2024. No 110. Pp. 183-189.

Информация об авторах

Агапова Светлана Александровна, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. им. Тимирязева, 9), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5159-6578>, e-mail: sveta-sxi@rambler.ru

Москвичев Александр Юрьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9309-2885>, e-mail: moskvichev56@bk.ru

Authors' Information

Agapova Svetlana Aleksandrovna, Junior Researcher, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev Str., 9) ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5159-6578>, e-mail: sveta-sxi@rambler.ru

Moskvichev Aleksandr Yurievich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9309-2885>, e-mail: moskvichev56@bk.ru

**THE ELAEAGNUS ANGUSTIFOLIA PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS
OF THE CARBON AND WATER EXCHANGE IN THE COASTAL ECOSYSTEMS****Potashkina Yu. N., Koshelev A. V., Vedeneeva V. A., Fedetova A. V***Federal Scientific Centre for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: potashkina-y@vfanc.ru

Received 19.02.2026

Submitted 26.03.2026

The research was conducted within the framework of the state-funded research project of the Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences No. 125021402228-3, "Theoretical foundations and methodology for assessing the balance of greenhouse gases in freshwater bodies under arid conditions of southern Russia."

Summary

The article presents the results of gasometric measurements of carbon and water exchange in leaves (*Elaeagnus angustifolia* L.) at the end of the growing season in coastal ecosystems.

Abstract

Introduction. Photosynthesis and transpiration of woody and shrub plants are key processes determining their contribution to the carbon and water balance of ecosystems. In coastal zones, the functional characteristics of leaf gas exchange remain poorly characterized, which makes field measurements and quantitative assessment of these processes particularly relevant. The aim of this study was to characterize leaf gas exchange parameters of *Elaeagnus angustifolia* growing in coastal ecosystems based on in situ measurements. **Object.** The object of the present study was leaves of Russian olive (*Elaeagnus angustifolia* L.) growing within the territory of the "Tsimlyansk Reservoir" carbon polygon. **Materials and methods.** Leaf gas exchange parameters were determined in situ using a portable LI-6800 photosynthesis system (LI-COR Biosciences, USA) with automatic data logging at preset time intervals. A total of 181 measurements were analyzed for each parameter. **Results and conclusions.** During field measurements of leaf gas exchange conducted at the end of the growing season, quantitative values of the main carbon and water exchange parameters were obtained. The mean CO_2 assimilation rate was $-0.59 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, ranging from -3.61 to $5.44 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, indicating the predominance of respiratory processes over photosynthetic carbon uptake. Transpiration rate averaged $0.0003 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (ranging from 0.00017 to $0.00057 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) and reflected a reduction in water exchange typical of the late growing season. Mean stomatal conductance was $0.24 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, with high variability, indicating heterogeneous functional status of the stomatal apparatus. Intercellular CO_2 concentration (C_i) ranged from 395 to $460 \mu\text{mol mol}^{-1}$, with a mean value of $430 \mu\text{mol mol}^{-1}$, suggesting reduced CO_2 fixation rates under relatively stable ambient CO_2 concentration ($C_a = 426 \mu\text{mol mol}^{-1}$). Vapor pressure deficit (VPD) and leaf temperature (T_{leaf}) varied within narrow ranges and did not represent limiting factors for gas exchange during the observation period.

Keywords: carbon balance of ecosystems, water balance of ecosystems, coastal ecosystems, *Elaeagnus angustifolia*, gas exchange of shrub leaves.

Citation. Potashkina Yu. N., Koshelev A. V., Vedeneeva V. A., Fedetova A. V. The *Elaeagnus angustifolia* physiological characteristics of the carbon and water exchange in the coastal ecosystems. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 287-297 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-32.

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 581.5:582.724.1

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УГЛЕРОДНОГО И ВОДНОГО ОБМЕНА
ELAEAGNUS ANGUSTIFOLIA В ПРИБРЕЖНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ****Поташкина Ю. Н., младший научный сотрудник****Кошелев А. В., ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук****Веденева В. А., ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук****Федотова А. В., главный научный сотрудник, доктор биологических наук**

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»
г. Волгоград, Российская Федерация*

Исследования проведены в рамках темы государственного задания научно-исследовательской работы ФНЦ агроэкологии РАН № 125021402228-3 «Теоретические основы и методология оценки баланса парниковых газов на пресноводных водоемах в засушливых условиях юга России».

Актуальность. Фотосинтез и транспирация древесных и кустарниковых растений являются ключевыми процессами, определяющими их вклад в углеродный и водный баланс экосистем. В прибрежных зонах функциональные особенности газообмена листьев остаются слабо охарактеризован-

ными, что делает актуальным проведение полевых измерений и количественную оценку этих процессов. Целью данной работы являлась характеристика параметров газообмена листьев *Elaeagnus angustifolia* расположенных в прибрежных экосистемах, на основе полевых измерений. **Объект исследования.** Объектом настоящего исследования являются листья лоха узколистного (*Elaeagnus angustifolia* L.), произрастающего на территории полигона «Цимлянское водохранилище». **Материалы и методы.** Параметры газообмена листьев определялись *in situ* с использованием портативной системы LI-6800 (LI-COR Biosciences, США) с автоматической регистрацией показателей через заданные интервалы времени. Всего проанализировано 181 измерение для каждого показателя. **Результаты и выводы.** В ходе полевых измерений газообмена листьев в конце вегетационного сезона были получены количественные значения основных параметров углеродного и водного обмена. Средняя скорость ассимиляции CO_2 составила $-0,59 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, при варьировании в диапазоне от $-3,61$ до $5,44 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, отмечено преобладание дыхательных процессов над фотосинтетическим поглощением углерода. Интенсивность транспирации характеризовалась средним значением $0,0003 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (от $0,00017$ до $0,00057 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) и отражала снижение водного обмена, типичное для конца вегетационного периода. Средняя устьичная проводимость составила $0,24 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, при этом отмечалась высокая вариабельность показателя, свидетельствующая о неоднородном функциональном состоянии устьичного аппарата. Межклеточная концентрация CO_2 (Ci) находилась в пределах от 395 до $460 \mu\text{mol mol}^{-1}$ при среднем значении $430 \mu\text{mol mol}^{-1}$, что указывает на снижение скорости фиксации CO_2 при относительно стабильной концентрации углекислого газа во внешней среде ($\text{Ca} = 426 \mu\text{mol mol}^{-1}$). Значения дефицита давления водяного пара (VPD) и температуры листа (Tleaf) изменялись в узких диапазонах и не являлись лимитирующими факторами газообмена в период наблюдений.

Ключевые слова: углеродный баланс экосистем, водный баланс экосистем, прибрежные экосистемы, лох узколистный, *Elaeagnus angustifolia*, газообмен листьев кустарников.

Цитирование. Поташкина Ю. Н., Кошелев А. В., Веденеева В. А., Федотова А. В. Физиологические характеристики углеродного и водного обмена *Elaeagnus angustifolia* в прибрежных экосистемах. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 287-297. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-32.

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. Древесные и кустарниковые растения играют ведущую роль в регуляции углеродного и водного баланса экосистем за счёт процессов фотосинтеза и транспирации [1, 2]. Прибрежные экосистемы отличаются высокой интенсивностью биогеохимических процессов и выполняют важные функции в стабилизации микроклимата и круговорота веществ. Функционирование растительности прибрежных территорий во многом определяется физиологическими характеристиками газообмена листьев, позволяющими оценить ассимиляцию CO_2 , транспирацию и устьичную проводимость [3, 4].

Ассимиляция углекислого газа является центральным физиологическим процессом, определяющим продуктивность растений и их вклад в формирование региональных потоков углерода [5]. Поглощение CO_2 осуществляется через устьица листьев и сопровождается его диффузией в межклеточное пространство, где углекислый газ вовлекается в реакции фотосинтетического цикла. Интенсивность ассимиляции определяется как биохимическими ограничениями фотосинтеза, так и степенью устьичной регуляции, контролирующей поступление CO_2 в лист [6, 7, 8]. Транспирация, представляющая собой процесс испарения воды через устьичный аппарат, тесно связана с ассимиляцией CO_2 и играет ключевую роль в регулировании водного режима растений и теплового баланса листьев [9, 10]. Устьичная проводимость является интегральной характеристикой, отражающей баланс между потребностью растения в углероде и необходимостью ограничения потерь воды. Совместный анализ параметров ассимиляции, транспирации и устьичной проводимости позволяет охарактеризовать функциональное состояние растений в условиях изменяющегося микроклимата прибрежных экосистем [4, 8].

Так, количественная характеристика параметров газообмена листьев прибрежной растительности приобретает особое значение для понимания её роли в регуляции региональных биогеохимических циклов. Исследование параметров газообмена растений прибрежных экосистем актуально в связи с их ключевой ролью в функционировании экосистем и недостаточной изученностью физиологических механизмов деятельности древесных и кустарниковых растений в условиях естественного микроклимата [6, 11, 12]. Целью данной работы являлась характеристика параметров газообмена листьев лоха узколистного (*Elaeagnus angustifolia* L.), расположенного в прибрежных экосистемах, на основе полевых измерений.

Материалы и методы. Исследования проводились на территории карбонового полигона «Цимлянское водохранилище», организация и программа которого утверждена на заседании экспертного совета при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации по вопросам научного обеспечения развития технологий контроля углеродного баланса в 2024 году [13].

Границы полигона охватывают территории двух субъектов Российской Федерации – Ростовской и Волгоградской областей. Исследование, представленное в данной работе, выполнено в Суровикинском районе Волгоградской области вблизи поселка Новомаксимовский (рисунок 1). Территория исследования расположена в пределах равнинного рельефа. Микрорельеф преимущественно выровненный, с наличием понижений глубиной до 10 см и кочек высотой до 15 см. Почвы – темно-каштановые в комплексе с солонцами каштановыми, слабогумусированные, среднесуглинистого гранулометрического состава.

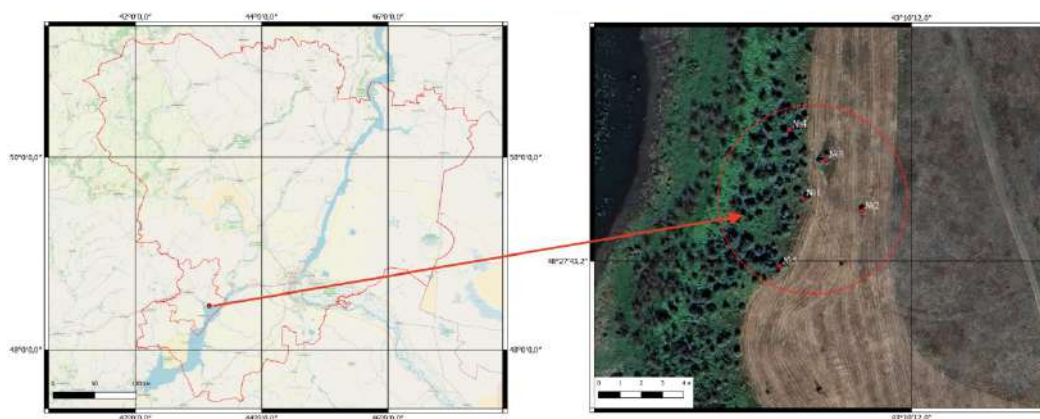


Рисунок 1 – Расположение точек измерения на полигоне «Цимлянское водохранилище»
Figure 1 – Location of measurement points on the polygon “Cimlyanskoe vodохранилище”

Растительный покров характеризуется высоким проективным покрытием (до 90 %) и представлен преимущественно разнотравно-злаковой ассоциацией. Древесно-кустарниковый ярус исследуемого участка сформирован лохом узколистым (*Elaeagnus angustifolia* L.), являющимся доминантом растительного сообщества; растения высотой 2,5-5,0 м представлены как отдельно стоящими экземплярами, так и разреженными био-группами, рассредоточенными по территории (рисунок 2).



Рисунок 2 – Общий вид участка проведения исследований на полигоне «Цимлянское водохранилище»
Figure 2 – General view of the research site at the test site “Cimlyanskoe vodохранилище”

Объектом настоящего исследования являются листья лоха узколистного (*Elaeagnus angustifolia*). Измерения газообмена проводились на листьях лоха узколистного (*Elaeagnus angustifolia* L.) в конце вегетационного сезона на 5 контрольных точках, расположенных как в отдельно стоящих насаждениях, так и в разреженных биогруппах. Все измерения выполнялись в натурных условиях (in situ) без искусственного задания параметров окружающей среды. Регистрация показателей проводилась с листа в течение 5 минут, с фиксацией данных каждые 30 секунд. В ходе эксперимента определялся широкий спектр физиологических показателей углеродного и водного обмена, среди которых основными являются скорость фотосинтеза (ассимиляции), транспирация, устьичная проводимость, межклеточная концентрация CO_2 и другие показатели газообмена. Общий объем выборки составил 181 наблюдение для каждого анализируемого показателя газообмена листьев [6, 11, 12].

Для регистрации показателей газообмена использовался портативный фотосинтетический комплекс LI-6800 (LI-COR Biosciences, США). Возможности портативной газообменной системы LI-COR 6800 позволяют одновременно определять широкий спектр параметров, характеризующих углеродный и водный обмен растений, включая скорость ассимиляции CO_2 (A), транспирацию (E), устьичную проводимость (gsw), межклеточную (C_i) и камерную (C_a) концентрации CO_2 , дефицит давления водяного пара (VPD), разность концентраций CO_2 (ΔCO_2) и температуру листа (T_{leaf}) (рисунок 3). Прибор обеспечивает высокую точность измерений в натурных условиях и возможность автоматической фиксации данных через заданные интервалы времени. Прибор проходил стандартную калибровку в соответствии с рекомендациями производителя. Перед регистрацией показателей осуществлялась стабилизация параметров газообмена [14].

Полевые данные были статистически обработаны с использованием Python и Microsoft Excel. Для каждого показателя рассчитывались стандартные статистические характеристики.

Результаты и обсуждения. Газообмен растений является интегральным показателем их физиологического состояния, отражающим особенности адаптации к условиям среды. Особенности газообменных процессов в листьях древесно-кустарниковых растений определяются совокупным воздействием внешних факторов и внутренних регуляторных механизмов, а их оценка в натурных условиях позволяет получить объективную характеристику функционального состояния растений. Анализ газообмена в листьях лоха узколистного (*Elaeagnus angustifolia* L.) позволил охарактеризовать функциональное состояние растений [5, 11].



Рисунок 3 – Работа портативной системы газообмена Li-cor 6800 в полевых условиях
Figure 3 – Operation of the Li-cor 6800 portable gas exchange system in the field

Обобщённые значения основных параметров углеродного и водного обмена, полученные в ходе полевых измерений, представлены в таблице 1 в виде средних значений. В таблице 2 представлены статистические характеристики определяемых параметров. Совокупный анализ данных показателей позволяет комплексно оценивать физиологическое состояние растений, при этом ассимиляция и транспирация выступают ключевыми интегральными характеристиками углеродного и водного обмена.

Таблица 1 – Характеристики углеродного и водного обмена листьев

Table 1 – Characteristics of carbon and water exchange in leaves

Показатель / Indicator	Тип данных / Data type	Среднее значение / The average value
A, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	GasEx	-0,593 $\pm$ 1
E, $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	GasEx	0,000308 $\pm$ 0,00007
Ci, $\mu\text{mol mol}^{-1}$	GasEx	430,7 $\pm$ 12,8
Ca, $\mu\text{mol mol}^{-1}$	GasEx	426,9 $\pm$ 1,16
gsw, $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	GasEx	0,2429 $\pm$ 0,065
ΔCO_2 , $\mu\text{mol mol}^{-1}$	Meas2	0,693 $\pm$ 1,5
Tleaf, $^{\circ}\text{C}$	Meas	12,5 $\pm$ 0,37
VPDleaf, kPa	GasEx	0,139 $\pm$ 0,02

Таблица 2 – Статистические параметры газообменных процессов

Table 2 – Statistical parameters of gas exchange processes

Статистические характеристики / Statistical characteristics	A	E	Ci	Ca	gsw	ΔCO_2	Tleaf	VPD
Размер выборки / Sample size	181	181	181	181	181	181	181	181
Минимум / Minimum	-3,616	0,00018	395,3	423,6	0,126	8,366	11,9	0,091
Максимум / Maximum	5,440	0,00057	460,4	4,2,3	0,426	5,207	13,1	0,216
Мода (Модальный интервал) / Mode (Modal interval)	-0,8 до -0,6	0,00026-0,0003	427-428	427-427,5	0,20-0,25	0,5-1,2	12,4-12,5	0,04-0,05
Медиана / Median	-0,594	0,00029	430	426,9	0,236	0,705	12,6	0,134
Среднее / Average	-0,593	0,0003	430,7	426,9	0,243	0,693	12,5	0,139
Нижний квартиль / Lower quartile (Q1)	-0,909	0,00026	428,6	426,6	0,199	0,29	12,1	0,12
Верхний квартиль / Upper quartile (Q3)	-0,319	0,00035	432,8	427,9	0,281	1,157	12,9	0,16
Межквартильный размах / Interquartile range (IQR)	0,59	0,00008	4,2	1,24	0,11	0,86	0,69	0,04
Стандартное отклонение / Standard deviation (SD)	1	0,00007	12,8	1,2	0,065	1,5	0,37	0,02
Коэффициент вариации / Coefficient of variation (CV)	>100*	23	2,9	0,27	26	>100*	2,9	18,1
Стандартная ошибка / Standard error (SE)	0,074	0,000005	0,95	0,086	0,005	0,11	0,027	0,0018
Дисперсия выборки / Sample variance	1	4,99*10 ⁻⁹	164,2	1,35	0,00425	2,247	0,136	0,0006
Ассиметрия / Skewness	1,6	1,35	0,6	0,3	0,48	-1,76	-0,18	0,6
Экцесс / Kurtosis	4,1	2,31	-0,5	1,41	-0,28	12,5	-1,45	0,064

Примечание: *коэффициент вариации превышает 100 % вследствие малой величины среднего значения показателя и высокой дисперсии данных, что ограничивает его интерпретацию как меры относительной изменчивости.

Note: *The coefficient of variation exceeds 100 % due to the low average value of the indicator and the high variance of the data, which limits its interpretation as a measure of relative variability.

Диаграмма рассеяния значений ассимиляции и транспирации с цветовой дифференциацией по температуре листа (рисунок 4) демонстрирует взаимосвязь углеродного и водного обмена. Если диаграмма рассеяния позволяет оценить взаимосвязь ассимиляции и транспирации, то последовательные графики значений этих показателей (рисунок 5, 6) отражают характер их изменчивости в пределах выборки.

Отмечается преобладание отрицательных значений ассимиляции (до $-3,61 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), что указывает на доминирование дыхательных процессов над поглощением углекислого газа. В таких условиях суммарный углеродный баланс листа становится отрицательным, а фиксация CO_2 не компенсирует потери углерода, связанные с дыханием. Данная ситуация обуславливается временем проведения измерения, а именно концом вегетационного сезона, когда происходит физиологическое старение листьев и снижение активности фотосинтетического аппарата. К концу вегетационного периода отмечается снижение концентрации хлорофилла, а также уменьшение активности ключевых ферментов фотосинтеза, таких как Rubisco [15]. Одновременно с этим дыхательные процессы сохраняются или даже усиливаются, что в итоге приводит к смещению баланса в сторону выделения CO_2 . В полученных нами значениях отмечается значительная вариабельность ассимиляции (коэффициент вариации составил 169) и наличие экстремальных отрицательных значений, что свидетельствует о неравномерности физиологического состояния листьев и различной степени их функциональной сохранности [5, 6, 16].

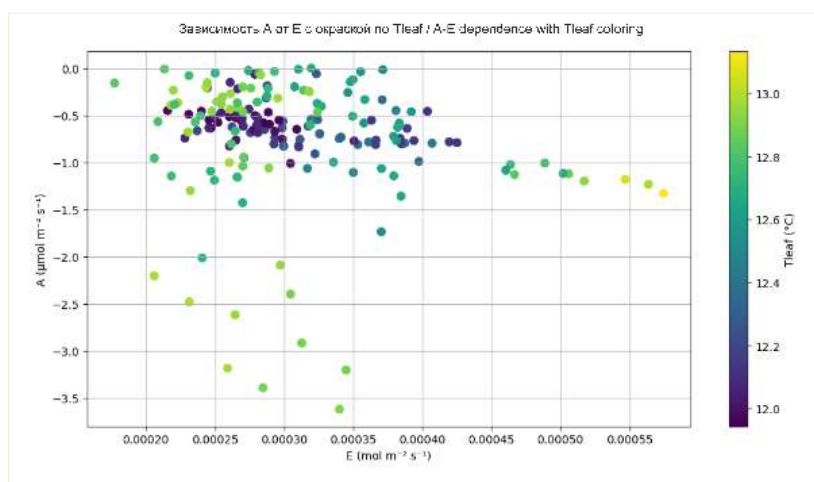


Рисунок 4 – Диаграмма рассеяния ассимиляции (A) и транспирации (E) с цветовой кодировкой по температуре листа

Figure 4 – Scatter plot of assimilation (A) and transpiration (E) with color coding by leaf temperature

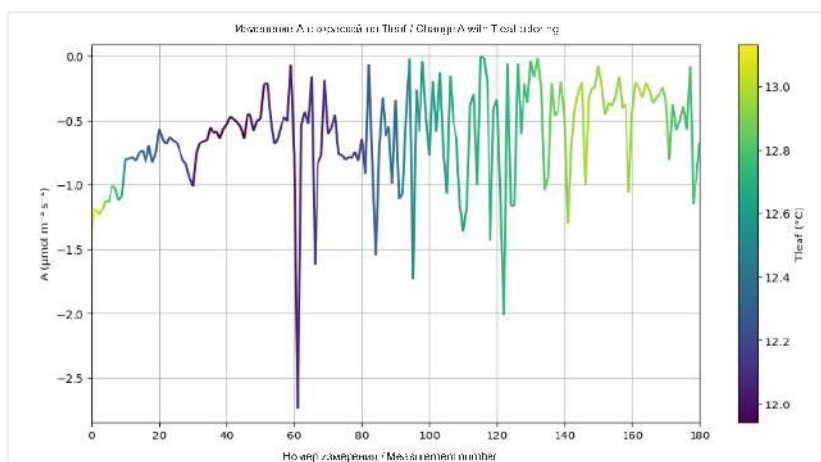


Рисунок 5 – Вариация значений ассимиляции CO_2 в последовательности измерений

Figure 5 – Variation of CO_2 assimilation values in the measurement sequence

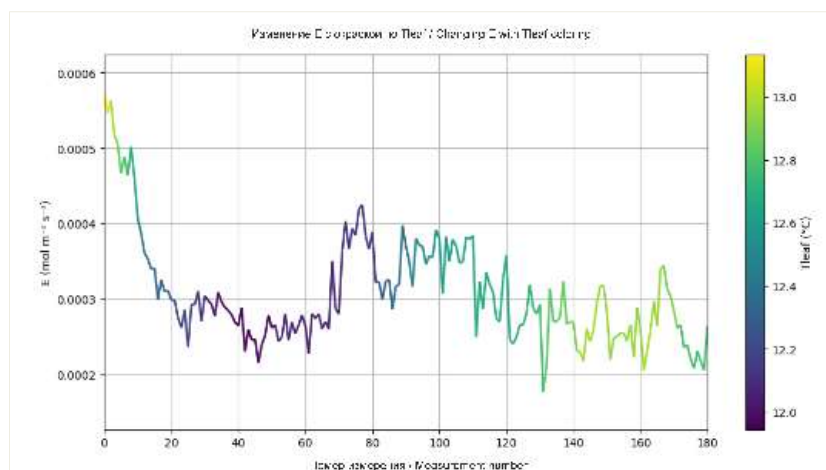


Рисунок 6 – Вариация значений транспирации в последовательности измерений
Figure 6 – Variation of transpiration values in the measurement sequence

Значения транспирации, так же как ассимиляции CO_2 изменялись в широких пределах, что является следствием наличия динамичного характера водного обмена растений в исследуемый период. В целом интенсивность транспирации оставалась умеренной или пониженной, без устойчивого выхода на высокие значения, характерные для пика вегетационного сезона. Снижение транспирационной активности согласуется с состоянием растений в конце вегетационного сезона, когда происходит постепенное ослабление водного обмена. В этот период растения переходят к режиму ограниченного водопользования, что выражается в частичном закрытии устьиц и снижении испарения. Такая стратегия позволяет минимизировать потери воды на фоне сокращения фотосинтетической активности и общего замедления метаболических процессов [9, 10, 17, 18].

Межклеточная концентрация (C_i) отличается достаточно высоким и относительно стабильным уровнем, при этом основная часть измерений сосредоточена в диапазоне примерно $425\text{--}435 \mu\text{mol mol}^{-1}$. Это свидетельствует о том, что в листовой мезофилле сохраняется значительный запас CO_2 , доступный для фотосинтетических процессов. Отмечено, наличие отдельных выраженных отклонений, как в сторону понижения (от 395), так и повышения (до 460), одним из факторов, определяющих такое состояние является различие в соотношении процессов поступления CO_2 и его фиксации. Повышенное значение C_i в конце вегетационного сезона является признаком снижения фотосинтетической активности: при ослаблении ассимиляции CO_2 его потребление хлоропластами уменьшается, что приводит к накоплению углекислого газа в межклеточном пространстве. Это объясняется определенным преобладанием дыхательных процессов над фотосинтетическим поглощением углерода. В то же время участки с пониженными значениями C_i , могут быть связаны с ограничением поступления CO_2 через устьица, что может быть обусловлено снижением транспирационной активности и частичным закрытием устьиц [9, 10].

Камерная концентрация CO_2 (C_a) варьировала в относительно узком диапазоне в основном от 424 до $430 \mu\text{mol mol}^{-1}$, с единичными повышенными значениями до $432 \mu\text{mol mol}^{-1}$. Основная масса наблюдений сосредоточена в интервале $426\text{--}428 \mu\text{mol mol}^{-1}$, что свидетельствует о стабильных условиях внешней газовой среды во время проведения измерений. Небольшая изменчивость C_a отражает естественные колебания концентрации CO_2 в приземном слое воздуха, обусловленные микрометеорологическими факторами и локальными условиями участка. В целом уровень внешнего CO_2 оставался практически постоянным. Данный параметр выступает, как фоновый, не лимитирующий фотосинтетическую активность растений в период наблюдений. Сопоставление C_a с более переменными значениями C_i показывает, что выявленные изменения внутриклеточной концентрации CO_2 определялись преимущественно физиологическим состоянием растений, а не изменениями содержания CO_2 в окружающем воздухе [6, 8, 16].

Устьичная проводимость (g_{sw}) варьирует в широких пределах, отражая неоднородное функциональное состояние устьичного аппарата. В целом g_{sw} изменялась от $0,13$ до $0,43 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, при этом основная часть показателей была сосредоточена в интервале

0,20-0,30 mol m⁻² s⁻¹. Периодически отмечались кратковременные повышения устьичной проводимости (до 0,35-0,43 mol m⁻² s⁻¹), что, вероятно, отражает реакцию растений на кратковременные изменения микроклиматических условий. В целом снижение и высокая вариабельность gsw указывают на ослабление устьичного контроля газообмена, характерное для конца вегетационного сезона. В этот период растения ограничивают открытие устьиц, что приводит к снижению поступления CO₂ в лист и одновременно к уменьшению потерь воды через транспирацию. Это взаимосвязано с ранее выявленным снижением ассимиляции и транспирационной активности и подтверждает переход растений к физиологически менее активному состоянию [7, 8, 10, 18].

Значения ΔCO₂ характеризующие разницу концентраций CO₂ во входящем и выходящем потоках воздуха и отражающие интенсивность поглощения CO₂ листом варьировали в широком диапазоне, от до -8 до 5, что указывает на неоднородный характер газообмена в течение измерений. Отрицательные и близкие к нулю значения ΔCO₂ свидетельствуют о том, что поглощение CO₂ ослаблено или практически отсутствует, а в отдельных случаях может наблюдаться преобладание дыхательных процессов над фотосинтетическими. Это обуславливается отрицательными значениями ассимиляции и указывает на то, что лист в данный период выступает не как активный поглотитель углерода, а как источник CO₂. В целом распределение ΔCO₂ подтверждает, что в конце вегетационного сезона ассимиляционные процессы носят ослабленный и неустойчивый характер, а баланс углеродного обмена смещается в сторону дыхания [6, 9, 16].

Температура листа (Tleaf) в ходе измерений варьировала в относительно узком диапазоне от 11,95 до 13,14 °C, что указывает на отсутствие выраженных тепловых стрессов в период наблюдений. Значения температуры изменялись плавно, без резких скачков, что говорит о стабильных внешних условиях и сбалансированном тепловом режиме листовой поверхности. В целом температура листа оставалась умеренной и близкой к температуре окружающей среды, что характерно для конца вегетационного сезона. В этот период интенсивность транспирации снижается, и испарительное охлаждение листа ослабевает, однако за счёт уменьшения радиационной нагрузки и общей метаболической активности растения не происходит перегрева тканей [10, 16, 19].

Дефицит давления пара изменялся в относительно узком диапазоне от 0,09 до 0,22 кПа. В начале ряда наблюдались более высокие значения VPD (около 0,20-0,22 кПа), после чего отмечалось их постепенное снижение до минимальных значений порядка 0,09-0,11 кПа, а затем – повторный рост в конце серии измерений. В условиях конца вегетационного сезона при умеренных значениях VPD растения не демонстрируют высокой транспирационной активности, что указывает на преобладание физиологических ограничений (частичное закрытие устьиц) над внешними атмосферными факторами. Таким образом, VPD в данном случае выступает не как основной лимитирующий фактор, а как модификатор интенсивности водного обмена, согласующийся с общей тенденцией к снижению функциональной активности листьев [10, 20].

Современные исследования показывают, что фотосинтез, устьичная проводимость и транспирация растений зависят как от внутренних физиологических механизмов, так и от внешних факторов окружающей среды. Так, низкая устьичная проводимость может ограничивать поступление CO₂ в листья и влиять на оценку фотосинтетической активности, особенно в период снижения активности устьиц.

Также известно, что дефицит давления водяного пара (VPD) регулирует открытие устьиц и, как следствие, транспирацию и ассимиляцию, при этом влияние VPD особенно заметно в периоды умеренной фотосинтетической активности. Современные модели обмена CO₂ и воды подтверждают, что совместный анализ ассимиляции, устьичной проводимости и VPD позволяет точнее оценить функциональное состояние растений в полевых условиях [19, 21, 22].

Заключение. Полевые исследования газообмена листьев лоха узколистного (*Elaeagnus angustifolia* L.) в прибрежной зоне Цимлянского водохранилища позволили охарактеризовать функциональное состояние растений в конце вегетационного сезона. Полученные результаты показали, что интенсивность ассимиляции CO₂ и транспирации была умеренной или пониженной. Камерная концентрация CO₂ (Ca) оставалась относительно стабильной, тогда как устьичная проводимость (gsw) и ΔCO₂ демонстрировали значительную изменчивость, указывая на неоднородность физиологического состояния листьев и частичное ограничение поступления

CO₂ в мезофилл. Температура листа (Tleaf) и дефицит давления водяного пара (VPD) оставались в пределах умеренных значений, что свидетельствует о благоприятных микроклиматических условиях и отсутствии выраженного теплового стресса. Комплексный анализ всех параметров газообмена подтверждает, что к концу вегетационного периода растения переходят к состоянию пониженной функциональной активности с ослабленной фотосинтетической и транспирационной активностью. Полученные данные подчеркивают значимость количественного мониторинга параметров газообмена для оценки функционального состояния прибрежной растительности и её роли в регуляции локальных углеродного и водного балансов экосистем.

Conclusions. Field studies of leaf gas exchange in Russian olive (*Elaeagnus angustifolia* L.) conducted in the riparian zone of the Tsimlyansk Reservoir made it possible to characterize the functional state of plants at the end of the growing season. The results showed that the rates of CO₂ assimilation and transpiration were moderate or reduced. Chamber CO₂ concentration (Ca) remained relatively stable, whereas stomatal conductance (gsw) and ΔCO₂ exhibited substantial variability, indicating heterogeneity in the physiological condition of leaves and partial limitation of CO₂ diffusion into the mesophyll. Leaf temperature (Tleaf) and vapor pressure deficit (VPD) remained within moderate ranges, suggesting favorable microclimatic conditions and the absence of pronounced thermal stress. A comprehensive analysis of all gas exchange parameters confirms that by the end of the growing season plants shift to a state of reduced functional activity, characterized by weakened photosynthetic and transpiration processes. The obtained data highlight the importance of quantitative monitoring of gas exchange parameters for assessing the functional state of riparian vegetation and its role in regulating local carbon and water balances of ecosystems.

Библиографический список

1. Головки Т. К., Захожий И. Г., Шелякин М. А. и др. Фотосинтез, дыхание и тепловая диссипация энергии в листьях двух фенотипов *Plantago media* L. в природных условиях. Физиология растений. 2022. Т. 69. № 6. С. 652-664.
2. Коломыц Э. Г. Углеродный баланс лесных экосистем Волжского бассейна в условиях глобального потепления: прогнозное ландшафтно-экологическое моделирование. Сибирский лесной журнал. 2021. № 3. С. 56-75.
3. Орехова Н. А., Коновалов С. К., Медведев Е. В. Особенности регионального баланса неорганического углерода морских экосистем в условиях антропогенной нагрузки. Морской гидрофизический журнал. 2019. Т. 35. № 3 (207). С. 248-260.
4. Pilcher D. J. et al. Modeled effect of coastal biogeochemical processes, climate variability, and ocean acidification on aragonite saturation state in the Bering Sea. *Frontiers in Marine Science*. 2019. V. 5. Art. 508.
5. Рахманкулова З. Ф. Физиологические аспекты взаимосвязи фотосинтеза и дыхания. Физиология растений. 2019. Т. 66. № 3. С. 178-188.
6. Рахманкулова З. Ф., Шуйская Е. В., Прокофьева М. Ю. и др. Сравнительная оценка вклада компонентов CO₂/H₂O-обмена в процесс адаптации к засухе у ксерогаллофитов семейства Chenopodiaceae с разным типом фотосинтеза. Физиология растений. 2020. Т. 67. № 3. С. 298-311.
7. Амелин А. В., Фесенко А. Н., Заикин В. В., Чекалин Е. И. Особенности устьичной проводимости CO₂ листьев у растений *Fagopyrum esculentum* Moench. Аграрный научный журнал. 2019. № 3. С. 4-8.
8. Евлаков П. М., Попова А. А., Рыжкова В. С. и др. Влияние засухи на фотосинтетические особенности, устьичную проводимость и эффективность использования воды у ювенильных растений дуба черешчатого (*Quercus robur* L.). Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2023. № 4. С. 63-74.
9. Юдина Л. М., Шерстнева О. Н., Мысягин С. А. и др. Влияние локального повреждения на транспирацию листьев гороха посевного при различной влажности воздуха. Физиология растений. 2019. Т. 66. № 1. С. 58-65.
10. Сенькина С. Н. Факторы регуляции водообмена хвои *Picea obovata* (Pinaceae) в условиях средней подзоны тайги. Растительные ресурсы. 2022. Т. 58. № 3. С. 236-243.
11. Гонохов Е. С., Бойко Т. В. Общая характеристика и перспективы применения лоха узколистного (*Elaeagnus angustifolia* L.) в ветеринарии. Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. 2023. № 4 (35). С. 1-10.
12. Абрамова Л. М., Мустафина А. Н., Голованов Я. М. и др. Особенности биологии и экологии лоха узколистного (*Elaeagnus angustifolia* L.) на территории Южного Урала. Сибирский экологический журнал. 2021. Т. 28. № 5. С. 557-568.
13. ФНЦ агроэкологии РАН. Создание карбонового полигона «Цимлянское водохранилище». <https://vfanc.ru/operatory-pervogo-v-rossii-vodnogo-karbonovogo-poligona-proveli-rabochee-soveshhanie-na-czimlyanskom-vodohranilishhe>
14. Portable photosynthesis system LI 6800: brochure. https://www.ekotechnika.cz/sites/default/files/pdf/6800_brochure_20092.pdf
15. Шавнин С. А., Юсупов И. А., Марина Н. В. и др. Сезонные изменения содержания хлорофиллов и каротиноидов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в зоне влияния теплового поля газового факела. Физиология растений. 2021. Т. 68. № 3. С. 315-325.
16. Данилова Н. В., Глазунова Д. М., Бабичук В. Р. и др. Углеродный след от выращивания посевной конопли (*Cannabis sativa* L.) в условиях повышенной температуры окружающей среды. Теоретическая и прикладная экология. 2025. № 2. С. 167-174.

17. Губарева Т. С., Лупаков С. Ю., Шамов В. В., Гарцман Б. И. Измерение стволового сокодвижения как инструмент оценки транспирации в исследованиях водного баланса речного бассейна. Водные ресурсы. 2024. Т. 51. № 1. С. 3-17.
18. Kibler C. L. et al. Evapotranspiration regulates leaf temperature and respiration in dryland vegetation. Agricultural and Forest Meteorology. 2023. V. 339. Art. 109560.
19. Zheng D. M. et al. Temperature responses of leaf respiration in light and darkness are similar and modulated by leaf development. New Phytologist. 2024. V. 241. No. 1. Pp. 289-302.
20. Inoue T. et al. Minimizing VPD fluctuations maintains higher stomatal conductance and photosynthesis, resulting in improvement of plant growth in lettuce. Frontiers in Plant Science. 2021. V. 12. Art. 646144.
21. González-Armas R. et al. Impact of canopy environmental variables on the diurnal dynamics of water and carbon dioxide exchange at leaf and canopy level. Biogeosciences. 2024. V. 21. Pp. 2425-2445.
22. Соколов А. В., Болондинский В. К. Моделирование устьичной, мезофильной и биохимической регуляции фотосинтеза сосны обыкновенной на основе экспериментальных данных. Геохимия. 2020. Т. 65. № 10. С. 1009-1024.

References

1. Golovko T. K., Zakhochiy I. G., Shelyakin M. A. et al. Photosynthesis, respiration, and thermal energy dissipation in leaves of two phenotypes of *Plantago media* L. under natural conditions. Russian Journal of Plant Physiology. 2022. Vol. 69. No 6. Pp. 652-664.
2. Kolomyts E. G. Carbon balance of forest ecosystems in the Volga River basin due to global warming: predictive landscape-ecological modeling. Siberian Journal of Forest Science. 2021. No 3. Pp. 56-75.
3. Orekhov N. A., Konovalov S. K., Medvedev E. V. Features of the regional balance of inorganic carbon in marine ecosystems under anthropogenic impact. Physical Oceanography. 2019. Vol. 35. No 3 (207). Pp. 248-260.
4. Pilcher D. J. et al. Modeled effect of coastal biogeochemical processes, climate variability, and ocean acidification on aragonite saturation state in the Bering Sea. Frontiers in Marine Science. 2019. V. 5. Art. 508.
5. Rakhmankulova Z. F. Physiological aspects of the relationship between photosynthesis and respiration. Russian Journal of Plant Physiology. 2019. V. 66. No 3. Pp. 178-188.
6. Rakhmankulova Z. F., Shuyskaya E. V., Prokofieva M. Yu., et al. Comparative assessment of the contribution of CO₂/H₂O exchange components to drought adaptation in xerohalophytes of the family Chenopodiaceae with different types of photosynthesis. Russian Journal of Plant Physiology. 2020. V. 67. No 3. Pp. 298-311.
7. Amelin A. V., Fesenko A. N., Zaikin V. V., Chekalin E. I. Features of stomatal conductance to CO₂ in leaves of *Fagopyrum esculentum* Moench plants. The Agrarian Scientific Journal. 2019. No 3. Pp. 4-8.
8. Evlakov P. M., Popova A. A., Ryzhkova V. S. et al. Effect of drought on photosynthetic characteristics, stomatal conductance, and water use efficiency in juvenile plants of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) plants. Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute. 2023. No 4. Pp. 63-74.
9. Yudina L. M., Sherstneva O. N., Mysagin S. A. et al. Effect of local damage on transpiration of pea leaves under different air humidity conditions. Russian Journal of Plant Physiology. 2019. V. 66. No 1. Pp. 58-65.
10. Senkina S. N. Factors regulating water exchange in needles of *Picea obovata* (Pinaceae) under conditions of the middle taiga subzone. Plant Resources. 2022. V. 58. No 3. Pp. 236-243.
11. Gonokhov E. S., Boyko T. V. General characteristics and prospects for the use of Russian olive (*Elaeagnus angustifolia* L.) in veterinary medicine. Electronic Scientific and Methodological Journal of Omsk State Agrarian University. 2023. No 4 (35). Pp. 1-10.
12. Abramova L. M., Mustafina A. N., Golovanov Ya. M., et al. Features of biology and ecology of *Elaeagnus angustifolia* L. in the South Urals. Contemporary Problems of Ecology. 2021. V. 28. No 5. Pp. 557-568.
13. Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences. Establishment of the carbon polygon "Cimlyanskoe vodohranilishche". <https://vfanc.ru/operatory-pervogo-v-rossii-vodnogo-karbonovogo-poligona-proveli-rabochee-soveshhanie-na-czimlyanskom-vodohranilishhe>
14. Portable photosynthesis system LI-6800: brochure. https://www.ekotechnika.cz/sites/default/files/pdf/6800_brochure_20092.pdf
15. Shavnin S. A., Yusupov I. A., Marina N. V. et al. Seasonal changes in chlorophyll and carotenoid content in needles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the zone affected by the thermal field of a gas flare. Russian Journal of Plant Physiology. 2021. Vol. 68. No 3. Pp. 315-325.
16. Danilova N. V., Glazunova D. M., Babichuk V. R. et al. Carbon footprint of *Cannabis sativa* L. cultivation under elevated ambient temperature conditions. Theoretical and Applied Ecology. 2025. No 2. Pp. 167-174.
17. Gubareva T. S., Lupakov S. Yu., Shamov V. V., Gartsman B. I. Measurement of stem sap flow as a tool for assessing transpiration in studies of river basin water balance. Water Resources. 2024. Vol. 51. No 1. Pp. 3-17.
18. Kibler C. L. et al. Evapotranspiration regulates leaf temperature and respiration in dryland vegetation. Agricultural and Forest Meteorology. 2023. Vol. 339. Art. 109560.
19. Zheng D. M. et al. Temperature responses of leaf respiration in light and darkness are similar and modulated by leaf development. New Phytologist. 2024. V. 241. No 1. Pp. 289-302.
20. Inoue T. et al. Minimizing VPD fluctuations maintains higher stomatal conductance and photosynthesis, resulting in improvement of plant growth in lettuce. Frontiers in Plant Science. 2021. V. 12. Art. 646144.
21. González-Armas R. et al. Impact of canopy environmental variables on the diurnal dynamics of water and carbon dioxide exchange at leaf and canopy level. Biogeosciences. 2024. V. 21. Pp. 2425-2445.
22. Sokolov A. V., Bolondinskii V. K. Modeling of stomatal, mesophyll, and biochemical regulation of photosynthesis in Scots pine based on experimental data. Geochemistry International. 2020. V. 65. No 10. Pp. 1009-1024.

Информация об авторах

Поташкина Юстина Николаевна, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), ORCID: 0000-0001-8846-2354, e-mail: potashkina-y@vfanc.ru

Кошелев Александр Валентинович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), ORCID: 0000-0003-4048-7549, e-mail: alexkosh@mail.ru

Веденеева Варвара Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), ORCID: 0000-0002-6623-6062, e-mail: vedeneeva-v@vfanc.ru

Федотова Анна Владиславовна, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, заместитель директора по научной работе, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), ORCID: 0000-0003-0241-1797, e-mail: fedotova-a@vfanc.ru

Authors' Information

Potashkina Yustina Nikolaevna, Junior Research Associate, Federal Scientific Centre for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97) ORCID: 0000-0001-8846-2354, e-mail: potashkina-y@vfanc.ru

Koshelev Aleksandr Valentinovich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Head of the Laboratory, Federal Scientific Centre for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID 0000-0003-4048-7549, e-mail: alexkosh@mail.ru

Vedeneeva Varvara Aleksandrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Federal Scientific Centre for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: 0000-0002-6623-6062, e-mail: vedeneeva-v@vfanc.ru

Fedotova Anna Vladislavovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Deputy Director for Research, Federal Scientific Centre for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: 0000-0003-0241-1797, e-mail: fedotova-a@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-33

THE HYDROTHERMAL FACTORS ROLE IN THE CO₂ EMISSIONS AND MICROBIAL ACTIVITY REGULATING IN THE VOLGOGRAD REGION THE TSIMLYANSK RESERVOIR COASTAL ZONE

Timofeev E. P., Fedotova A. V., Petrov Yu. N.

*Federal Scientific Centre for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: timofeev-e@vfanc.ru

Received 09.02.2026

Submitted 26.03.2026

The study was carried out within the framework of State Assignment No. 125021402228-3 'Theoretical Foundations and Methodology for Assessing Greenhouse Gas Balance in Freshwater Bodies of Southern Russia's Arid Zone' FNFE-2025-0012.

Summary

The article presents the results of a study on the spatial heterogeneity of soil CO₂ efflux in the coastal zone of the Tsimlyansk Reservoir under dry continental climate conditions. The findings demonstrated that local hydrothermal conditions shaped by microtopography and distance from the water's edge govern spatial variability of CO₂ emissions more significantly than soil biological potential. Under extreme soil temperatures, thermal regime becomes the dominant controlling factor of carbon exchange, suppressing metabolic activity even when moisture is available. Field CO₂ emissions substantially exceed laboratory-measured microbial respiration, indicating a considerable contribution of root respiration to the total flux.

Abstract

Introduction. Coastal zones of reservoirs represent dynamic ecotones characterized by pronounced spatial variability in hydrothermal conditions driven by water level fluctuations. These areas play a significant role in the global carbon cycle by integrating processes of both aquatic and terrestrial ecosystems. However, the mechanisms regulating soil CO₂ emissions under dry continental climate conditions remain insufficiently studied. **Object.** The research focused on the coastal zone of the Tsimlyansk Reservoir in Volgograd Oblast. **Materials and methods.** Measurements were carried out using the closed chamber method with an infrared gas analyzer (LI-COR LI-7810) during daylight hours at soil temperatures of 41–45 °C. **Results and conclusions.** Mean CO₂ emission rates from soil across the sampling profiles (6.2, 6.3, 6.4) were 0.097, 0.188, and 0.189 g CO₂ / m²·h, respectively. Correlation analysis revealed a strong negative linear relationship between CO₂ emission and soil temperature ($r = -0.91$, $p \leq 0.05$). Volumetric water content (VWC) and air temperature showed no significant correlation with CO₂ emission ($r = 0.44$, $p > 0.05$ and $r = 0.14$, $p > 0.05$, respectively). Field CO₂ emissions were 2–5 times higher than laboratory-measured microbial respiration rates, indicating a substantial contribution of the autotrophic component (root respiration) to the total flux. Notably, soil profile 6.3 (0–10 cm depth), characterized by the lowest microbial respiration potential (0.07 µg C / g soil·h), exhibited the highest field CO₂ emission, underscoring the dominant role of external climatic conditions rather than intrinsic biological potential in regulating carbon exchange. The results suggest that under thermal stress conditions (>40 °C), soil temperature may act as a key limiting factor controlling the intensity of CO₂ emissions.

Keywords: CO₂ emission, Tsimlyansk Reservoir, dry-steppe zone, basal soil respiration, coastal zones of reservoirs.

Citation. Timofeev E. P., Fedotova A. V., Petrov Yu. N. The hydrothermal factors role in the CO₂ emissions and microbial activity regulating in the Volgograd region the Tsimlyansk reservoir coastal zone. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 297-307 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-33.

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 final version presented.

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

УДК 631.46

РОЛЬ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В РЕГУЛЯЦИИ ЭМИССИИ CO₂ И МИКРОБНОЙ АКТИВНОСТИ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ПРЕДЕЛАХ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Тимофеев Е. П., младший научный сотрудник
Федотова А. В., доктор биологических наук, профессор
Петров Ю. Н., кандидат сельскохозяйственных наук

ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН»
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследование выполнено в рамках Гос. Задания № 125021402228-3 «Теоретические основы и методология оценки баланса парниковых газов на пресноводных водоемах в засушливых условиях юга России» FNFE-2025-0012.

Актуальность. Прибрежные зоны водохранилищ представляют собой динамичные экотоны с выраженной пространственной изменчивостью гидротермических условий, обусловленной колебаниями уровня воды. Эти территории играют значимую роль в глобальном углеродном цикле, интегрируя процессы как водных, так и наземных экосистем. Однако механизмы регуляции почвенной эмиссии CO₂ в условиях засушливого континентального климата изучены недостаточно. **Объектом** исследования являлась прибрежная зона Цимлянского водохранилища Волгоградской области. **Материалы и методы.** Измерения выполнены методом замкнутой камеры с использованием инфракрасного газоанализатора LI-COR LI-7810 в дневное время при температуре почвы 41-45 °С. **Результаты и выводы.** Средние значения эмиссии CO₂ из почв по почвенным разрезам составили 0,097, 0,188 и 0,189 г CO₂ / м²·ч. На основе объединённого исследования всех данных с использованием корреляционного анализа выявлена сильная отрицательная линейная связь между эмиссией CO₂ и температурой почвы ($r = -0,91$, $\alpha \leq 0,05$). Объёмная влажность почвы (VWC) и температура воздуха показали отсутствие корреляционной связи с эмиссией ($r = 0,44$, $\alpha \leq 0,05$) и ($r = 0,14$, $\alpha \leq 0,05$) соответственно. Результаты показали, что полевая эмиссия CO₂ в 2-5 раз превышает лабораторное микробное дыхание, что свидетельствует о значительном вкладе автотрофного компонента (корневое дыхание) в общий поток. При этом для почвенного разреза 6.3 в слое 0-10 см, с наименьшим микробным потенциалом (0,07 мкг С/г почвы·ч), была характерна наибольшая полевая эмиссия, что подчёркивает доминирующую роль внешних климатических условий, а не внутреннего биологического потенциала, в регуляции углеродного обмена. Полученные результаты указывают на то, что в условиях термического стресса (> 40 °С), температура почвы может выступать ключевым лимитирующим фактором, контролирующим интенсивность эмиссии CO₂.

Ключевые слова: эмиссия CO₂, Цимлянское водохранилище, сухостепные зоны, базальное дыхание почв, прибрежные зоны водохранилищ.

Цитирование. Тимофеев Е. П., Федотова А. В., Петров Ю. Н. Роль гидротермических факторов в регуляции эмиссии CO₂ и микробной активности в прибрежной зоне Цимлянского водохранилища в пределах Волгоградской области. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 297-307. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-33.

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.

Конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Прибрежные зоны водохранилищ представляют собой динамичные экотоны, характеризующиеся высокой пространственной и временной изменчивостью гидротермических условий вследствие циклических колебаний уровня воды [2]. Эти территории играют важную роль в глобальном углеродном цикле, поскольку сочетают черты как водных, так и наземных экосистем, что усиливает сложность биогеохимических процессов, включая почвенное дыхание – один из крупнейших потоков CO₂ из наземных экосистем в атмосферу (Бурков и др., 2012) [4, 6].

В аридных и полузасушливых регионах, таких как юг европейской части России, почвенное дыхание особенно чувствительно к изменениям водного и температурного режимов. Многочисленные исследования показывают, что в условиях дефицита влаги даже незначительные колебания объёмной влажности почвы (VWC) могут вызывать резкие импульсы эмиссии CO_2 – так называемый «эффект Бирча» (Birch effect) (Загидуллина и др., 2017) [9, 10].

Однако при экстремально высоких температурах ($> 40^\circ\text{C}$), характерных для летнего периода в сухостепной зоне, роль влаги как лимитирующего фактора может быть ослаблена или даже перекрыта термическим стрессом, подавляющим метаболическую активность почвенных организмов [1, 5, 7].

Несмотря на растущее внимание к углеродному балансу искусственных водоёмов, данные по пространственной гетерогенности эмиссии CO_2 в их прибрежных зонах остаются фрагментарными. Очень мало исследований посвящено тому, как эмиссия CO_2 меняется на очень коротких расстояниях – менее 50 метров – в засушливых регионах. В таких условиях даже небольшие различия в рельефе, составе почвы или удалённости от воды могут создавать локальные микроклиматические условия, которые сильно влияют на интенсивность выделения углекислого газа из почвы (Елистратов и др., 2014, Околелова и др., 2013).

Цель. Оценить влияние гидротермических факторов (температуры почвы, объёмной влажности и температуры воздуха) на пространственную изменчивость эмиссии CO_2 и микробной активности в прибрежной зоне Цимлянского водохранилища Волгоградской области.

Материалы и методы исследований. Объектом исследования являлась прибрежная зона Цимлянского водохранилища, расположенная на территории Волгоградской области в пределах сухостепной зоны юга России. Исследования проводились в летний период 2025 г. на участке, характеризующемся выраженной пространственной гетерогенностью почвенно-растительного покрова. Несмотря на близость к Цимлянскому водохранилищу, почвы исследуемой территории имеют автоморфный водный режим, что подтверждается отсутствием признаков гидроморфизма и вторичного засоления (рисунок 1).



Рисунок 1 – Расположение исследуемого участка и почвенных разрезов
Figure 1 – Location of the study area and soil sections

Исследуемый участок расположен в Суровикинском районе Волгоградской области. Почвенный покров исследуемой прибрежной территории Цимлянского водохранилища сформирован светло-каштановыми почвами, генетически связанными с исходными степными ландшафтами. На исследуемой территории были заложены три почвенных разреза (ПР), расположенные на расстоянии 25 м друг от друга перпендикулярно береговой линии (рисунок 2). Расстояние от уреза воды до разрезов составляло 71 м (6.2), 96 м (6.3) и 121 м (6.4). Такое расположение позволило оценить влияние микрорельефа, микроклиматических условий и свойств почв на интенсивность почвенного дыхания.

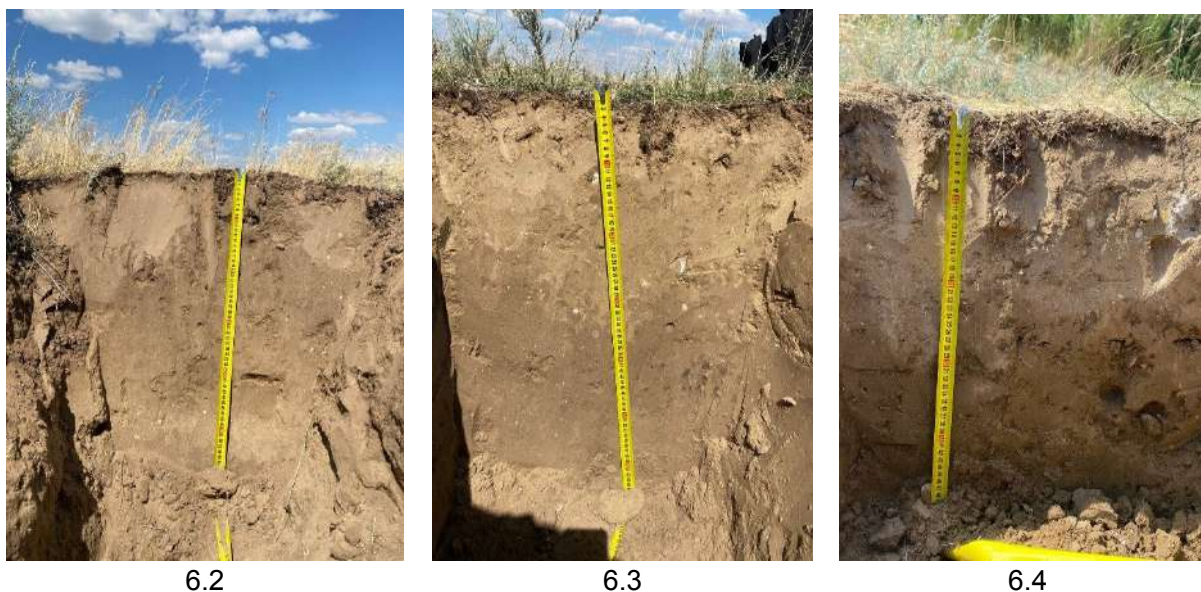


Рисунок 2 – Почвенные разрезы исследуемого участка в прибрежной территории Цимлянского водохранилища

Figure 2 – Soil sections of the study area in the coastal area of the Tsimlyansk Reservoir

Растительный покров носит ксерофитный характер, представлен преимущественно разнотравно-злаковыми ассоциациями с преобладанием полыни (Полынь белая – *Artemisia alba*) и ковыли (Ковыль Сарептский – *Stipa sareptana*) (рисунок 3).



Рисунок 3 – Растительный покров прибрежной территории исследуемого участка Цимлянского водохранилища Волгоградской области

Figure 3 – Vegetation cover of the coastal area of the studied section of the Tsimlyansk Reservoir in the Volgograd Region

Эмиссия диоксида углерода с поверхности почвы измерялась методом замкнутой динамической камеры с использованием портативного газоанализатора LI-COR LI-7810. Данный метод является стандартным для полевых исследований потоков парниковых газов и обеспечивает высокую точность за счёт прямого измерения концентрации CO_2 в закрытом объёме над почвой. Измерения проводились в дневное время (12:00-14:00) для минимизации влияния суточной динамики на сопоставимость данных.

Перед началом измерений на каждом почвенном разрезе (ПР) были установлены стационарные кольца-основания диаметром 20 см и высотой 10 см. Кольца врезались в почву на глубину 5-7 см за 24 часа до начала замеров для минимизации механических нарушений почвенного профиля и стабилизации микроклимата под камерой. Растительность внутри колец срезалась до уровня поверхности почвы (рисунок 4).



Рисунок 4 – Стационарное основание и камера Smart Chamber в комплексе с газоанализатором модели LI-7810

Figure 4 – Stationary base and Smart Chamber in combination with the LI-7810 gas analyzer

Каждое измерение включало цикл накопления CO_2 продолжительностью 120-180 с, в течение которого регистрировалась концентрация CO_2 в камере с частотой 1 Гц. Для расчёта потока CO_2 использовалась экспоненциальная модель накопления, реализованная в программном обеспечении SoilFluxPro. Качество аппроксимации данных контролировалось по коэффициенту детерминации ($R^2 > 0,8$) и коэффициенту вариации ($CV < 3\%$).

Расчет скорости выделения углекислого газа из почвы производился в автоматическом режиме, основан на использовании уравнения:

$$F = \frac{VP_0(1-W_0)}{RS(T_0+273,15)} \frac{dC_r}{dt}, \quad (1)$$

где, F – поток CO_2 (мкмоль/($\text{м}^2 \cdot \text{с}$)), V – общий объем системы замкнутого контура (см^3), P_0 – начальное давление (кПа), W_0 – начальная молярная доля водяного пара (ммоль/моль), R – универсальная газовая постоянная = 8,314 Дж/(моль·К), S – площадь основания камеры (см^2), T_0 – начальная температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$), $\frac{dC_r}{dt}$ – скорость изменения концентрации CO_2 (ppm) со временем (Карелин, 2015) [11, 12].

Для пересчета эмиссии CO_2 в общепринятые единицы измерения ($\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$) применялась формула на основе методического руководства Карелина Д.В. и др.:

$$\text{EM}_{\text{CO}_2} = \frac{F_{\text{CO}_2} \cdot M \cdot 3600}{10^6}, \quad (2)$$

где, F_{CO_2} – поток CO_2 из почвы (мкмоль/($\text{м}^2 \cdot \text{с}$)), M – молярная масса углекислого газа = 44,01 г/моль.

Одновременно с измерением эмиссии CO_2 регистрировались следующие параметры, температура воздуха (T_{air} , $^{\circ}\text{C}$), температура почвы (T_{soil} , $^{\circ}\text{C}$) и объемная влажность почвы (VWC, %) на глубине 5 см в реальном времени с использованием мультипараметрического датчика HydraProbe II, калиброванного для песчаных и супесчаных почв сухостепной зоны. Датчик обеспечивает одновременное измерение диэлектрической проницаемости, электропроводности и температуры, что позволяет рассчитывать объемную влажность (VWC) с погрешностью $< \pm 0,5\%$.

Расчёт микробного дыхания (базальное дыхание) производился с учетом методических рекомендаций для слоя 0-10 см (Ананьева, 2011) [3, 8]. Для сопоставления с полевой эмиссией CO_2 (измеряемой в $\text{г CO}_2 / \text{м}^2 \cdot \text{ч}$) проводился пересчёт лабораторных значений в эквивалентные полевые потоки.

Пересчёт осуществлялся по следующей формуле:

$$F_{\text{мик}} = \frac{BD \cdot \rho_d \cdot d}{100}, \quad (3)$$

где, BD – скорость базального дыхания, мкг С/г почвы ч, ρ_d – плотности почвы, $\text{г}/\text{см}^3$; d – глубина почвенного слоя, участвующего в газообмене, 10 см. Деление на 100 учитывает перевод микрограммов в граммы (10^{-6}) и сантиметров квадратных в метры квадратные (10^4).

Содержание органического углерода в почве определяли по методу Тюрина (ГОСТ 26213-91). Плотность почвы измеряли методом цилиндрического бура Качинского объёмом 100 см³ с последующей сушкой образцов до постоянной массы при 105 °С (ГОСТ 22733-2016). Гранулометрический состав почвы определяли методом лазерной дифракции на анализаторе размеров частиц «Ласка-ТД». Свойства почв определялись для слоя 0-10 см.

Статистическую обработку данных выполняли в среде программирования R при 95 % уровне значимости. Для выявления зависимостей использовали корреляционный анализ.

Результаты и обсуждение. Измерения эмиссии CO₂, выполненные для трёх почвенных разрезов в слое 0-10 см прибрежной зоны Цимлянского водохранилища, выявили пространственную изменчивость на расстоянии 25 м. (рисунок 5).

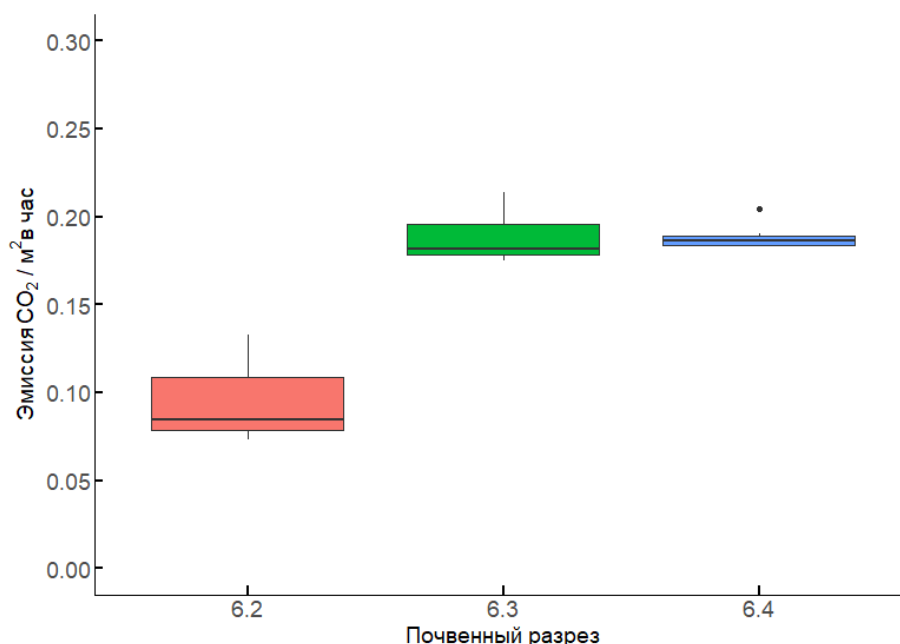


Рисунок 5 – Диаграмма размаха эмиссии диоксида углерода в слое 0-10 см на территории исследуемого участка в прибрежной зоне Цимлянского водохранилища Волгоградской области
Figure 5 – Diagram of the range of carbon dioxide emissions in the 0-10 cm layer in the study area in the coastal zone of the Tsimlyansk Reservoir in the Volgograd Region

Для почвенного разреза 6.2 медианное значение эмиссии CO₂ из почв зафиксировано на уровне 0,084 г CO₂ / м²·ч, среднее – 0,097 г CO₂ / м²·ч, стандартное отклонение – 0,031, а коэффициент вариации составил 32,5 %, что указывает на высокую нестабильность условий и значительную внутреннюю изменчивость процесса. Для почвенного разреза 6.3 медиана достигала 0,181 г CO₂ / м²·ч, среднее – 0,188 г CO₂ / м²·ч, стандартное отклонение – 0,017, а коэффициент вариации был существенно ниже – 9,2 %, что свидетельствует о более однородных и стабильных условиях углеродного обмена. Для почвенного разреза 6.4 медианное значение составило 0,186 г CO₂ / м²·ч, среднее – 0,189 г CO₂ / м²·ч, стандартное отклонение – 0,008, а коэффициент вариации оказался минимальным – 4,4 %, что подчёркивает высокую стабильность микроклимата и почвенных процессов в этой точке.

Таким образом, несмотря на близкое расположение разрезов, наблюдается пространственная изменчивость: почвы разрезов 6.3 и 6.4 в слое 0-10 см демонстрируют более высокую и стабильную эмиссию CO₂ по сравнению с почвами разреза 6.2. При этом различия в средних значениях (0,097 для 6.2, 0,188 для 6.3 и 0,189 для 6.4 г CO₂ / м²·ч) сопровождаются существенным различием в коэффициентах вариации (32,5 % для 6.2, 9,2 % для 6.3 и 4,4 % для 6.4), что позволяет предположить различия в локальных гидротермических условиях, определяющих реализацию углеродного обмена в естественной среде.

На рисунке 6 представлены диаграммы размаха, иллюстрирующие пространственную изменчивость гидротермических факторов – температуры воздуха, а также объёмной влажности (VWC) и температуры почвы в слое 0-10 см для трёх почвенных разрезов прибрежной зоны Цимлянского водохранилища.

Температура воздуха варьировала в пределах 34,9-38,6 °С. Средние значения составили 37,2 °С для ПР 6.2, 37,5 °С для ПР 6.3 и 37,3 °С для ПР 6.4. Несмотря на небольшое увеличение температуры воздуха в ПР 6.3, значимых различий средних значений температуры в пределах почвенных разрезов не выявлено, что указывает на относительную однородность климатообразующего фактора на исследуемом участке.

Объёмная влажность почвы (VWC) демонстрирует выраженную пространственную неоднородность. Средние значения составили 1,4 % для ПР 6.2, 3,0 % для ПР 6.3 и 1,6 % для ПР 6.4. Эти различия свидетельствуют о том, что только для почвенного разреза 6.3 объёмная влажность почвы превышала 3,0 %, что совпадало с максимальной и стабильной эмиссией CO₂, тогда как для остальных почвенных разрезов VWC не превышала 2,0 % и эмиссия была значительно ниже.

Температура почвы демонстрирует наибольшие различия между почвами разрезов. Средние значения в слое 0-10 см составили 44,5 °С для ПР 6.2, 44,9 °С для ПР 6.3 и 41,8 °С для ПР 6.4. При этом для ПР 6.3 температура почвы была постоянной и равной 44,9 °С во всех измерениях, тогда как для ПР 6.2 она варьировала от 43,8 до 45,5 °С, а для ПР 6.4 – от 41,1 до 42,6 °С. Это указывает на то, что локальные различия в гидротермическом режиме формируют уникальные микроклиматические условия в каждом почвенном разрезе.

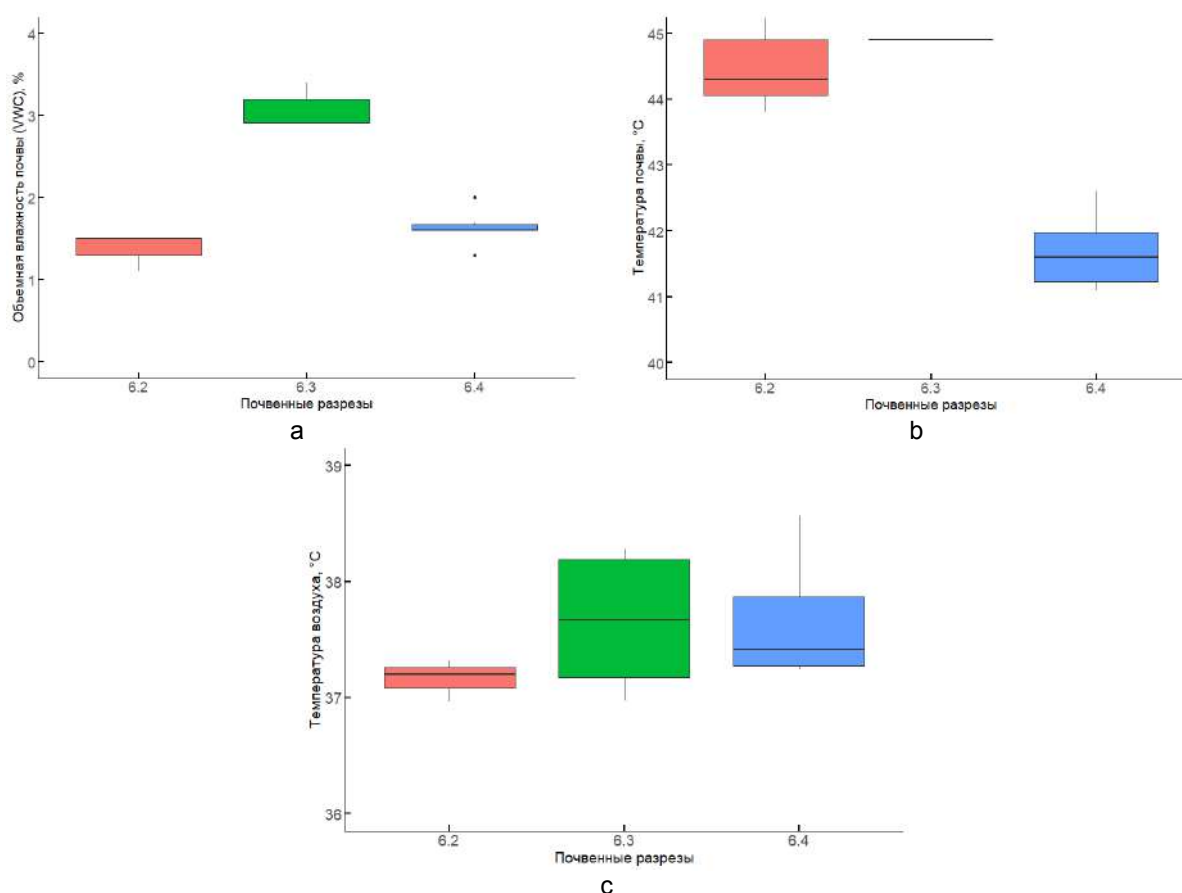


Рисунок 6 – Диаграммы размаха гидротермических факторов (а – объёмная влажность почвы, б – температура почвы, с – температура воздуха) на территории исследуемого участка в прибрежной зоне Цимлянского водохранилища

Figure 6 – Diagrams of the range of hydrothermal factors (a – volumetric soil moisture, b – soil temperature, c – air temperature) in the study area in the coastal zone of the Tsimlyansk Reservoir

Таким образом, несмотря на близкое расположение точек, наблюдается пространственная изменчивость гидротермического режима почвы, обусловленная микрорельефом и расстоянием до уреза воды.

Дополнительно был выполнен корреляционный анализ для оценки связи между эмиссией CO₂ и ключевыми гидротермическими параметрами (таблица 1).

Таблица 1 – Корреляционный анализ между эмиссией диоксида углерода и гидротермическими показателями

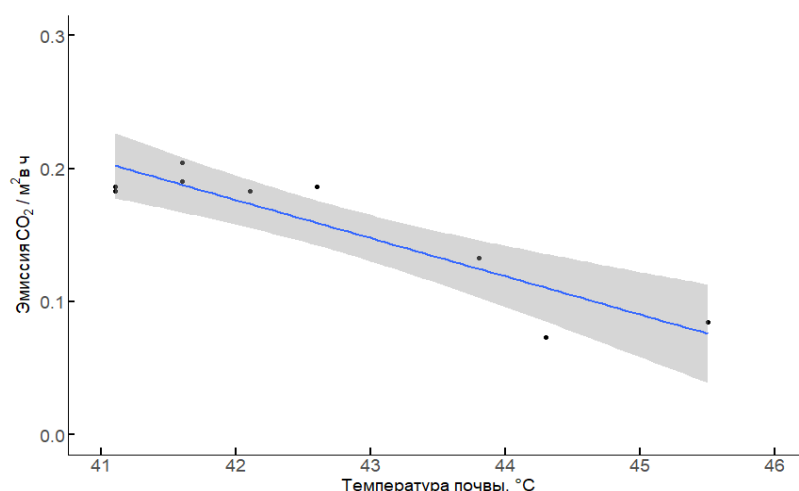
Table 1 – Correlation analysis between carbon dioxide emissions and hydrothermal indicator

	Эмиссия CO ₂ / CO ₂ emission	Влажность почвы / Soil moisture	Температура почвы / Soil temperature	Температура воздуха / Air temperature
Эмиссия CO ₂ / CO ₂ emission	1	0,44	-0,91	0,14
Влажность почвы / Soil moisture	0,44	1	-0,21	0,25
Температура почвы / Soil temperature	-0,91	-0,21	1	0,15
Температура воздуха / Air temperature	0,14	0,25	0,15	1

Результаты показали, что единственной статистически значимой линейной связью является отрицательная корреляция между эмиссией CO₂ и температурой почвы: ($r = -0,91$, $p \leq 0,05$). Это указывает на то, что при увеличении температуры почвы свыше 40 °С интенсивность эмиссии CO₂ снижается, из-за подавления метаболической активности почвенных организмов. Связь эмиссии CO₂ с объёмной влажностью почвы (VWC) была положительной, но не достигла уровня статистической значимости ($r = 0,44$, $p > 0,05$). С температурой воздуха было выявлено отсутствие зависимости ($r = 0,14$, $p > 0,05$).

Эти данные подтверждают, что в условиях засушливого континентального климата при высоких температурах воздуха (> 40 °С), именно температура почвы, а не влажность или температура воздуха, выступает доминирующим лимитирующим фактором углеродного обмена. Несмотря на то, что для почвенного разреза 6.3 объёмная влажность почвы (2,9-3,4 %) была существенно выше, чем в других точках (1,1-2,0 %). Это указывает на то, что в условиях высокой температуры почвы (> 44 °С) объёмная влажность не оказывает статистически значимого влияния на интенсивность углеродного обмена и, следовательно, не является доминирующим фактором в рамках данного эксперимента.

График зависимости эмиссии CO₂ от температуры почвы визуально подтверждает эту тенденцию, которая указывает на сильное подавление почвенного дыхания при повышении температуры почвы (рисунок 7).

Рисунок 7 – Зависимость между эмиссией CO₂ и температурой почвы в слое 0-10 смFigure 7 – Relationship between CO₂ emission and soil temperature in the 0-10 cm layer

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод, что в условиях сухого континентального климата прибрежной зоны Цимлянского водохранилища температура почвы является ключевым контролирующим фактором, определяющим пространственную изменчивость эмиссии CO₂ на коротких расстояниях.

Корреляционный анализ выявил, что интенсивность эмиссии CO₂ определяется преимущественно температурой почвы, тогда как влияние влажности и температуры воздуха статистически не значимо. Чтобы понять механизм взаимосвязи гидротермических

факторов и потоков углерода, были проанализированы показатели микробной активности – ключевого биологического компонента, остро реагирующего на изменение микроклиматических условий среды обитания.

В таблице 2 представлены усреднённые значения эмиссии CO_2 , свойств почвы и базального дыхания, по трём почвенным разрезам. Сопоставление полевых и лабораторных данных позволяет оценить, насколько внутренний метаболический потенциал почвы реализуется в естественных условиях под действием гидротермических факторов.

Таблица 2 – Усредненные значения основных компонентов, оказывающих влияние на поток CO_2 из почв
Table 2 – Average values of the main components influencing the CO_2 flow from soils

Почвенный разрез / Soil section	Эмиссия CO_2 (г CO_2 / $\text{м}^2 \cdot \text{ч}$) / CO_2 emissions (g CO_2 / $\text{m}^2 \cdot \text{h}$)	Базальное дыхание (мкг С/г почвы·ч) / Basal respiration (mcg/g of soil·h)	Плотность почвы (г/см ³) / Soil density (g/cm ³)	Органиче- ский углерод (%) / Organic carbon (%)	Фракция песка (%) / Sand fraction (%)	Фракция глины (%) / Clay fraction (%)
6.2	0,10	0,10	1,32	1,16	83,85	16,15
6.3	0,19	0,07	1,44	0,29	94,67	5,33
6.4	0,19	0,08	1,52	0,97	94,44	5,56

Для сопоставления полевой эмиссии CO_2 и лабораторного микробного потенциала базальное дыхание (мкг С/г почвы·ч) было пересчитано в поток на единицу площади (г С / $\text{м}^2 \cdot \text{ч}$) с учётом плотности почвы (1,33-1,52 г/см³) и стандартной глубины слоя 10 см. Результаты показали, что полевая эмиссия CO_2 (пересчитанная в углерод) превышает лабораторное микробное дыхание в 2,0-5,1 раза.

Для почвенного разреза 6.2 эмиссия оказалась 0,026 г С / $\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ при микробном дыхании 0,013 г С / $\text{м}^2 \cdot \text{ч}$, то есть оказалась в два раза выше. Для почвенного разреза 6.3 эмиссия составила 0,051 г С / $\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ при микробном дыхании 0,010 г С / $\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ это соотношение достигло 5,1, а для почвенного разреза 6.4 эмиссия фиксировалась на уровне 0,052 г С / $\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ при микробном дыхании 0,012 г С / $\text{м}^2 \cdot \text{ч}$, то есть превысила в 4,3 раза. Это свидетельствует о значительном вкладе автотрофного компонента (корневое дыхание) в общий поток CO_2 . Более того, почва с наименьшим микробным потенциалом в разрезе 6.3 демонстрирует наибольшую полевую эмиссию, тогда как почва с максимальным базальным дыханием (6.2) характеризуется минимальной эмиссией.

Это несоответствие между величиной базального дыхания и интенсивностью полевой эмиссии может быть объяснено различиями в физико-химических свойствах почв. Почвы разреза 6.3 в слое 0-10 см, несмотря на высокую полевую эмиссию, характеризуется крайне низким содержанием органического углерода (0,29 %) и преобладанием песчаной фракции (94,67 %), что ограничивает удержание субстрата и развитие микробной биомассы, вследствие чего лабораторно определяемое базальное дыхание оказывается минимальным. В то же время наличие развитой корневой системы злаков (полынь, ковыль) обеспечивает высокий автотрофный компонент дыхания, который доминирует в общем потоке CO_2 . Напротив, почвы разреза 6.2 содержание органического углерода значительно выше (1,16 %), а доля песка ниже (83,85 %), что способствует накоплению микробного потенциала и объясняет максимальное базальное дыхание. Однако экстремальные условия – температура почвы 44,5 °С и влажность 1,4 % – подавляют реализацию этого потенциала в полевых условиях, что приводит к минимальной эмиссии CO_2 . Почвы разреза 6.4 занимают промежуточное положение: при высоком содержании песка (94,44 %) и умеренном уровне органического углерода (0,97 %) снижение температуры почвы до 41,8 °С создаёт условия для стабильно высокой эмиссии.

Таким образом, пространственная изменчивость углеродного обмена в прибрежной зоне определяется совместным действием запасов органического вещества, гранулометрического состава и текущих гидротермических условий, причём именно последние определяют степень реализации биологического потенциала.

Заключение. Проведённое исследование показало, что в условиях сухого континентального климата прибрежной зоны Цимлянского водохранилища пространственная гетерогенность эмиссии CO_2 на масштабах 100 м определяется не столько биологическим потенциалом почвы, сколько локальными гидротермическими условиями, формируемыми микрорельефом и удалённостью от уреза воды. При экстремально высоких температурах почвы (> 40 °С) именно температурный режим становится доминирующим контролирующим фактором углеродного обмена, подавляя метаболическую активность даже при наличии доступной влаги.

Корреляционный анализ показал, что температура почвы является ключевым лимитирующим фактором углеродного обмена. Выявлена статистически значимая отрицательная линейная связь между эмиссией CO₂ и температурой почвы ($r = -0,91$, $p \leq 0,05$), что свидетельствует о подавлении метаболической активности почвенных организмов при термическом стрессе. Влияние объёмной влажности почвы, хотя и положительное ($r = 0,44$), оказалось статистически незначимым в рамках данной выборки.

Сопоставление полевых и лабораторных данных показало, что полевая эмиссия CO₂ превышает лабораторно измеренное микробное дыхание в 2-5 раз, что дополнительно подтверждает существенный вклад корневого дыхания в общий поток. Таким образом, в аридных условиях прибрежной зоны водохранилища регуляция эмиссии CO₂ определяется не столько внутренним биологическим потенциалом почвы, сколько текущими климатическими условиями, в первую очередь температурой почвы.

Таким образом, в сухих континентальных климатических условиях прибрежных экотонах, ключевую роль в регуляции эмиссии CO₂ играет не внутренняя биохимическая ёмкость почвы, а её способность функционировать в рамках жёстких внешних ограничений. Полученные данные подчёркивают важность учёта микроклиматической изменчивости даже на малых пространственных масштабах при моделировании углеродного цикла в засушливых регионах.

Conclusion. This study demonstrates that under the dry continental climate of the coastal zone of the Tsimlyansk Reservoir, the spatial heterogeneity of CO₂ emissions at 100-m scales is governed less by the soil's biological potential and more by local hydrothermal conditions shaped by microtopography and distance from the water's edge. Under extreme soil temperatures ($>40^{\circ}\text{C}$), thermal regime becomes the dominant controlling factor of carbon exchange, suppressing metabolic activity even when moisture is available.

Correlation analysis confirmed soil temperature as the key limiting factor of carbon exchange. A statistically significant strong negative linear relationship was observed between CO₂ emission and soil temperature ($r = -0.91$, $p \leq 0.05$), indicating suppression of soil organism metabolic activity under thermal stress. Although soil volumetric water content exhibited a positive association ($r = 0.44$), its influence was not statistically significant within this dataset.

Comparison of field and laboratory measurements revealed that in situ CO₂ emissions exceeded laboratory-measured microbial respiration by a factor of 2-5, further corroborating the substantial contribution of root respiration to the total flux. Thus, under arid conditions in the reservoir's coastal zone, CO₂ emission dynamics are regulated less by the soil's intrinsic biological potential and more by prevailing climatic conditions-primarily soil temperature.

Consequently, in dry continental coastal ecotones, the regulation of CO₂ emissions depends not on the soil's internal biochemical capacity but on its ability to function within stringent external constraints. These findings underscore the importance of accounting for microclimatic variability-even at fine spatial scales-when modeling the carbon cycle in arid regions.

Библиографический список

1. Гарькуша Д. Н. и др. Анализ факторов формирования концентраций и эмиссионных потоков метана в водохранилищах. Антропогенная трансформация природной среды. 2024. № 1. С. 37-50.
2. Данилов-Данильян В. И., Новикова Н. М., Назаренко О. Г. Экологические последствия создания и функционирования водохранилищ в степной зоне. Экосистемы: экология и динамика. 2023. Т. 7. № 4. С. 5-28.
3. Никитин Д. А., Ананьева Н. Д. Методические рекомендации по проведению почвенных микробиологических исследований. Москва, 2024.
4. Репина И. А., Степаненко В. М. Вклад водных объектов в глобальный углеродный цикл. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: материалы 19-й Международной конференции. 2021. С. 434-434.
5. Сорокина В. В. Обзор концептуальных основ изучения и моделирования потоков углерода на наземно-водных границах. Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. 2023. Т. 1. № 8. С. 160-171.
6. Усова Е. В. и др. Необходимость исследований эмиссии парниковых газов на водохранилищах как основа создания карбоновых полигонов. Экологическая безопасность прибрежных и шельфовых зон и комплексное использование ресурсов шельфа: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. 2023. 328 с.
7. Федоров Ю. А. и др. Искусственные водоемы как очаги метаногенеза (на примере Цимлянского водохранилища). Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2024. № 3. С. 68-82.
8. Федотова А. В., Тимофеев Е. П., Зотов Е. С. Оценка содержания углерода микробной биомассы в почвах тестового полигона «Ачикулак» Манычско-Донской провинции сухостепной зоны. Научно-агрономический журнал. 2025. № 3 (130). С. 8-16.
9. Singh S. et al. How the Birch effect differs in mechanisms and magnitudes due to soil texture. Soil Biology and Biochemistry. 2023. V. 179. Art. 108973.
10. Zhuzhukin K. V. et al. Effect of multi-walled carbon nanotubes on the growth and expression of stress resistance genes in birch. Forests. 2023. V. 14. № 1. Art. 163.
11. Kostyanovsky K. I. et al. Developing a flow through chamber system for automated measurements of soil N₂O and CO₂ emissions. Measurement. 2018. V. 113. Pp. 172-180.
12. Vargas R., Le V. H. The paradox of assessing greenhouse gases from soils for nature-based solutions. Biogeosciences. 2023. Vol. 20. No 1. Pp. 15-26.

References

1. Garkusha D. N. et al. Analysis of factors influencing methane concentrations and emission fluxes in reservoirs. *Anthropogenic Transformation of the Natural Environment*. 2024. No. 1. Pp. 37-50.
2. Danilov-Danilyan V. I., Novikova N. M., Nazarenko O. G. Ecological consequences of reservoir creation and operation in the steppe zone. *Ecosystems: Ecology and Dynamics*. 2023. V. 7. No. 4. Pp. 5-28.
3. Nikitin D. A., Ananyeva N. D. *Methodological Guidelines for Soil Microbiological Studies*. Moscow, 2024. 48 p.
4. Repina I. A., Stepanenko V. M. Contribution of water bodies to the global carbon cycle. *Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space: Proceedings of the 19th International Conference*. 2021. Art. 434.
5. Sorokina V. V. Review of conceptual foundations for studying and modeling carbon fluxes at land-water interfaces. *Ecology. Economics. Informatics. Series: System Analysis and Modeling of Economic and Ecological Systems*. 2023. Vol. 1. No. 8. Pp. 160-171.
6. Usova E. V. et al. Necessity of greenhouse gas emission studies at reservoirs as a basis for carbon polygon development. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference with International Participation*. 2023. 328 p.
7. Fedorov Yu. A. et al. Artificial water bodies as methanogenesis hotspots (exemplified by the Tsimlyansk Reservoir). *Water Resources of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2024. No. 3. Pp. 68-82.
8. Fedotova A. V., Timofeev E. P., Zotov E. S. Assessment of microbial biomass carbon content in soils of the «Achikulak» test site, Manych-Don Province of the dry-steppe zone. *Scientific and Agronomic Journal*. 2025. No 3 (130). Pp. 8-16.
9. Singh S. et al. How the Birch effect differs in mechanisms and magnitudes due to soil texture. *Soil Biology and Biochemistry*. 2023. Vol. 179. Art. 108973.
10. Zhuzhukin K. V. et al. Effect of multi-walled carbon nanotubes on the growth and expression of stress resistance genes in birch. *Forests*. 2023. Vol. 14. No. 1. Art. 163.
11. Kostyanovsky K. I. et al. Developing a flow-through chamber system for automated measurements of soil N₂O and CO₂ emissions. *Measurement*. 2018. Vol. 113. Pp. 172-180.
12. Vargas R., Le V. H. The paradox of assessing greenhouse gases from soils for nature-based solutions. *Biogeosciences*. 2023. Vol. 20. No. 1. Pp. 15-26.

Информация об авторах

Тимофеев Евгений Павлович, 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: 0009-0000-6779-4894, e-mail: timofeev-e@vfanc.ru

Федотова Анна Владиславовна, доктор биологических наук, профессор, заместитель директора, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), ORCID: 0000-0003-0241-1797, e-mail: fedotova-a@vfanc.ru

Петров Юрий Николаевич, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), e-mail: petrov-y@vfanc.ru

Authors' Information

Timofeev Evgenii Pavlovich, Junior Research Scientist, Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Meliorations and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: 0009-0000-6779-4894, e-mail: timofeev-e@vfanc.ru

Fedotova Anna Vladislavovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Deputy Director for Research, Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Meliorations and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: 0000-0003-0241-1797, e-mail: fedotova-a@vfanc.ru

Petrov Yuri Nikolaeovich, Senior Research Scientist, Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Meliorations and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), e-mail: petrov-y@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-34

THE VARIOUS COLORED TOMATO FRUITS BIOCHEMICAL COMPOSITION**Chernyavskaya Y. N.**

*Krasnodar Scientific Research Institute for Storage and Processing of Agricultural Products – the branch of the North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture and Winemaking
Krasnodar, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: yulya19992011@mail.ru

Received 12.11.2025

Submitted 19.02.2026

Summary

The article presents the results of biochemical and statistical analysis of fresh tomatoes of various colors. The conducted studies on the studied biochemical parameters allowed us to identify samples with both a high content of individual biochemical substances and a set of indicators, which will serve for further research.

Abstract

Introduction. Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is a widely cultivated crop worldwide, consumed both fresh and processed. The nutritional value of fresh tomatoes is determined by their biochemical composition – the content of sugars, organic acids, minerals and a variety of vitamins. At the same time, fresh tomatoes have high antioxidant activity, which is determined by the content of carotenoids (lycopene, B-carotene),

vitamin C. Currently, the consumption of products with a high content of substances beneficial to human health, which play an important role in the prevention of various diseases, is relevant. Fresh tomatoes are characterized by a diverse color of fruits, which determines their biochemical composition. **Object.** The object of the research is samples of fresh tomatoes of various colors of such varieties and hybrids as Zavolzhsky, Chocolate banana, Kuban Gold, Raspberry Supergall, Annaisa F1, Khn 5003 F1, Annasan F1, Annarosa F1. **Materials and methods.** Biochemical studies were carried out in the department of storage and complex processing of agricultural raw materials of the KSRISP branch of the Federal State Budgetary Institution of the Russian Federation. The content of total and reducing solids, vitamin C, polyphenolic substances, lycopene and B-carotene was determined. Statistical data analysis was performed using the STATISTICA v.12.0 software package. **Results and conclusion.** The study revealed the amplitude of variability in the content of titrated acidity (0,58-0,66; 0,47-0,56; 0,35-0,42 and 0,66-0,74), dry matter (5,90-8,10; 7,90-9,10; 6,91-8,20 and 8,90-9,70 %), sugars (3,30-4,40; 4,00-4,93; 3,65-4,61 and 4,63-4,90 %), vitamin C (19,40-22,80; 24,30-27,50; 20,90-20,60 and 24,00-26,30 mg/100 g), lycopene (4,30-5,60; 6,70-7,70; 0,22-0,58 and 9,48-10,75 mg/100 g) and B-carotene (0,57-0,83; 0,73-1,20; 1,70-2,25 and 0,55-1,40 mg/100 g) in fruits of red, pink, yellow and brown color, respectively. Correlations were found between the content of soluble solids and sugars ($r=0,98$, at $p<0,05$), as well as between the content of sugars and vitamin C ($r=0,93$, at $p<0,05$). Using correlation analysis, samples of fresh tomatoes were determined both with a high content of individual biochemical substances and according to a set of indicators, which will serve for further research.

Keywords: tomato fruits, tomato fruit color, biochemical composition of tomato fruits, fresh vegetables, nutritional value of tomato fruits.

Citation. Chernyavskaya Y. N. The various colored tomato fruits biochemical composition. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 307-317 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-34.

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 635.64+581.19

БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЛОДОВ ТОМАТА РАЗЛИЧНОЙ ОКРАСКИ

Чернявская Ю. Н., младший научный сотрудник, аспирант

Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия» (КНИИХП – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ)
г. Краснодар, Российская Федерация

Актуальность. Томат (*Solanum lycopersicum* L.) – широко возделываемая культура во всем мире, потребляемая как в свежем, так и в переработанном виде. Пищевая ценность томатов свежих обусловлена их биохимическим составом – содержанием сахаров, органических кислот, минеральных веществ и разнообразием витаминов. При этом томаты свежие обладают высокой антиоксидантной активностью, которая определяется содержанием каротиноидов (ликопин, β -каротин), витамина С. В настоящее время является актуальным потребление продукции с повышенным содержанием полезных для здоровья человека веществ, играющих немаловажную роль в профилактике различных заболеваний. Томаты свежие отличаются разнообразной окраской плодов, что обуславливает их биохимический состав. **Объект.** Объектом исследований являются образцы томатов свежих различной окраски таких сортов и гибридов, как Заволжский, Шоколадный банан, Золото Кубани, Супергол Малиновый, Аннаиса F1, Хн 5003 F1, Аннасан F1, Аннароста F1. **Материалы и методы.** Биохимические исследования осуществлены в отделе хранения и комплексной переработки сельскохозяйственного сырья КНИИХП – филиала ФГБНУ СКФНЦСВВ. Определяли содержание сухих веществ, общих и редуцирующих, витамина С, полифенольных веществ, ликопина и β -каротина. Статистический анализ данных выполнен с использованием программного пакета STATISTICA v.12.0. **Результаты и выводы.** В проведенном исследовании была выявлена амплитуда изменчивости содержания титруемой кислотности (0,58-0,66; 0,47-0,56; 0,35-0,42 и 0,66-0,74), сухих веществ (5,90-8,10; 7,90-9,10; 6,91-8,20 и 8,90-9,70 %), сахаров (3,30-4,40; 4,00-4,93; 3,65-4,61 и 4,63-4,90 %), витамина С (19,40-22,80; 24,30-27,50; 20,90-20,60 и 24,00-26,30 мг/100 г), ликопина (4,30-5,60; 6,70-7,70; 0,22-0,58 и 9,48-10,75 мг/100 г) и β -каротина (0,57-0,83; 0,73-1,20; 1,70-2,25 и 0,55-1,40 мг/100 г) в плодах красной, розовой, желтой и коричневой окраски, соответственно. Были выявлены корреляционные связи между содержанием растворимых сухих веществ и сахаров ($r = 0,98$, при $p < 0,05$), а также между содержанием сахаров и витамином С ($r = 0,93$, при $p < 0,05$). С помощью корреляционного анализа определены образцы томатов свежих как с высоким содержанием отдельных биохимических веществ, так и по комплексу показателей.

Ключевые слова: плоды томата, окраска плодов томата, биохимический состав плодов томата, свежие овощи, пищевая ценность плодов томата.

Цитирование. Чернявская Ю. Н. Биохимический состав плодов томата различной окраски. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 307-317. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-34.

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. С каждым годом растет спрос на здоровые продукты питания. Свежие овощи богаты полезными фитохимическими веществами (кароиноиды, полифенолы, флаваноиды и т.д.), играющими важную роль в профилактике здоровья человека. Антиоксиданты, содержащиеся в составе овощных культур, снижают риск развития многих заболеваний человека. Кроме того, овощи являются диетической продукцией, в их составе содержится минимальное количество углеводов и жиров, при этом, они отличаются высоким содержанием пищевых волокон, витаминов, минеральных веществ [1-3].

Томат (*Solanum lycopersicum* L. – семейство пасленовые) – широко возделываемая культура во всем мире, потребляется как в свежем, так и в переработанном виде [4, 5]. Родиной происхождения томата является Центральная и Юго-Западная Америка. Томаты в России начали возделывать в 18 веке в южных регионах, и изначально томат считался декоративным растением, но с развитием огородничества культура томата стала пищевой. Томаты обладают высокими вкусовыми качествами, содержат значительное количество ценных питательных веществ, из-за чего стали широко употребляться в пищу. В результате одомашнивания культуры, было выведено множество сортов томатов, разнообразных по форме, размерам, окраске, характеру поверхности и т. д., но при этом изменялись и генетические особенности, важные из которых были утрачены – устойчивость к болезням, качество плодов [6, 7].

Пищевая ценность томатов обусловлена высоким содержанием в их составе растворимых сахаров, органических кислот, витаминов, минералов, каротиноидов, полифенольных веществ, пищевых волокон [8]. Антиоксидантные свойства (способность защищать организм от свободных радикалов) томатов обеспечиваются такими соединениями, как каротиноиды, фенольные вещества, витамин С и Е. Основным классом биологически активных веществ в томатах являются каротиноиды, представленные, в основном, ликопином, а также β-каротином, α-каротином и др., содержание которых варьирует от сорта, степени зрелости, окраски плода. Флавоноиды в томатах представлены нарингенин-халконом и кверцетином, в небольших количествах присутствуют нарингенин, мирицетин и кемпферол. Хлорогеновая и кофейная кислоты – основные фенольные кислоты, содержащиеся в томатах. Количественное содержание фенольных веществ, как и каротиноидов, зависит от сорта, степени зрелости, окраски плода, условий выращивания [9].

Биологически активные вещества в составе томатов обладают противораковыми, иммуномодулирующими свойствами, снижают риск возникновения сердечно-сосудистых, нейродегенеративных заболеваний, воспалительных заболеваний печени и кишечника, атеросклероза, снижают риск бесплодия, обеспечивают более быстрое восстановление мышц после физических нагрузок [5, 10].

В настоящее время растет интерес к продуктам питания с высоким содержанием полезных, ценных биологически активных веществ, играющих незаменимую роль в профилактике здоровья человека.

Целью настоящей работы является сравнительная оценка биохимического состава плодов томатов свежих различной окраски. Задачами исследования являются: определение содержания в плодах томатов различной окраски растворимых сухих веществ, общих и редуцирующих сахаров, витамина С (аскорбиновой кислоты), ликопина, полифенольных веществ, титруемой кислотности, расчет сахаро-кислотного индекса.

Материалы и методы. Объектами исследования служили образцы томатов свежих различных сортов и гибридов, различающихся по форме, размеру и окраске (таблица 1).

Представленные томаты включены в Госреестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений и допущены к использованию в Северо-Кавказском регионе (6), а также отличаются высокой урожайностью.

Таблица 1 – Список исследуемых образцов томатов свежих
Table 1 – List of the studied fresh tomato samples

№ п/п	Сорт/гибрид / Variety/hybrid	Окраска плода / Fruit coloring	Форма плода / Fruit shape	Масса плода, г / Fruit weight, g
1	Заволжский / Zavolzhskiy	красный / red	цилиндрическая / cylindrical	90,0
2	Шоколадный банан / Shokoladnyi banan	коричневый / brown	цилиндрическая / cylindrical	100,0
3	Золото Кубани / Zoloto Kubani	желтый / yellow	цилиндрическая / cylindrical	74,0
4	Супергол Малиновы / Supergol Malinovy	розовый / pink	цилиндрическая / cylindrical	85,5
5	Аннаиса F1 / Annaisa F1	красный / red	плоскоокруглая / flat-rounded	37,5
6	Хн 5003 F1	коричневый / brown	округлая / rounded	43,0
7	Аннасан F1 / Annasan F1	желтый / yellow	округлая / rounded	45,0
8	Аннароза F1 / Annarosa F1	розовый / pink	округлая / rounded	57,5

Биохимический анализ образцов томатов осуществлен на базе отдела хранения и комплексной переработки сельскохозяйственного сырья КНИИХП – филиала ФГБНУ СКФНЦСВВ. Исследование проводили в трех повторностях с отбором не менее пяти образцов каждого сорта томатов.

Содержание растворимых сухих веществ определяли рефрактометрическим методом по ГОСТ ISO 2173-2013, общих и редуцирующих сахаров – по ГОСТ 8756.13-87, витамина С – по ГОСТ 24556-89, полифенольных веществ – колориметрическим методом с использованием реактива Фолина-Дениса, ликопина и β -каротина – по ГОСТ спектрофотометрическим методом, титруемой кислотности – по ГОСТ ISO 750-2013.

Описательная статистика (среднее значение, медиана, стандартная ошибка, стандартное отклонение, диапазон изменчивости) рассчитана для всех биохимических показателей для оценки разнообразия плодов различной окраски. Статистический анализ данных был выполнен с использованием программного пакета STATISTICA v.12.0. Корреляционный анализ для линейной зависимости между количественными переменными был проведен с использованием коэффициента корреляции Пирсона. Кластерный анализ был проведен с использованием иерархической кластеризации методом Уорда на основе Евклидова расстояния. Проверка значимости кластеров – с помощью дисперсионного анализа.

Результаты и обсуждение. При изучении биохимического состава томатов свежих различной окраски (красного, желтого, розового и коричневого цвета) было установлено, что исследуемые образцы имеют существенные различия в содержании основных биохимических показателей (таблица 2 и 3).

Таблица 2 – Параметры описательной статистики образцов томатов свежих
по биохимическим признакам

Table 2 – Parameters of descriptive statistics of fresh tomato samples based on biochemical characteristics

Признак / Sign	Тип окраски / Type of coloring	$X_{cp} \pm \text{ст. ошиб.} /$ $X_{avg} \pm \text{std. err.}$	Медиана / The median	Min-Max	Ст. откл. / Deviation statistics
1	2	3	4	5	6
Массовая доля титруемых кислот в пересчете на лимонную кислоту, % / Mass fraction of titrated acids in terms of citric acid, %	красная / red	$0,62 \pm 0,01$	0,62	0,58-0,66	0,03
	розовая / pink	$0,51 \pm 0,01$	0,50	0,47-0,56	0,03
	желтая / yellow	$0,39 \pm 0,01$	0,40	0,35-0,42	0,02
	коричневая / brown	$0,70 \pm 0,01$	0,70	0,66-0,74	0,02
Массовая доля растворимых сухих веществ, % / Mass fraction of soluble dry substances, %	красная / red	$7,00 \pm 0,33$	7,00	5,90-8,10	1,06
	розовая / pink	$8,50 \pm 0,17$	8,48	7,90-9,10	0,54
	желтая / yellow	$7,55 \pm 0,18$	7,55	6,91-8,20	0,58
	коричневая / brown	$9,30 \pm 0,10$	9,30	8,90-9,70	0,32

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6
Ликопин, мг/100 г / Lycopene, mg/100 g	красная / red	5,00 ± 0,17	5,10	4,30-5,60	0,59
	розовая / pink	7,25 ± 0,09	7,25	6,70-7,70	0,28
	желтая / yellow	0,45 ± 0,04	0,48	0,22-0,58	0,12
	коричневая / brown	10,1 ± 0,12	10,10	9,48-10,75	0,38
β-каротин, мг/100 г / β-carotene, mg/100 g	красная / red	0,70 ± 0,03	0,72	0,57-0,83	0,11
	розовая / pink	1,00 ± 0,04	1,00	0,73-1,20	0,12
	желтая / yellow	2,15 ± 0,07	2,23	1,70-2,25	0,22
	коричневая / brown	0,90 ± 0,08	0,86	0,55-1,40	0,25
Витамин С, мг/100 г / Vitamin C, mg/100 g	красная / red	20,75 ± 0,33	20,38	19,40-22,80	1,04
	розовая / pink	25,50 ± 0,30	25,20	24,30-27,50	0,95
	желтая / yellow	22,75 ± 0,45	22,93	20,90-20,60	1,44
	коричневая / brown	25,50 ± 0,24	25,70	24,00-26,30	0,77
Массовая доля общих сахаров, % / Mass fraction of total sugars, %	красная / red	3,75 ± 0,12	3,73	3,30-4,40	0,39
	розовая / pink	4,50 ± 0,11	4,48	4,00-4,93	0,34
	желтая / yellow	4,10 ± 0,11	4,06	3,65-4,61	0,35
	коричневая / brown	4,75 ± 0,03	4,74	4,63-4,90	0,09
Массовая доля редуцирующих сахаров, % / Mass fraction of reducing sugars, %	красная / red	2,85 ± 0,12	2,85	2,40-3,25	0,37
	розовая / pink	3,60 ± 0,10	3,64	3,18-3,94	0,32
	желтая / yellow	3,20 ± 0,10	3,26	2,76-3,55	0,33
	коричневая / brown	3,85 ± 0,03	3,88	3,70-3,97	0,08

Таблица 3 – Образцы томатов свежих по комплексу биохимических признаков
Table 3 – Samples of fresh tomatoes according to a complex of biochemical characteristics

Сорт/гибрид / Variety/hybrid	Массовая доля титруемых кислот в расчете на лимонную кислоту, % / Mass fraction of titrated acids based on citric acid, %	Массовая доля растворимых сухих веществ, % / Mass fraction of soluble solids, %	Ликопин, мг/100 г / Lycopene, mg/100 g	В-каротин, мг/100 г / B-carotene, mg/100 g	Витамин С, мг/100 г / Vitamin C, mg/100 g	Массовая доля сахаров, % / Mass fraction of sugars, %		СКИ
						общих / shared	редуцирующих / reducing	
Заволжский / Zavolzhskiy	0,60	6,0	4,5	0,6	20,0	3,4	2,5	5,7
Шоколадный банан / Shokoladniy banan	0,69	9,0	10,0	0,7	25,0	4,7	3,8	6,8
Золото Кубани / Zoloto Kubani	0,38	7,0	0,4	2,0	21,5	3,8	2,9	10,0
Супергол Малиновый / Supergol Malinovskiy	0,49	8,0	7,2	1,0	25,0	4,2	3,3	8,6
Аннаиса F1 / Annaisa F1	0,63	8,0	5,5	0,8	21,5	4,1	3,2	6,5
Хн 5003 F1	0,71	9,6	10,2	1,1	26,0	4,8	3,9	6,8
Аннасан F1 / Annasan F1	0,40	8,1	0,5	2,3	24,0	4,4	3,5	11,0
Аннароза F1 / Annarosa F1	0,52	9,0	7,3	1,0	26,0	4,8	3,9	9,2

Содержание растворимых сухих веществ. Одним из значимых показателей биохимического состава томатов свежих, влияющих на качественные характеристики плодов, является содержание растворимых сухих веществ. Количественное содержание растворимых сухих веществ в большей мере изменяется от сорта, степени созревания плода, условий выращивания, окраски плода и т. д.

В исследуемых образцах плодов томата содержание растворимых сухих веществ варьировало в пределах от 6,0 до 9,6 %, причем в плодах с красной окраской – от 6,0 до 8,0 %, с розовой окраской – от 8,0 до 9,0 %, с желтой окраской – от 7,0 до 8,1 %, а с коричневой – от 9,0 до 9,6 % (таблица 2). Наибольшее содержание растворимых сухих веществ отмечено у сорта с коричневой окраской Хн 5003 F1 (9,6 %), наименьшее – у сорта с красной окраской Заволжский (6,0 %). Томаты с высоким содержанием растворимых сухих веществ отличаются более насыщенным вкусом (высокое содержание сахаров, органических кислот), длительным сроком хранения (имеют более высокую транспортабельность и лежкость при хранении).

С помощью программного обеспечения STATISTICA был проведен корреляционный анализ для оценки степени взаимосвязи между двумя или несколькими переменными, в частности, между содержанием растворимых сухих веществ и сахаров, а также между содержанием сахаров и витамина С.

Основным показателем корреляционного анализа является коэффициент Пирсона. В проведенном исследовании обнаружены сильные положительные корреляционные связи между содержанием растворимых сухих веществ и сахаров ($r = 0,98$, при $p < 0,05$), а также между содержанием сахаров и витамином С ($r = 0,93$, при $p < 0,05$).

Для визуализации корреляции между переменными были построены диаграммы рассеяния (рисунок 1 и рисунок 2).

В контексте корреляционного анализа диаграмма рассеяния служит предварительным инструментом для разведочного анализа данных, позволяющим:

- сформулировать гипотезу о направлении и силе связи;
- проверить предположение о линейности взаимосвязи (что особенно важно для применения коэффициента Пирсона);
- визуально интерпретировать статистически рассчитанный коэффициент корреляции.

Таким образом, диаграмма рассеяния играет ключевую роль в обеспечении наглядности и интерпретируемости результатов количественного исследования.

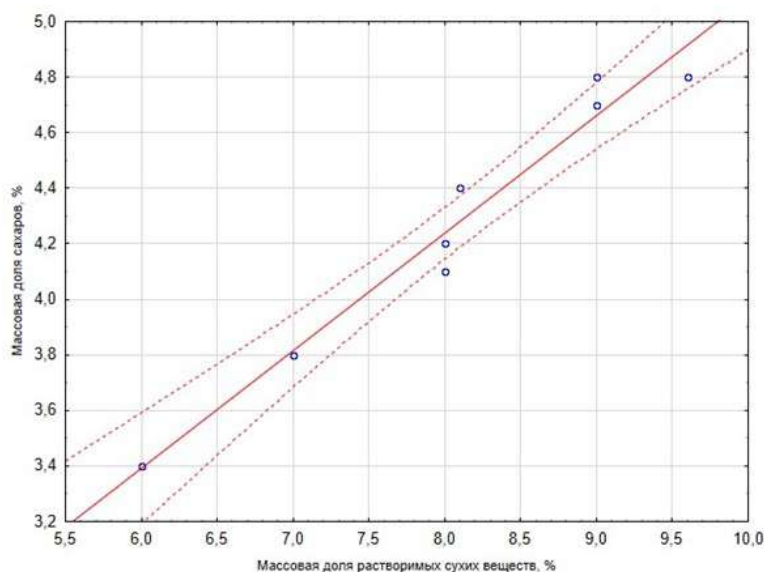


Рисунок 1 – Диаграмма рассеяния массовой доли сахаров и массовой доли растворимых сухих веществ, %

Figure 1 – Scatter plot of the mass fraction of sugars and the mass fraction of soluble solids, %

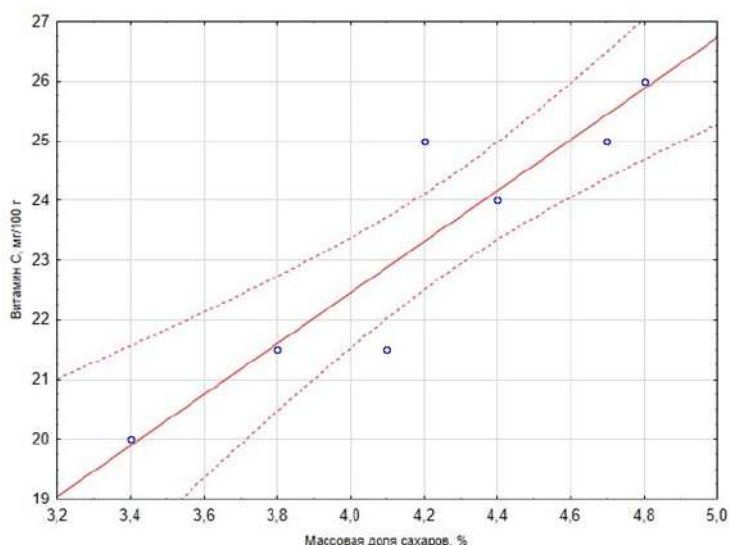


Рисунок 2 – Диаграмма рассеяния содержания витамина С, мг/100 г, и массовой доли сахаров, %
Figure 2 – Scatter plot of vitamin C content, mg/100 g, and mass fraction of sugars, %

Из представленных диаграмм видно, что точки образуют восходящий тренд, т. е. линию, идущую вверх слева направо – отмечена сильная положительная корреляция. При этом можно сделать вывод о том, что увеличение одного из показателей повлияет на увеличении другого и наоборот.

Представленные данные исследования по содержанию растворимых сухих веществ соответствуют данными других исследований [11-15], в результатах которых массовая доля растворимых сухих веществ составляет от 4,8 до 9,8 %.

Содержание сахаров. Основную часть растворимых сухих веществ в плодах томатов составляют углеводы, которые представлены в большей степени растворимыми сахарами (глюкоза, фруктоза). Высокое содержание сахаров обуславливается как сортовыми особенностями томатов, так и условиями, местом выращивания, степенью зрелости и т. д.

Содержание общих сахаров в исследуемых плодах томатов колеблется от 3,4 до 4,8 %, а редуцирующих – от 2,5 до 3,9 %. В том числе, выявлены отличия в содержании сахаров в зависимости от окраски плодов – большее содержание как общих, так и редуцирующих сахаров отмечено у сортов с коричневой и розовой окраской (от 4,2 % до 4,7 % общих, от 3,3 % до 3,9 % редуцирующих), а меньшее – с красной окраской (от 3,4 % до 4,1 % общих, от 2,5 % до 3,2 % редуцирующих). Гибриды Хн 5003 F1 и Аннароза F1 отличились наибольшим содержанием общих и редуцирующих сахаров (4,8 % общих и 3,9 % редуцирующих), а гибрид Заволжский F1 – наименьшим (3,4 % общих и 2,5 % редуцирующих).

Данные по содержанию сахаров, полученные в ходе исследований, согласуются с данными многих исследований [11, 14, 16-19], где отмечено содержание общих сахаров от 2,5 до 5,1 %.

Титруемая кислотность и сахаро-кислотный индекс. Содержание титруемых кислот варьируется как от сортовых особенностей, так и от окраски плодов томатов. С самым высоким содержанием титруемой кислотности отмечен гибрид Хн 5003 F1 (0,71 %), а низким – сорт Золото Кубани (0,38 %). Установлено, что плоды с красной окраской содержат от 0,60 до 0,63 % титруемых кислот, плоды с розовой окраской – от 0,49 до 0,52 %, плоды с желтой и коричневой окраской – от 0,38 до 0,40 % и от 0,69 до 0,71 %, соответственно.

Схожие результаты отмечены и в других исследованиях [8, 12, 14, 15, 20], где содержание титруемой кислотности варьирует в пределах от 0,3 до 0,9 %.

Вкусовые характеристики плодов томатов обусловлены таким показателем качества, как сахаро-кислотный индекс, который определяется отношением общих сахаров к титруемой кислотности. Чем выше данный показатель, тем более привлекательными вкусовыми качествами обладают плоды [13, 16, 21].

Сахаро-кислотный индекс разнится во всех исследуемых образцах томатов (у красных плодов томата – от 5,7 до 6,5, розовых – от 8,6 до 9,2, желтых – от 10,0 до 11,0, коричневых – 6,8).

Содержание витамина С. Пищевая ценность томатов обусловлена содержанием в их составе витаминов, прежде всего, витамина С, который обладает антиоксидантными свойствами, укрепляет иммунитет, помогает предотвратить анемию, участвует в выработке серотонина.

Содержание витамина С в исследуемых образцах было на высоком уровне, что свидетельствует о высокой пищевой ценности томатов. Содержание витамина С в плодах томата варьировало в следующих пределах: у красных сортов – от 20,0 до 21,5 мг/100 г, у розовых – от 25 до 26 мг/100 г, у желтых – от 21,5 до 24,0 мг/100 г и у коричневых – от 25 до 26 мг/100 г.

Во многих работах [8, 13, 14, 22, 23] также отмечено, что содержание витамина С значительно различается в зависимости от сортовых особенностей и окраски плодов. Установлено, что в исследуемых образцах содержание витамина С находится в диапазоне от 16,7 до 29,5 мг/100 г. Таким образом, полученные нами результаты согласуются с имеющимися работами.

Содержание каротиноидов. Каротиноиды являются природными пигментами, которые придают томатам разнообразную окраску. В томатах свежих содержится несколько видов каротиноидов, однако, наиболее распространенными являются красный пигмент ликопин и желтый β-каротин. Ликопин обладает мощными антиоксидантными свойствами, снижает риск сердечно-сосудистых заболеваний, некоторых видов рака, лучше усваивается после термической обработки. β-каротин в организме превращается в витамин А, который играет немаловажную роль для зрения, кожи и иммунитета. Лютеин и зеаксантин содержатся довольно в небольших количествах, преимущественно, в желтых томатах.

Установлено, что у изученных образцов томатов содержание как ликопина, так и β-каротина было различным в зависимости от окраски плодов. У образцов томатов красной окраски содержание ликопина отмечено на уровне от 4,5 до 5,5 мг/100 г, у розовых – от 7,2 до 7,3 мг/100 г, у желтых – от 0,4 до 0,5 мг/100 г, при этом у коричневых – от 10,0 до 10,2 мг/100 г. В свою очередь, содержание β-каротина варьировалось в пределах от 0,6 до 0,8 мг/100 г у красных сортов, 1,0 мг/100 г – у розовых сортов, от 2,0 до 2,3 мг/100 г – у желтых сортов и от 0,7 до 1,1 мг/100 г – у коричневых. Наибольшим содержанием ликопина отмечен коричневый гибрид Хн 5003 F1 (10,2 мг/100 г), а наименьшим – желтый сорт Золото Кубани (0,4 мг/100 г). Высоким содержанием β-каротина отличился желтый гибрид Аннасан F1 (2,3 мг/100 г), низким – красный сорт Заволжский (0,6 мг/100 г).

Полученные результаты исследования согласуются с работами [13, 23-26], в которых содержание ликопина составляет от 0,4 до 10,5 мг/100 г, а β-каротина – от 0,48 до 2,53 мг/100 г.

Кластерный анализ. С помощью программного обеспечения STATISTICA был проведен кластерный анализ группировки объектов на основе их сходства или различия по изученным биохимическим показателям томатов различной окраски (в соответствии с таблицей 2. Для визуализации результатов иерархической кластеризации использована дендрограмма, позволяющая проследить последовательность объединения сортов томатов в кластеры на основе евклидова расстояния (рисунок 3). Анализ дендрограммы позволил выделить 3 статистически обоснованные группы на уровне слияния 80 усл. ед., различающиеся по биохимическому составу.

В первый кластер вошли два образца томатов (Заволжский и Аннаиса F1), имеющие красную окраску, которые отличаются меньшим содержанием растворимых сухих веществ (6,0 % и 8,0 %), β-каротина (0,6 мг/100 г и 0,8 мг/100 г), витамина С (20,0 мг/100 г и 21,5 мг/100 г) и сахаров (общих (3,4 % и 4,1 %) и редуцирующих (2,5 % и 3,2 %)).

Второй кластер разделен, в свою очередь, на два подкластера. В первый подкластер вошли образцы томатов с коричневой окраской (Шоколадный Банан, Хн 5003 F1), во второй – с розовой окраской (Супергол Малиновый, Аннароза F1). Данная группа образцов включает томаты с наиболее высоким содержанием растворимых сухих веществ (от 8,0 % до 9,6 %), ликопина (от 7,2 мг/100 г до 10,2 мг/100 г), витамина С (от 25,0 мг/100 г до 26,0 мг/100 г) и сахаров (общих (от 4,2 % до 4,8 %) и редуцирующих (от 3,3 % до 3,9 %)).

Третий кластер включает в себя образцы томатов с желтой окраской (Золото Кубани, Аннасан F1). Представленные образцы отличаются наименьшим содержанием титруемых кислот (0,38 % и 0,40 %) и ликопина (0,4 мг/100 г и 0,5 мг/100 г), а также наиболее высоким содержанием β-каротина (2,0 мг/100 г и 2,3 мг/100 г).

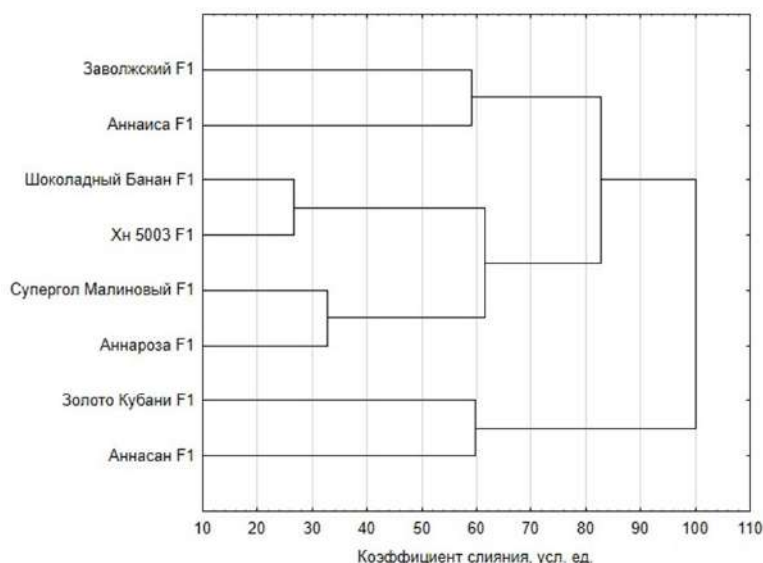


Рисунок 3 – Дендограмма образцов томатов различной окраски по основным биохимическим показателям
Figure 3 – Dendrogram of the tomato samples of different colors based on the main biochemical indicators

Таким образом, томаты из первого кластера (красные) имеют средние данные по содержанию титруемых кислот, ликопина, однако отличаются наименьшим содержанием растворимых сухих веществ, β -каротина, витамина С и сахаров. Второй кластер (томаты с розовой и коричневой окраской) отличаются высоким содержанием титруемой кислотности (особенно, с коричневой окраской), растворимых сухих веществ, ликопина, витамина С, сахаров. По содержанию β -каротина томаты имеют средние показатели. Третий кластер (томаты с желтой окраской) характеризуется самыми низкими значениями титруемой кислотности и ликопина, но при этом содержит самое высокое количество β -каротина, томаты обладают средними показателями по содержанию растворимых сухих веществ, витамина С и сахаров.

Заключение. В результате проведенных исследований выявлено, что томаты различной окраски (красные, розовые, желтые и коричневые) имеют существенные различия в биохимическом составе. Был определен диапазон изменчивости основных биохимических показателей: массовой доли титруемых кислот, растворимых сухих веществ, ликопина, β -каротина, витамина С, а также общих и редуцирующих сахаров. Установлены сильные положительные корреляции между содержанием растворимых сухих веществ и сахаров ($r = 0,98$, при $p < 0,05$), а также между содержанием сахаров и витамина С ($r = 0,93$, при $p < 0,05$). Определено, что образцы томатов с красной окраской плодов (1 кластер) имеют низкое содержание растворимых сухих веществ (до 8,0 %), β -каротина (до 0,8 мг/100 г), витамина С (до 21,5 мг/100 г) и сахаров (до 4,1 % общих и до 3,2 % редуцирующих); образцы томатов с розовой и коричневой окраской (2 кластер) – высокое содержание титруемых кислот (до 0,71 %), растворимых сухих веществ (до 9,6 %), ликопина (до 10,2 мг/100 г), витамина С (до 26,0 мг/100 г), сахаров (до 4,8 % общих и до 3,9 % редуцирующих); а томаты с желтой окраской (3 кластер) отличаются низким содержанием титруемых кислот (до 0,40 %), ликопина (до 0,5 мг/100 г), но высоким содержанием β -каротина (до 2,3 мг/100 г). Проведенные исследования по изученным биохимическим показателям томатов свежих различной окраски позволили определить образцы томатов как с высоким содержанием отдельных биохимических веществ, так и по комплексу показателей, что послужит основой для проведения дальнейших исследований.

Conclusions. As a result of the conducted research, it was revealed that tomatoes of various colors (red, pink, yellow and brown) have significant differences in their biochemical composition. The range of variability of the main biochemical parameters was determined: the mass fraction of titrated acids, solids, lycopene, B-carotene, vitamin C, as well as total and reducing sugars. Strong positive correlations have been established between the content of soluble solids and sugars ($r=0.98$, at $p<0.05$), as well as between the content of sugars and vitamin C ($r=0.93$, at $p<0.05$). It was determined that tomato samples with red fruit color (1 cluster) have a low content of soluble solids (up to 8.0 %), B-carotene (up to 0.8 mg/100 g), vitamin C (up to 21.5 mg/100 g) and sugars (up to 4.1 % total and up to 3.2 % reducing) samples with pink and brown coloring (cluster 2) – high content of titratable acids (up to 0.71 %), soluble solids (up to 9.6 %), lycopene (up to 10.2 mg/100 g), vitamin C (up to

26.0 mg/100 g), sugars (up to 4.8 % of total and up to 3.9 % reducing); Yellow-colored tomatoes (3 clusters) have a low content of titratable acids (up to 0.40 %) and lycopene (up to 0.5 mg/100 g), but a high content of B-carotene (up to 2.3 mg/100 g). The conducted studies on the studied biochemical parameters of fresh tomatoes of various colors allowed us to identify samples of fresh tomatoes with both a high content of individual biochemical substances and a set of indicators, which will serve for further research.

Библиографический список

1. Sharma S., Katoch V., Kumar S., Chatterjee S. Functional relationship of vegetable colors and bioactive compounds: Implications in human health. *The Journal of Nutritional Biochemistry*. 2021. V. 92. Art. 108615.
2. Pathania S., Kaur N. Utilization of fruits and vegetable by-products for isolation of dietary fibers and its potential application as functional ingredients. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fiber*. 2022. V. 27. Art. 100295.
3. Захарова Е. В., Пакушина А. П. Химический состав томатов в торговой сети города Благовещенска. Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: сборник материалов всероссийской научно-практической конференции. Благовещенск, 2021. С. 387-391.
4. Перевалова Д. В., Карпучин М. Ю. Полезные свойства свежих томатов для организма человека. Молодежь и наука – 2022: сборник тезисов конференции. Екатеринбург, 2022. С. 24-26.
5. Collins E. J., Bowyer C., Tsouza A., Chopra M. Tomatoes: An extensive review of the associated health impacts of tomatoes and factors that can affect their cultivation. *Biology*. 2022. Vol. 11. No 2. Art. 239.
6. Никитина Д. А., Карпучин М. Ю. История культуры, ботаническая характеристика, биологические особенности томата. *Аграрное образование и наука*. 2022. № 2. С. 1-10.
7. Курина А. Б., Соловьева А. Е., Храпалова И. А., Артемьева А. М. Биохимический состав плодов томата различной окраски. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021. Т. 25. № 5. С. 514-527.
8. Эшпулатов Ш. Я., Кодиров Ж. Ж. У. Ценные качества томата и выращивание в условиях Ферганы. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*. 2022. Т. 2. № 10. С. 1030-1039.
9. Wu X., Yu L., Pehrsson P. R. Are processed tomato products as nutritious as fresh tomatoes? Scoping review on the effects of industrial processing on nutrients and bioactive compounds in tomatoes. *Advances in Nutrition*. 2022. Vol. 13. No 1. Pp. 138-151.
10. Rusu O. R., Mangalagiu I., Amăriucăi-Mantu D., Teliban G. C., Cojocaru A., Burducea M., Stoleru V. Interaction effects of cultivars and nutrition on quality and yield of tomato. *Horticulturae*. 2023. Vol. 9. No 5. Art. 541.
11. Кигашпаева О. П., Гулин А. В. Перспективные салатные сорта томата для Юга России. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2022. № 2 (66). С. 101-110.
12. Гулин А. В., Мачулкина В. А., Кигашпаева О. П., Джабраилова В. Ю., Костенко А. Н. Сорт, степень зрелости и продолжительность хранения плодов томата в естественных условиях хранилища. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2024. № 6 (78). С. 142-151.
13. Кондратьева И. Ю., Енгальчев М. Р., Молчанова А. В. Скороспелый, с повышенным содержанием ликопина сорт томата Кайрос для зон рискованного земледелия. *Известия ФНЦО*. 2023. Т. 1. С. 32-35.
14. Куц А. В., Кузьменко В. И. Влияние удобрений на урожайность и биохимические показатели плодов томата. *Земледелие и растениеводство*. 2022. № 4. С. 33-36.
15. Palmitessa O. D., Durante M., Caretto S., Milano F., D'Imperio M., Serio F., Santamaria P. Supplementary light differently influences physical and chemical parameters and antioxidant compounds of tomato fruits hybrids. *Antioxidants*. 2021. Vol. 10. No 5. Art. 687.
16. Узун И. В. Оценка биохимического состава томатов вишневидного типа с разной окраской плода. Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки: сборник материалов VIII международной научно-практической конференции. Симферополь, 2023. С. 75-75.
17. Долгополова Н. В. К вопросу о качестве томата (*Solanum Lycopersicum*) для открытого и защищенного грунта. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2022. № 4. С. 47-53.
18. Raza B., Hameed A., Saleem M. Y. Fruit nutritional composition, antioxidant and biochemical profiling of diverse tomato (*Solanum lycopersicum* L.) genetic resource. *Frontiers in plant science*. 2022. Vol. 13. Art. 1035163.
19. Kumar S. Physical and chemical and physiological properties of 'Shivam' variety tomato at different Maturity stages. *IJCS*. 2021. Vol. 9. No 1. Pp. 2117-2122.
20. Felföldi Z., Ranga F., Socaci S. A., Farcas A., Plazas M., Sestras A. F., Sestras R. E. Physical and chemical, nutritional, and sensory evaluation of two new commercial tomato hybrids and their parental lines. *Plants*. 2021. Vol. 10. No 11. Art. 2480.
21. Al-Dairi M., Pathare P. B., Al-Yahyai R. Chemical and nutritional quality changes of tomato during postharvest transportation and storage. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 2021. Vol. 20. No 6. Pp. 401-408.
22. Брюхина С. А., Медеяева А. Ю., Трунов Ю. В. Биохимическая оценка гибридов томата в защищенном грунте в условиях тамбовской области. *Наука и Образование*. 2024. Т. 7. № 3. С. 1-14.
23. Joung M., Kim Y. J., Shin Y. Assessment of lycopene, polyphenols, antioxidant compounds, and activities in colored cherry tomato cultivars harvested in Korea. *Food Science and Biotechnology*. 2025. Vol. 34. No 5. Pp. 1161-1170.
24. Велямов М. Т., Курасова Л. А., Велямов Ш. М., Сарсенова А. Ж., Тагаева А. Б. Изучение районированных сортов томата с целью получения биологически активной добавки – ликопинсодержащего сухого порошка. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*. 2022. Т. 10. № 1. С. 23-29.
25. Папулов Д. А. Химическая анатомия томатов. Конкурентоспособность территорий: сборник материалов XXV Всероссийского экономического форума молодых ученых и студентов. Екатеринбург, 2022. С. 179-181.

26. Ших Е. В., Елизарова Е. В., Махова А. А., Брагина Т. В. Роль томатов и продуктов из них в здоровом питании человека. Вопросы питания. 2021. Т. 90. № 4 (536). С. 129-137.

References

1. Sharma S., Katoch V., Kumar S., Chatterjee S. Functional relationship of vegetable colors and bioactive compounds: Implications in human health. The Journal of Nutritional Biochemistry. 2021. V. 92. Art. 108615.
2. Pathania S., Kaur N. Utilization of fruits and vegetable by-products for isolation of dietary fibers and its potential application as functional ingredients. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fiber. 2022. V. 27. Art. 100295.
3. Zakharova E. V., Pakusina A. P. Chemical composition of tomatoes in the retail network of the city of Blagoveshchensk. Agro-industrial complex: problems and prospects of development: collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference. Blagoveshchensk, 2021. Pp. 387-391.
4. Perevalova D. V., Karpukhin M. Yu. Useful properties of fresh tomatoes for the human body: Scientific editor: collection of abstracts prepared within the framework of the All-Russian Scientific and Practical Conference "Youth and Science – 2022". Yekaterinburg, 2022. Pp. 24-26.
5. Collins E. J., Bowyer C., Tsouza A., Chopra M. Tomatoes: an extensive re-view of the associated health impacts of tomatoes and factors that can affect their cultivation. Biology. 2022. Vol. 11. No 2. Art. 239.
6. Nikitina D. A., Karpukhin M. Y. Cultural history, botanical characteristics, biological features of tomatoes. Agricultural education and science. 2022. No 2. Pp. 1-10.
7. Kurina A. B., Solovyova A. E., Khrapalova I. A., Artemyeva A. M. Biochemical composition of tomato fruits of various colors. Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2021. Vol. 25. No 5. Pp. 514-527.
8. Eshpulatov Sh. Ya., Kodirov Zh. Zh. U. Valuable tomato qualities and cultivation in the conditions of Fergana. Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. 2022. Vol. 2. No 10. Pp. 1030-1039.
9. Wu X., Yu L., Pehrsson P. R. Are processed tomato products as nutritious as fresh tomatoes? Scoping review on the effects of industrial processing on nutrients and bioactive compounds in tomatoes. Advances in Nutrition. 2022. Vol. 13. No 1. Pp. 138-151.
10. Rusu O. R., Mangalagiu I., Amăriucăi-Mantu D., Teliban G. C., Cojocaru A., Burducea M., Stoleru V. Interaction effects of cultivars and nutrition on quality and yield of tomato. Horticulturae. 2023. Vol. 9. No 5. Pp. 541.
11. Kigashpaeva O. P., Gulina A. V. Promising tomato salad varieties for the South of Russia. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2022. No 2 (66). Pp. 101-110.
12. Gulina A. V., Machulkin V. A., Kigashpaeva O. P., Dzhabrailova V. Yu., Kostenko A. N. Variety, degree of maturity and duration of storage of tomato fruits in natural storage conditions. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: science and higher professional education. 2024. No 6 (78). Pp. 142-151.
13. Kondratieva I. Yu., Engalychev M. R., Molchanova A. V. A precocious, high-lycopene tomato variety Kairos for risky farming zones. From the FNCO news. 2023. Vol. 1. Pp. 32-35.
14. Kutz A. V., Kuzmenko V. I. The effect of fertilizers on the yield and biochemical parameters of tomato fruits. Agriculture and crop production. 2022. No 4. Pp. 33-36.
15. Palmitessa O. D., Durante M., Caretto S., Milano F., D'Imperio M., Serio F., Santamaria P. Supplementary light differently influences physical and chemical parameters and antioxidant compounds of tomato fruits hybrids. Antioxidants. 2021. Vol. 10. No 5. Art. 687.
16. Uzun I. V. Assessment of the biochemical composition of cherry tomatoes with different fruit colors: Current state, problems and prospects for the development of agricultural science: proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference. Simferopol, 2023. Pp. 75-75.
17. Dolgoplova N. V. On the quality of tomato (*Solanum Lycopersicum*) for open and protected soil. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2022. No 4. Pp. 47-53.
18. Raza B., Hameed A., Saleem M. Y. Fruit nutritional composition, antioxidant and biochemical profiling of diverse tomato (*Solanum lycopersicum* L.) genetic resource. Frontiers in plant science. 2022. Vol. 13. Art. 1035163.
19. Kumar S. Physical and chemical and physiological properties of 'Shivam' variety tomato at different Maturity stages. IJCS. 2021. Vol. 9. No 1. Pp. 2117-2122.
20. Felföldi Z., Ranga F., Socaci S.A., Farcas A., Plazas M., Sestras A.F., Sestras R.E. Physical and chemical, nutritional, and sensory evaluation of two new commercial tomato hybrids and their parental lines. Plants. 2021. Vol. 10. No 11. Art. 2480.
21. Al-Dairi M., Pathare P. B., Al-Yahyai R. Chemical and nutritional quality changes of tomato during postharvest transportation and storage. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 2021. Vol. 20. No 6. Pp. 401-408.
22. Bryukhina S. A., Medelyaeva A. Yu., Trunov Yu. V. Biochemical assessment of tomato hybrids in protected soil in the conditions of the Tambov region. Science and Education. 2024. Vol. 7. No 3. Pp. 1-14.
23. Joung M., Kim Y. J., Shin Y. Assessment of lycopene, polyphenols, antioxidant compounds, and activities in colored cherry tomato cultivars harvested in Korea. Food Science and Biotechnology. 2025. Vol. 34. No 5. Pp. 1161-1170.
24. Velyamov M. T., Kurasova L. A., Velyamov Sh. M., Sarsenova A. Zh., Tagaeva A. B. Study of zoned tomato varieties in order to obtain a biologically active additive - lycopene-containing dry powder. Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology. 2022. Vol. 10. No 1. Pp. 23-29.
25. Papulov D. A. Chemical anatomy of tomatoes: Competitiveness of territories: collection of materials of the XXV All-Russian Economic Forum of Young Scientists and Students. Yekaterinburg, 2022. Pp. 179-181.
26. Shikh E. V., Elizarova E. V., Makhova A. A., Bragina T. V. The role of tomatoes and products from them in healthy human nutrition. Nutrition issues. 2021. Vol. 90. No 4 (536). Pp. 129-137.

Информация об авторах

Чернявская Юлия Николаевна, аспирант, младший научный сотрудник, КНИИХП – филиала ФГБНУ СКФНЦСВВ (Российская Федерация, 350072, г. Краснодар, ул. Тополиная аллея, 2), e-mail: yulya19992011@mail.ru

Author's Information

Chernyavskaya Yulia Nikolaevna, post-graduate student, Junior Researcher, Krasnodar Scientific Research Institute for Storage and Processing of Agricultural Products - the branch of the North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture and Winemaking (Russian Federation, 350072, Krasnodar, Topolinaya Alley Str., 2), e-mail: yulya19992011@mail.ru

**THE IMPROVING OF THE BLUE MUSTARD CULTIVATING TECHNOLOGY ELEMENTS ON
THE VOLGOGRAD REGION LIGHT BROWN SOILS****Tkachenko Z. A., Misyuryaev V. Yu.***Volgograd State Agricultural University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: tkacenkozahar98@gmail.com, att-lab@mail.ru

Received 10.03.2026

Submitted 31.03.2026

Abstract

Introduction. This article describes the results of research to improve cultivation technology for blue mustard (*Brassica juncea* L.) in the Volgograd Region on light chestnut soils. The study examined the impact of sowing time, seed quantity, fertilizer application methods, and growth regulators on yield and seed quality. The impact of various agricultural practices on crop growth and development in the region's arid climate was analyzed. The findings will help develop recommendations for growing blue mustard to improve economic returns and production stability. **Object.** The object of the study is light chestnut soils of the Volgograd Region. **Materials and Methods.** The research was conducted from 2022 to 2025 at the experimental field of the Volgograd State Agrarian University on light chestnut soils characterized by low humus content, good aeration, and moderate moisture capacity. The following were used: the blue mustard variety "Volzhskaya 38", mineral fertilizers (ammonium nitrate (N), superphosphate (P_2O_5), potassium chloride (K_2O), and the growth regulator "Epin-Extra". **Results and conclusions.** The analysis results indicate that sowing time is crucial for the yield of blue mustard. Early spring sowing (early April) in the Volgograd region on light chestnut soils promotes better root development and allows plants to utilize more spring moisture. Sowing at the appropriate time (mid-April) allows plants to develop normally and produce a good harvest. Late sowing (late April – early May) results in a smaller harvest due to a lack of moisture when the plants need it most and due to a higher weed burden.

Keywords: blue mustard, mustard cultivation technologies, mustard cultivation soil conditions, mustard yield, and mustard seed quality.

Citation. Tkachenko Z. A., Misyuryayev V. Yu. The improving of the blue mustard cultivating technology elements on the Volgograd region light brown soils. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 318-323 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-35.

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.

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

УДК 633.853.483: 631.5: 631.445.51

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СИЗОЙ
ГОРЧИЦЫ НА СВЕТЛО-КАШТАНОВЫХ ПОЧВАХ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ****Ткаченко З. А., аспирант****Мисюряев В. Ю., доктор сельскохозяйственных наук, доцент***ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация*

Актуальность. В статье описаны результаты исследований по улучшению технологии выращивания горчицы сизой (*Brassica juncea* L.) в Волгоградской области на светло-каштановых почвах. Изучалось, как сроки посева, норма высева семян, способы внесения удобрений и регуляторы роста влияют на урожайность и качество семян. Анализировалось воздействие различных агротехнических методов на рост и развитие культуры в засушливом климате региона. Полученные сведения помогут разработать рекомендации по выращиванию горчицы сизой, чтобы повысить экономическую отдачу и стабильность производства. **Объект и предмет.** Объектом исследования является агротехнология возделывания сизой горчицы, предметом – влияние элементов технологии на продуктивность культуры в условиях светло-каштановых почв. **Материалы и методы.** Исследования проводились в 2022-2025 гг. на опытном поле ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» на светло-каштановых почвах, характеризующихся низким содержанием гумуса, хорошей аэрацией и умеренной влагоемкостью. В исследовании применялись: сорт сизой горчицы «Волжская 38», минеральные удобрения: аммиачная селитра (N), суперфосфат (P_2O_5), калий хлористый (K_2O), регулятор роста: «Эпин-Экстра». **Результаты и выводы.** Результаты анализа говорят о том, что время посева очень важно для урожая сизой горчицы. Если посеять рано весной (в начале апреля) в Волгоградской области на светло-каштановых почвах, то корни будут лучше развиваться и

растения смогут использовать больше весенней влаги. Посев в подходящее время (в середине апреля) даёт растениям возможность нормально развиваться и давать хороший урожай. Поздний посев (в конце апреля – начале мая) приводит к снижению урожайности из-за нехватки влаги, когда это особенно нужно растениям, и из-за большого количества сорняков.

Ключевые слова: горчица сизая, технологии возделывания горчицы, почвенные условия возделывания горчицы, урожайность горчицы, качество семян горчицы.

Цитирование. Ткаченко З. А., Мисюржев В. Ю. Совершенствование элементов технологии возделывания сизой горчицы на светло-каштановых почвах Волгоградской области. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 318-323. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-35.

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. Сизая горчица (*Brassica juncea* L.) – полезная масличная культура, используемая в пищевой, фармацевтической и технической отраслях. В её семенах много масла, белка, витаминов и минералов. В Волгоградской области, где засушливый климат и светло-каштановые почвы, важно улучшить способы выращивания сизой горчицы, чтобы получать стабильный урожай и больше прибыли. Сейчас методы земледелия не всегда учитывают особенности климата и почвы, из-за чего урожайность падает, а качество снижается.

По мнению Н. С. Сидорова (2019) «...горчица является главнейшей масленичной культурой и во многих регионах Российской Федерации она занимает ведущие площади. Ее высокая урожайность не сравнится с другими культурами. Основные площади сосредоточения: Центрально-Черноземная зона и Поволжье» [1].

«...на современном этапе, состояние мирового масленичного 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 горчицей и географическая несбалансированность между спросом и предложением являются факторами, стимулирующими развитие мировой торговли. На протяжении последних 30 лет торговля горчицей в мировом масштабе увеличилась вдвое, однако за последние десятилетия среднегодовые темпы её прироста замедлились» [1, 2].

Результатами исследований Р. Г. Туктаровой (2019) и других показано, что «...основополагающей проблемой сельскохозяйственного производства Российской Федерации по-прежнему остается производство и наращивание объемов горчицы. Горчица является основным источником получения масляной продукции для человека, то есть обеспечение потребности населения страны [2].

В мировом производстве по объемам посевных площадей они занимают порядка 35 %. Вследствие многочисленных видов, форм и сортов горчицы возделывание её возможно в различных почвенных и климатических условиях». Несмотря на имеющийся богатый экспериментальный и практический материал, средняя урожайность горчицы по стране остается на сравнительно невысоком уровне, в том числе и по Волгоградской области, где урожайность нестабильна. Поэтому вопросы, связанные с повышением ее урожайности требуют постоянного внимания, дальнейшего уточнения и изучения [3].

На современном этапе более широкое распространение получают передовые методы возделывания горчицы, включающие в себя элементы ресурсосбережения, внедрения современных более урожайных сортов и отработка новых элементов в технологии возделывания. По мнению В. И. Лазарева (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. В этой связи светло-каштановые почвы – прекрасное подспорье в получении высокого урожая» [4].

Оптимизация элементов минерального питания является ключевым фактором повышения урожайности и качества горчицы. Научно-обоснованная система внесения удобрений позволяет учитывать содержание элементов питания в почве и адаптировать дозы и соотношения питательных веществ к конкретным условиям возделывания.

Цель. Данная работа направлена на то, чтобы улучшить основные этапы выращивания сизой горчицы на светло-каштановых почвах Волгоградской области, чтобы увеличить урожайность и качество семян. Для этого мы поставили такие задачи:

- Выяснить, как сроки посева влияют на рост, развитие и урожайность сизой горчицы.
- Найти подходящие нормы высева для получения самого большого урожая.
- Изучить, как разные способы внесения удобрений влияют на урожай.
- Оценить, помогают ли регуляторы роста увеличить урожайность.

• Предложить научно обоснованные советы по выращиванию сизой горчицы на светло-каштановых почвах Волгоградской области.

Материалы и методы. Опыты осуществляли в полевых условиях, одновременно учитывали все нужные для этого правила:

1. Посев проводили в три срока: в начале, середине и конце апреля – начале мая.
2. Использовали нормы высева – от 4 до 6 млн. всхожих семян на 1 га.
3. Удобрения вносили по-разному:

- До посева.
- Во время посева.
- Часть до посева, часть – когда формируются бутоны.
- Без удобрений (контроль).

Количество удобрений ($N_{60}P_{60}K_{60}$) определили, исходя из анализа почвы и советов для этой культуры.

4. Регулятором роста «Эпин-Экстра» обрабатывали посева, когда у растений было 3-4 настоящих листа. Использовали раствор 0,05 %, как указано в инструкции.

Во время работы учитывали и следили за:

• Сроками развития растений (всходы, ветвление, бутонизация, цветение, созревание).

- Количеством растений на участке.
- Размером растений, числом ветвей и стручков на растении.
- Количеством семян, собранных с участка.
- Качеством семян (сколько масла и белка, влажность, сор и масла в семенах).
- Составом почвы до и после опытов (гумус, фосфор, калий, кислотность).
- В опыте использовали три варианта повторности.
- Размер учётной делянки составлял: ширина – 6 м, длина – 40 м.
- Метод рандомизации – определяли по жребию [5].

В 2022 году наблюдались различные гидротермические условия, которые влияли на развитие растений и формирование урожая сельскохозяйственных культур. Особенность вегетационного периода – нестабильность водно-температурного режима: засушливые периоды с высокими температурами воздуха сменялись влажными и прохладными. Средняя температура воздуха за три летних месяца – 22,2 °С, что было на 0,8 °С выше средней многолетней нормы. В критически важные для формирования продуктивности периоды (бутонизация, цветение и плодообразование) количество выпавших осадков было ниже оптимального значения. В некоторых регионах отмечался дефицит влаги, что приводило к засухе почвы и гибели растений. За вегетационный период «всходы – полная спелость» гидротермический коэффициент (ГТК) в 2022 году составил 0,60-0,66 [6]. Этот показатель свидетельствует о том, что за изученный период вегетации степень увлажнения варьировала от среднезасушливой до недостаточно влажной. Гидротермические условия 2023 года характеризовались высокой влагообеспеченностью и умеренным температурным режимом для роста и развития сизой горчицы. Это было связано с тем, что в 2023 году гидротермический коэффициент (ГТК) составил 0,84. 2024 год стал самым тёплым годом в истории многолетних данных о глобальной температуре с 1850 года. Средняя глобальная температура составила 15,10 °С, что на 0,12 °С выше предыдущего самого высокого годового значения 2023 года. Дефицит атмосферной влаги наблюдался в апреле и мае в Среднем и Нижнем Поволжье. В 2025 году в Поволжье и на юге страны отмечались периоды экстремально высоких температур. Это сопровождалось дефицитом осадков, что влияло на сельское хозяйство. В целом по России за год количество выпавших осадков составило 109 % нормы. Запасы продуктивной влаги к началу сева яровых культур в пахотном слое почвы были хорошие, в метровом слое – удовлетворительные и хорошие, что способствовало проведению сева в оптимальные сроки [7, 8].

Результаты и обсуждение. Наши исследования показали, что время посева сильно влияет на урожай сизой горчицы. Если сеять рано весной (в начале апреля) в Волгоградской области, где светло-каштановые почвы, корни растений лучше развиваются и они успевают использовать больше весенней влаги.

Растения, посеянные в подходящее время (в середине апреля), показывают нормальный рост и дают хороший урожай. Если посеять поздно (в конце апреля или начале мая), урожайность падает, потому что растениям не хватает влаги, когда она им больше всего нужна, да и сорняков становится больше [9, 10]. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние сроков посева на продуктивность сизой горчицы

Table 1 – The effect of sowing time on the productivity of blue mustard

Срок посева / The sowing period	Урожайность семян, ц/га / Seed yield, c/ha	Масличность, % / Oil content, %
Ранневесенний / Early spring	18,5	42,1
Оптимальный / Optimal	21,2	43,5
Поздний / Late	15,8	40,9
НСР	18,5	42,2

Чтобы получить хороший урожай, важно правильно рассчитать, сколько растений должно быть на поле. Опыты показывают, что если посеять слишком много, растения начнут бороться друг с другом за свет, воду и питание. Из-за этого каждое растение даст меньше семян, и общий урожай снизится. Самый большой урожай получается, если сеять 6 миллионов семян на гектар. В таблице 2 представлены только значимые варианты.

Таблица 2 – Влияние норм высева на урожайность сизой горчицы

Table 2 – The influence of seeding rates on the yield of blue mustard

Норма высева, млн всх. семян/га / The seeding rate, million bcc. seeds/ ha	Урожайность семян, ц/га / Seed yield, c/ha	Густота стояния, тыс. растений/га / Plant density, thousand plants/ha
4	17,9	3200
5	20,5	4100
6	22,1	5000
НСР	20,2	4100

Чтобы получить хороший объем урожая сизой горчицы важно использовать минеральные удобрения. Лучше всего вносить их в два этапа: основную часть перед посевом и подкормку, когда появляются бутоны. Так растения получают питание равномерно. Внесение удобрений при посеве не менее эффективно, но отдельный способ показывает более высокий результат [11, 12]. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Влияние способов внесения минеральных удобрений

Table 3 – Effect of methods of application of mineral fertilizers

Способ внесения удобрений / The method of applying fertilizers	Урожайность семян, ц/га / Seed yield, c/ha	Содержание белка в семенах, % / Protein content in seeds, %
Контроль (без удобрений) / Control (without fertilizers)	14,5	18,2
Основное внесение / Basic application	19,8	19,5
Припосевное внесение / Application during sowing	20,3	19,9
Раздельное внесение / Separate application	23,5	21,1
НСР	19,5	19,7

Использование регулятора роста «Эпин-Экстра» хорошо повлияло на рост и развитие растений горчицы сизой. Он сделал их крепче к неблагоприятным условиям и помог дать больше урожая. Опрыскивание посевов, когда у растений было 3-4 настоящих листа, привело к увеличению количества стручков на каждом растении и веса 1000 семян. В итоге урожайность повысилась. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Влияние регуляторов роста на продуктивность культуры
Table 4 – Effect of growth regulators on crop productivity

Вариант обработки / Treatment option	Урожайность семян, ц/га / Seed yield, c/ha	Масса 1000 семян, г / Weight of 1000 seeds, g
Контроль (без обработки) / Control (without treatment)	21,2	3,8
«Эпин-Экстра» / Epin-Extra	23,9	4,1
НСР	22,5	3,9

Результаты показывают, что соблюдение агротехнических требований важно для увеличения урожая сизой горчицы на светло-каштановых почвах Волгоградской области. Лучшее время для посева – середина апреля. Это позволяет растениям использовать весеннюю влагу и тепло, избегая жары и засухи позже. Если посеять раньше, возможны заморозки, а если позже – засуха повредит семенам. Посев 6 миллионов семян на гектар – это оптимально. Так растения не конкурируют друг с другом за ресурсы и каждое может дать больше плодов. Если семян больше, растениям будет тесно, света будет меньше, и урожай упадет.

Внесение удобрений ($N_{60}P_{60}K_{60}$) в несколько этапов – хорошее решение. Это обеспечивает растения питанием весь период роста, особенно когда это важно. Фосфор и калий, внесенные в начале, помогают корням расти и делают растения устойчивыми к засухе. Азотная подкормка во время бутонизации помогает формированию стручков и наливу семян [13, 14]. Использование регулятора роста «Эпин-Экстра» помогает растениям приспособиться, быть устойчивыми к засухе и перепадам температур, а также ускоряет рост. В итоге это увеличивает урожай и улучшает качество семян.

Заключение. Совершенствование методов выращивания сизой горчицы на светло-каштановых почвах в Волгоградской области – важный шаг для развития производства масличных культур в регионе. Использование проверенных агротехнических приемов, таких как выбор оптимального времени и количества посева, правильное использование минеральных удобрений и стимуляторов роста, может заметно увеличить урожай и улучшить качество семян. Это повысит прибыльность производства и сделает агроэкосистемы более устойчивыми. В будущем можно изучить, как новые сорта, системы полива и биологические средства защиты влияют на урожайность сизой горчицы в меняющихся климатических условиях.

На основе проведенных исследований можно сделать такие заключения:

1. Лучше всего сеять сизую горчицу на светло-каштановых почвах в Волгоградской области в середине апреля. Это создает наилучшие условия для роста, развития и получения максимального урожая.

2. Самая подходящая норма высева для высокого урожая семян – 6 миллионов всхожих семян на гектар.

3. Внесение минеральных удобрений ($N_{60}P_{60}K_{60}$) в два этапа – основное внесение перед посевом и подкормка во время бутонизации – дает максимальный прирост урожая и повышает качество семян сизой горчицы.

4. Использование стимулятора роста «Эпин-Экстра», когда у растения 3-4 настоящих листа, помогает повысить урожайность и устойчивость к неблагоприятным условиям.

Conclusion. Improving blue mustard cultivation methods on light chestnut soils in the Volgograd Region is an important step in developing oilseed production in the region. Using proven agricultural practices, such as optimal sowing time and quantity, proper application of mineral fertilizers and growth promoters, can significantly increase yields and improve seed quality. This will increase production profitability and make agroecosystems more resilient. Future studies can explore how new varieties, irrigation systems, and biological control methods affect blue mustard yields under changing climatic conditions.

Based on the research conducted, the following conclusions can be drawn:

1. Mid-April is the best time to sow blue mustard on light chestnut soils in the Volgograd Region. This creates the best conditions for growth, development, and maximum yield.

2. The most suitable seeding rate for a high seed yield is 6 million viable seeds per hectare.

3. Applying mineral fertilizers ($N_{60}P_{60}K_{60}$) in two stages – a primary application before sowing and a top dressing during budding – maximizes yield and improves the quality of blue mustard seeds.

4. Using the growth stimulator "Epin-Extra" when the plant has 3-4 true leaves helps increase yield and resistance to adverse conditions.

Библиографический список

1. Сидоров Н. С., Иванов П. А. Оптимизация норм высева масличных культур. Земледелие. 2019. № 5. С. 32-35.
2. Туктарова Р. Г. Влияние современных тенденций изменения климата на урожайность озимых зерновых культур. Пермский аграрный вестник. 2019. № 1 (25).
3. Зыкин В. А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ: методические рекомендации. Новосибирск, 2019. 24 с.
4. Лазарев В. И., Смирнов А. В. Влияние сроков посева на продуктивность горчицы. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2023. № 4. С. 45-49.
5. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 2019. 351 с.
6. Сухарева Е. П. Оценка эффективности горчицы в условиях сухостепной зоны светло-каштановых почв Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1 (62).
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. Черников В. Г., Ростовцев Р. А., Кудрявцев Н. А., Ушаповский И. В., Попов Р. А. Влияние факторов окружающей среды на урожай и качество горчицы. Вестник аграрной науки. 2020. № 5 (86). С. 3-10.
9. Макаренко А. А., Коковихин С. В., Бойко Е. С. Моделирование и оптимизация режима орошения полевых культур на уровне севооборотов и полей с учетом метеорологических факторов. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2023. № 191. С. 238-253.
10. Драгавцев В. А. и др. Методы оценки экологической пластичности и стабильности сельскохозяйственных растений. СПб., 2021.
11. Иванов А. Л., Петров В. Н. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество семян масличных культур. Аграрный вестник Юго-Востока. 2019. № 3 (54). С. 25-30.
12. Журавлев Д. Ю., Ярошенко Т. М., Климова Н. Ф. Роль минеральных удобрений в повышении продуктивности горчицы при изменяющихся климатических условиях степного Поволжья. Аграрный научный журнал. 2022. № 10. С. 39-45.
13. Щербakov А. С., Богомазов С. В. Эффективность применения микроэлементных удобрений и регуляторов роста на горчице на светло-каштановых почвах. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 2 (70).
14. Мерзлая Г. Е., Федулова А. Д., Гаврилова А. Ю. Влияние длительного применения систем удобрения разной интенсивности на урожайность и качество горчицы. Агрохимия. 2022. № 8.

References

1. Sidorov N. S., Ivanov P. A. Optimization of seeding rates for oilseeds. Agriculture. 2019. No. 5. Pp. 32-35.
2. Tuktarova R. G. The impact of modern trends in climate change on the yield of winter grain crops. Perm Agrarian Bulletin. 2019. No. 1 (25).
3. Zykin V. A. Parameters of ecological plasticity of agricultural plants, their calculation and analysis: method recommendations. Novosibirsk, 2019. 24 p.
4. Lazarev V. I., Smirnov A. V. Effect of sowing timing on mustard productivity. Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2023. No. 4. Pp. 45-49.
5. Dospekhov B. A. Field Experiment Methodology (with Basics of Statistical Processing of Research Results). Moscow: Agropromizdat, 2019. 351 p.
6. Sukhareva E. P. Evaluation of Mustard Efficiency in the Dry-Steppe Zone of Light-Chestnut Soils of the Volgograd Region. Bulletin of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2021. No. 1 (62).
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. 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 Mustard. Herald of Agrarian Science. 2020. No. 5 (86). Pp. 3-10.
9. Makarenko A. A., Kokovikhin S. V., Boyko E. S. Modeling and Optimization of the Irrigation Regime of Field Crops at the Crop Rotation and Field Level Taking into Account Meteorological Factors. Polythematic Online Electronic Scientific Journal of Kuban State Agrarian University. 2023. No. 191. Pp. 238-253.
10. Dragavtsev V. A. et al. Methods for Assessing the Ecological Plasticity and Stability of Agricultural Plants. St. Petersburg, 2021.
11. Ivanov A. L., Petrov V. N. Influence of Mineral Fertilizers on the Yield and Quality of Oilseeds. Agrarian Bulletin of the South-East. 2019. No. 3 (54). Pp. 25-30.
12. Zhuravlev D. Yu., Yaroshenko T. M., Klimova N. F. The role of mineral fertilizers in increasing mustard productivity under changing climatic conditions of the Volga steppe region. Agrarian scientific journal. 2022. No. 10. Pp. 39-45.
13. Shcherbakov A. S., Bogomazov S. V. Efficiency of using microelement fertilizers and growth regulators on mustard on light chestnut soils. Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2025. No. 2 (70).
14. Merzlaya G. E., Fedulova A. D., Gavrilova A. Yu. The effect of long-term use of fertilization systems of different intensity on the yield and quality of mustard. Agricultural chemistry. 2022. No. 8.

Информация об авторах

Ткаченко Захар Алексеевич, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26), e-mail: tkachenkozahar98@gmail.com

Мисюряев Виктор Юрьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26), e-mail: att-lab@mail.ru

Authors' Information

Tkachenko Zakhar Alekseevich, Postgraduate Student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: tkachenkozahar98@gmail.com

Misyuryaev Viktor Yurievich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: att-lab@mail.ru

**THE PROBLEMS OF THE DEGRADED INDUSTRIAL LAND USED FOR WASTE DISPOSAL
AND THEIR SOLUTIONS**¹Maslova E. M., ¹Skorik N. A., ¹Bykhanova A. V., ¹Timofeeva S. A.,
²Solonkin A. V., ²Solomentseva A. S¹Joint-Stock Company «Volzhsky Pipe Plant» (JSC «VPP»)
Volzhsky, Russian Federation²Federal Scientific Centre for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian
Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: solomencevaa@vfpnc.ru

Received 17.07.2025

Submitted 08.02.2026

The work was carried out on the topic of the State assignment FNFE – 2025 – 0009 "Creation of new genotypes, varieties, forms of woody, shrubby, cultivated plants with high-value signs of productivity, quality, resistance to bio- and abio stressors using classical and modern breeding methods, new innovative technologies in nursery and seed production, to solve problems of preventing degradation and desertification of agricultural landscapes in a changing climate".

Summary

An increase in the volume of production and consumption waste sent to burial leads to the degradation of land resources. This process has a negative impact on soil fertility and its ability to heal itself. Land degradation in turn, exacerbates environmental problems such as a loss of biodiversity, soil erosion, and reduced quality of natural resources. Due to the climatic features of the region, the Volgograd region is characterized by aridity, which, in the future, may lead to aridization of individual areas. The problem of degraded lands is becoming increasingly relevant in the context of sustainable development and combating climate change. Conservation and restoration of lands occupied by waste disposal facilities is an important step to reduce the negative impact on the environment and ensure environmental safety.

Abstract

Introduction. Land degradation currently represents one of the most important socio-economic problems, which poses a threat to the environmental, economic and overall national security of the Russian Federation. Water and wind erosion, flooding, local waterlogging, salinization, over-compaction, dehumification, cluttering with production and consumption waste, pollution with radionuclides and heavy metals as a result of extensive management and technological genesis cause enormous damage to the productive potential of the land fund of the Russian Federation. **Object.** The object of the research was the landfill of waste produced in the Volgograd region (Joint-Stock Company «Volzhsky Pipe Plant» (JSC «VPP»), Volzhsky, Russia). **Materials and methods.** The research was carried out at the pilot site by means of a reconnaissance survey: an aerial visual method using a UAV, and a ground route. The field research was based on botanical, ecological, soil, and geomorphological observations. Soil sampling was carried out in accordance with GOST 17.4.3.01-2017. **Results and conclusion.** The climate project for the creation of a carbon farm is an innovative strategy for the transformation of land use in the Landfill of production and consumption waste of JSC «VPP». The project proposes the restoration of tree stands and the formation of a landscape of biological corridors using tree species such as willow, poplar, gladychia, walnut, acacia yellow, mulberry and maple. These measures are aimed at restoring disturbed lands and creating sustainable ecosystems that enhance biodiversity. It is expected that the implementation of this project will have a positive impact on the conservation of biodiversity both within the project area and in its surroundings, and the dynamics of biodiversity will depend on factors such as the age of the stand, carbon farm management methods and the sustainability of the ecosystems being created, which will increase the efficiency of atmospheric carbon sequestration, especially in the arid climate of the dry steppe zones.

Keywords: industrial waste, waste disposal sites, environmental protection, waste disposal facilities, disturbed land, restoration of disturbed land.

Citation. Maslova E. M., Skorik N. A., Bykhanova A. V., Timofeeva S. A., Solonkin A. V., Solomentseva A. S. The problems of the degraded industrial land used for waste disposal and their solutions. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 324-338 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-36.

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 632.125:631.6.02:628.47

**ПРОБЛЕМЫ ДЕГРАДИРОВАННЫХ ЗЕМЕЛЬ ПРОМЫШЛЕННОСТИ,
ЗАНЯТЫХ ОБЪЕКТАМИ РАЗМЕЩЕНИЯ ОТХОДОВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**¹Маслова Е. М., главный эколог, начальник Управления производственной экологии¹Скорик Н. А., начальник Службы экологического контроля
управления производственной экологии¹Быханова А. В., инженер по охране окружающей среды 1 категории¹Тимофеева С. А., руководитель группы управления производственной экологии²Солонкин А. В., доктор сельскохозяйственных наук²Соломенцева А. С., кандидат сельскохозяйственных наук¹АО «Волжский трубный завод» (АО «ВТЗ»)

г. Волжский, Волгоградская область, Российская Федерация

²ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения РАН»
г. Волгоград, Российская Федерация

Работа выполнена по теме Государственного задания FNFE – 2025 – 0009 «Создание новых генотипов, сортов, форм древесных, кустарниковых, культурных растений с высокоценными признаками продуктивности, качества, устойчивостью к био- и абиострессорам с использованием классических и современных методов селекции, новые инновационные технологии в питомниководстве и семеноводстве, для решения задач по предотвращению деградации и опустынивания агроландшафтов в условиях изменяющегося климата».

Актуальность. Увеличение объемов отходов производства и потребления, направляемых на захоронение, приводит к деградации земельных ресурсов. Данный процесс оказывает негативное влияние на плодородие почв и их способность к самовосстановлению. Деградация земель, в свою очередь, усугубляет экологические проблемы – такие как утрата биоразнообразия, эрозия почв и снижение качества природных ресурсов. Для Волгоградской области, в силу климатических особенностей региона, характерной является засушливость, которая, в перспективе, может привести к аридизации отдельных участков. Проблема деградированных земель становится всё более актуальной в контексте устойчивого развития и борьбы с изменением климата. Сохранение и восстановление земель, занятых объектами размещения отходов, является важным шагом для снижения негативного воздействия на окружающую среду и обеспечения экологической безопасности. **Объект.** Исследования проводились на участке полигона захоронения отходов производства Волжского трубного завода (Волгоградская область, г. Волжский). **Материалы и методы.** Исследования проводились на опытном участке путем рекогносцировочного обследования: аэровизуальный метод с использованием БПЛА, и наземный маршрутный. Полевые исследования велись на основе ботанических, экологических, почвенных и геоморфологических наблюдений. Отбор почвенных проб проводился в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-2017. **Результаты и выводы.** Создание карбоновой фермы представляет собой инновационный климатический проект по модификации землепользования на объекте исследования (полигон захоронения отходов производства трубного завода, г. Волжский). В рамках проекта предложено восстановление древесных насаждений и формирование ландшафта биологических коридоров с использованием таких древесных видов, как ива, тополь, гледичия, орех, карагана древовидная, шелковица и клен. Эти меры направлены на восстановление нарушенных земель и создание устойчивых экосистем, способствующих повышению биоразнообразия. Ожидается, что реализация данного проекта окажет положительное воздействие на сохранение биоразнообразия как в пределах проектной зоны, так и в ее окрестностях, а динамика биоразнообразия будет зависеть от возраста древесных пород и их устойчивости, что значительно повысит секвестрацию углерода в условиях сухой степи и полупустыни.

Ключевые слова: промышленные отходы, полигоны захоронения отходов, ОРО, объекты размещения отходов, нарушенные земли, восстановление нарушенных земель.

Цитирование. Маслова Е. М., Скорик Н. А., Быханова А. В., Тимофеева С. А., Солонкин А. В., Соломенцева А. С. Проблемы деградированных земель промышленности, занятых объектами размещения отходов и пути их решения. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 324-338. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-36.

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. Земли промышленности, согласно ГОСТ Р 59055-2020 – это земли, используемые или предназначенные, в том числе, для эксплуатации объектов промышленности, в результате чего наступает деградация земель, а именно, снижается их биологическая и экономическая продуктивность.

Нарушенные земли, согласно ГОСТ Р 59060-2020, по техногенному рельефу классифицируются по 4-м группам работ:

- открытые горные работы, нарушающие земли;
- подземные горные работы, нарушающие земли;
- промышленные, строительные и твердые коммунальные отходы, нарушающие земли;
- линейные сооружения, нарушающие земли.

Ежегодно в мире и России в связи с ростом производства наблюдается и рост образования отходов производства.

По информации Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году» (Министерство природных ресурсов и экологии РФ), на территории нашей страны зафиксировано 9 278,8 млн тонн отходов производства и потребления, эти данные на 2,9 % выше в сравнении со значениями 2022 года.

С 2014 года образование отходов имеет стойкую тенденцию к увеличению объема – так, в период 2014-2023 гг. их количество увеличилось на 79,5 % (рисунок 1).

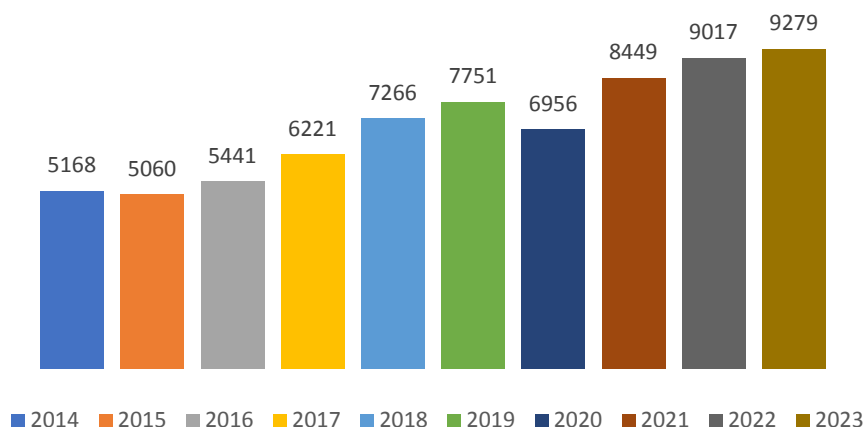


Рисунок 1 – Объем отходов производства и потребления в РФ по годам (2014-2023 гг.), млн т.
Figure 1 – Volume of production and consumption waste in the Russian Federation by year (2014-2023), million tons

Как видно на рисунке 2, динамика захоронения отходов в 2023 г. имеет показатель в 1 623,3 млн т. За девятилетний период (2014-2023 гг.) данный показатель увеличился в 3,1 раза, и только в 2015 году можно наблюдать снижение до 354,6 млн т, и в 2020 году – до 832,3 млн т. (рисунок 2).

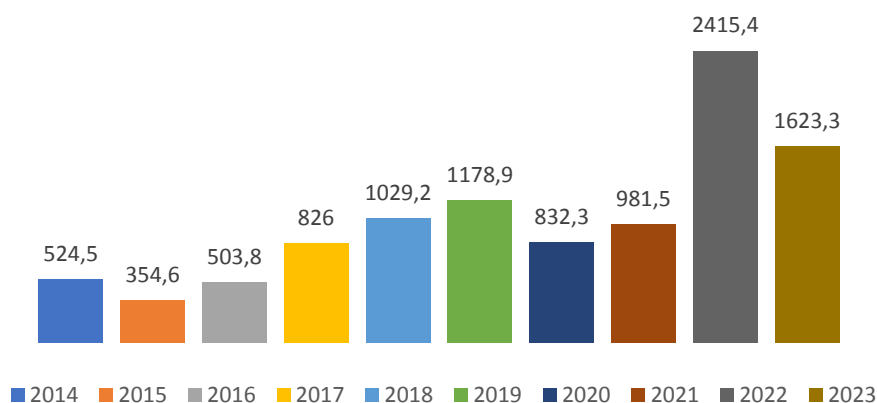


Рисунок 2 – Динамика захоронения отходов в РФ, 2014-2023 гг., млн т.
Figure 2 – Dynamics of waste disposal in the Russian Federation, 2014-2023, million tons

Деградация земель в последние годы является одной из самых важных проблем, создающих экологическую, экономическую и в целом национальную угрозу безопасности Российской Федерации. Ущерб продуктивности земельного и сельскохозяйственного производства страны наносят: дефляция почв, водная эрозия, временные и постоянные затопления участков, процессы засоления, потеря гумуса, захоронение техногенных отходов, загрязнение радионуклидами и тяжелыми металлами. Одной из основных причин снижения уровня плодородия почв является нарушение земель – процесс, происходящий при добыче полезных ископаемых, выполнении геологоразведочных, изыскательских, строительных и других работ, который приводит к нарушению почвенного покрова, гидрологического режима местности, образованию техногенного рельефа и другим качественным изменениям состояния земель.

По состоянию на конец 2023 г. площадь нарушенных земель в России составила 1 138,8 тыс. га, что на 42,0 тыс. га больше, чем в 2022 г. Наибольшая часть нарушенных земель была обнаружена в категории земель промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики, земель для обеспечения космической деятельности, земель обороны, безопасности и земель иного специального назначения. В целом, за последние 10 лет наблюдается тенденция к увеличению нарушения земель в большей степени в землях промышленности и иного назначения.

Полигон захоронения отходов АО «ВТЗ» (г. Волжский) расположен в промышленной зоне. Близость элементов промышленных ландшафтов не исключает возможность аккумуляции самых разнообразных загрязнителей минерального и органического состава в почвах участка, количественные характеристики которых до проведения изыскательских и санитарно-экологических работ, как правило, неизвестны. Опытный участок расположен в зоне распространения автоморфных светло-каштановых солонцовых комплексов, включающих фоновые светло-каштановые солонцеватые и не солонцеватые почвы, от 10 до 30 % солонцов и около 10-15 % лугово-каштановых почв. На участке обследования полигона захоронения отходов созданы технологические карты, отображающие техногенные образования на поверхности, в их верхней части формируются почвы без четкого образования профиля на ранних этапах развития. Также, на полигоне выполняются следующие типы работ: прием, складирование и изоляция отходов. Способ захоронения отходов принят в зависимости от агрегатного состояния, водорастворимости и класса опасности веществ и их соединений. Заполнение карты отходами 4 и 5 классов опасности производится послойно с разравниванием и уплотнением каждого слоя, толщина уплотненного слоя 2 м. Когда слой уплотнен, его отсыпают не фракционным шлаком (толщина слоя 0,25 м). После полного заполнения проектных отметок карты начинают работы по ее изоляции, при этом на уровне выше гребня обвалования дамбы должен находиться уровень с отходами, а если уровень ниже – по периметру на 50 см.

Заполненная отходами карта 4 и 5 классов опасности изолируется уплотненным слоем местного грунта толщиной 2,0 м с добавлением 10 % растительного грунта в верхнем слое толщиной 0,2 м. В изолирующем слое на глубине 0,5 м укладывают геомембрану толщиной 1,5 мм.

Отходы 3 класса опасности отсыпаются по принципу «от себя» (полная высота). Засыпанный до проектной отметки участок закрывается защитным слоем местного грунта толщиной 0,5 м. Дальнейшая отсыпка отходов производится по железобетонным плитам, уложенным по защитному слою. Наивысший уровень отходов – ниже ограждающей дамбы на 0,5 м, в местах сопряжения с откосами карты по периметру – ниже гребня дамбы не менее чем на 2 м. Заполненные карты изолируются слоем местного грунта толщиной не менее 2 м, включая первоначальный защитный слой 0,5 м, по которому укладывается геомембрана толщиной 1,5 мм. Сверху отсыпают выравнивающий слой грунта толщиной 1,3 м, по которому устраивается растительный слой толщиной 0,2 м. Отличительной особенностью при разработке проекта строительства полигона захоронения отходов АО «ВТЗ» является использование устройства противодиффузионного экрана в основании карт и при их закрытии для изоляции почвы и грунтовых вод. Применяемая при этом геомембрана накладывает определенные ограничения на применение растений с глубокой корневой системой (рисунок 3).



Рисунок 3 – Карта для захоронения отходов 4-5 классов опасности АО «ВТЗ» в процессе эксплуатации
Figure 3 – Map for the disposal of waste of hazard classes 4-5 of JSC "VTZ" during operation

Часть площади отчуждена для будущих карт и представляет собой котлованы, заросшие сухостепной травянистой растительностью (чертополох и т. д.).

Изъятый для хранения и последующей засыпки подготовленных карт верхний плодородный слой забуртован. Дамба проходит по всему периметру Полигона захоронения отходов АО «ВТЗ» и имеет высоту от 2 м до 6-8 м. наиболее мощная насыпь сооружена в районе искусственного пруда испарителя (рисунок 4).



Рисунок 4 – Ограждающая дамба вдоль периметра
(забуртованная почва, изъятая из готовящихся под карты территорий)
Figure 4 – Enclosing dam along the perimeter
(roughened soil removed from territories being prepared for maps)

С целью характеристики опытного участка на исследуемой территории в рамках проведения инженерно-экологических изысканий ООО «ГеоЭксперт» в 2011 году проводились газо-геохимические исследования в связи с возможностью залегания на участке грунтов, способных генерировать биогаз. К таким грунтам относятся насыпные грунты с примесями строительного мусора и бытовых отходов. Главными компонентами биогаза являются метан CH_4 (до 40-60 % объема) и двуокись углерода CO_2 . Биогаз сорбируется вмещающими грунтами, растворяется в грунтовых водах и диссипирует в приземную атмосферу. Потенциально опасными в газо-геохимическом отношении считаются грунты с содержанием $\text{CH}_4 > 0,1$ % об. (по объему) и $\text{CO}_2 > 0,5$ % об.; в опасных грунтах содержание $\text{CH}_4 > 1,0$ % об. и CO_2 до 10 % об.; пожаро-взрывоопасные грунты содержат $\text{CH}_4 > 5,0$ % об., и при этом содержание $\text{CO}_2 > 10$ % об.

Целью рекогносцировочного обследования являлась оценка растительного и почвенного покрова территории Полигона захоронения отходов АО «ВТЗ» с последующим подбором ассортимента древесных видов, как основы технологических решений современной модели карбоновой фермы.

Материалы и методы. На полигоне захоронения отходов акционерного общества «Волжский трубный завод» были осуществлены рекогносцировочные обследования территории методом ее визуального обследования. Участок изысканий расположен в непосредственной близости от Полигона твердых бытовых отходов ООО «Волга-Бизнес» (участок граничит с северо-восточной стороны), в северо-западном направлении находится Волжский трубный завод, на расстоянии 50-60 м в юго-западном направлении расположена ТЭЦ-2, к которой проходит асфальтированная автомобильная дорога. Опыты включали исследование расположенной рядом территории полигона, выведенного из эксплуатации в 2015 г., на основе ботанических, экологических, почвенных, гидрогеологических и геоморфологических наблюдений, оценке рельефа на основании визуальных наблюдений и с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА), составлении схемы отбора проб растительности и почвы для инструментальных исследований. Исследования почв, а также картирование участков межкартного пространства и части периметра проведено при помощи общепринятых методик. Отбор проб почв проводился в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-2017.

Видовой состав растительности определялся в июле и августе 2022 г. закладкой пробных площадей и визуальным обследованием всех площадок.

Пробы почв отбирались с учетом не менее одной объединенной пробы весом не менее 1 кг с пробной площади 0,5 га, состоящей из 5 точечных проб, в каждой точке отбор по глубинам 0-5 и 5-20 методом конверта. Всего на каждой карте было заложено 4 пробных площади.

Также в процессе исследований полигона изучались основные физико-химические показатели почв с целью установления процессов изменения и перемещения питательных веществ, а также их поступления в растительные организмы.

Химическое загрязнение почв и грунтов оценивалось по суммарному показателю (Zc). Для содержания в почвах допустимой категории загрязнения суммарный показатель составляет менее 16 мг/кг органических (от 1 до 2 ПДК) и неорганических (от фона до ПДК) соединений, для умеренно опасной категории – 16-32 мг/кг органических (от 2 до 5 ПДК) и неорганических (от ПДК до Кмах) соединений, для опасной категории – 32-128 мг/кг органических (от 2 и более 5 ПДК) и неорганических (от ПДК до Кмах) соединений, для чрезвычайно опасной категории – более 128 мг/кг органических (от 5 ПДК) и неорганических (Кмах) соединений, для чистой категории загрязнения от фона до ПДК – 0.

Рекогносцировочное обследование проводилось в несколько этапов в период с апреля по июль 2022 года.

Шнуровая съемка проводилась гибким S-образным зондом газоанализатора Drager X-am-7000 на глубину 0,8-1,0 м. В рамках инженерно-экологических изысканий было отобрано 30 объединенных проб почвы из слоя 0-20 см на определение концентрации загрязняющих веществ I класса опасности по всей территории.

Продуктивность растений во многом определялась агрофизическим значением плотности почвы – оно оказывает прямое влияние на корневую систему, так как корням намного труднее проникать через переуплотненный грунт. Критическим значением сопротивления пенетрации считается величина 3 Мпа.

Для песчаного грунта значения коэффициента уплотнения учитывались по следующим показателям: в верхнем слое до 150 см составляет 0,95-0,98, нижнем слое от 150 см без доступа грунтовых вод имеет показатель 0,90-0,95, в нижнем слое от 150 см (подтапливаемом) – 0,95.

Ассортимент растений для современной модели карбоновой фермы подбирался на основе потенциала секвестрации углерода, адаптации к условиям участка, устойчивости к болезням и вредителям и долговечности [11].

Результаты и обсуждение. В Российской Федерации под размещение отходов производства и потребления выделяется около 0,4 млн га земли в год, при этом они могут размещаться на свалках, полигонах, промышленных площадках предприятий (территория размещения – 4 млн га) [1].

Согласно ст. 1 Федерального закона от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления», захоронение отходов – изоляция отходов, не подлежащих дальнейшей утилизации, в специальных хранилищах в целях предотвращения попадания вредных веществ в окружающую среду.

К специальным хранилищам относятся объекты размещения отходов (ОРО) – специально оборудованные сооружения, предназначенные для размещения отходов, и включающие в себя объекты хранения отходов и объекты захоронения отходов.

Согласно государственному реестру объектов размещения отходов (ГРОРО) на территории Волгоградской области зарегистрирован 31 ОРО, из которых 5 объектов размещения твердых коммунальных отходов (ТКО) и 26 ОРО для размещения промышленных отходов. Следует отметить, что ОРО, выведенные из эксплуатации (в том числе рекультивированные или законсервированные) в соответствии с установленным порядком, не подлежат включению в ГРОРО.

Выделяемые под строительство ОРО продуктивные земли переводятся в категорию «Земли промышленности», а после окончания эксплуатации объекта не могут быть восстановлены до начальных характеристик в связи с их техногенной деградацией.

В частности, было проведено детальное исследование одного из крупнейших полигонов захоронения отходов производства Волгоградской области (г. Волжский, АО «Волжский трубный завод» (АО «ВТЗ»)).

Растительный покров на закрытых картах Полигона захоронения отходов АО «ВТЗ» сплошной, нет пятен без растительности, растительный состав однородный (полынно-злаковая ассоциация). Описание прикопок позволяет заключить, что рекультивация карты проходила в соответствии с общими рекомендациями по созданию оптимального гидротермического режима почвенных конструкций. Нижняя часть практически всех прикопок имеет облегченный грансостав, в нескольких точках диагностируется песчаный слой с 40 см. В двух точках песчаный слой начинается с 20 см. Визуально слой песка однородный, не ожелезненный, плотный. Над песчаным слоем находится суглинистый слой, имеющий некоторое не критическое уплотнение (0, 97), согласно значениям коэффициента, граница которого варьирует от 10 до 20 см, иногда ниже. В целом, на участке отмечается некритическое мозаичное внутрипочвенное уплотнение (0,95) без присутствия проблем с развитием корневых систем растений в корнеобитаемом слое.

Структура верхнего слоя грунта 0-5 см – пылевато-порошистая, нижележащего слоя 5-10 см – мелкокомковато-порошистая, слоя после 10 см – мелкокомковатая. На 20 см структура определяется как мелкокомковато-пылевато-порошистая. Часто прослеживается плитчатость, которая с глубиной увеличивается от мелких плиток до крупных. Структура верхнего слоя грунта на карте от порошисто-комковатой до порошисто-мелкопризматической.

Вскипание не с поверхности; очевидно, что рекультивация карт проводилась с итоговой засыпкой территории гумусным горизонтом исходной каштановой почвы (рисунок 5).



Рисунок 5 – Типичный профиль почвы на карте Полигона захоронения отходов АО «ВТЗ».

Нет вскипания с поверхности, суглинок с поверхности подстилается песчаным слоем
Figure 5 – A typical soil profile on the map of the Landfill of JSC "VTZ". There is no boiling from the surface; the loam from the surface is covered with a sandy layer

В таблице 1 представлены основные результаты исследования свойств почв на опытном участке:

Таблица 1 – Основные физико-химические и агрохимические свойства исследованных почв. Объединенные образцы
Table 1 – Basic physical and chemical and agro-chemical properties of the studied soils. Combined samples

Код образца / Sample Code		Глубина отбора, см / Depth of soil sampling, cm		Аккредитованная методика, почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, 1990 г. / Accredited methodology, V. V. Dokuchaev Soil Institute, 1990		Руководство по лабораторным методам, почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, 1990 г. / Manual on Laboratory Methods, V. V. Dokuchaev Soil Institute, 1990		ГОСТ 26423-85 / State Standard 26423-85		ГОСТ 26205-91-метод Мачигина / State Standard 26205-91-Machigin method		ГОСТ 26205-91-метод Мачигина / State Standard 26205-91-Machigin method		ГОСТ 26424-85 / State Standard 26424-85		ГОСТ 26425-85 / State Standard 26425-85		ГОСТ 26426-85 / State Standard 26426-85		ГОСТ 26428-85 / State Standard 26428-85		ГОСТ 26428-85 / State Standard 26428-85		ГОСТ 26427-85 / State Standard 26427-85 /		ГОСТ 26427-85 / State Standard 26427-85		ГОСТ 17.5.4.02-84 / State Standard 17.5.4.02-84	
				Органический углерод (сжигание на «Метавак» / Organic carbon (incineration at Metawack		Массовая доля общего содержания карбонатов по Козловскому, % / Mass fraction of total carbonate content according to Kozlovsky, %		РН водной вытяжки, ед. pH / pH of the aqueous extract, pH units		P ₂ O ₅ (подвижная форма), мг/кг / P ₂ O ₅ (mobile form), mg/kg		K ₂ O (подвижная форма), мг/кг / K ₂ O (mobile form), mg/kg		CO ₃ (2-) и HCO ₃ -3, ммоль/100 г / CO ₃ (2-), and HCO ₃ -3, mmol/100 g		Доля Cl ⁻ , ммоль/100 г / Cl ⁻ fraction, mmol/100 g		Доля SO ₄ ²⁻ , ммоль/100 г / T he fraction of SO ₄ ²⁻ , mmol/100 g		Доля Mg (водорастворимая форма), ммоль/100 г / Mg fraction (water-soluble form), mmol/100 g		Доля Ca (водорастворимая форма), ммоль/100 г / Ca content (water-soluble form), mmol/100 g		Доля Na (водорастворимая форма), мг.-экв./100 г / Na content (water-soluble form), mg-eq./100 g		Доля K(водорастворимая форма), мг.-экв./100 г / K content (water-soluble form), mg-eq./100 g		Сумма токсичных солей. % / The amount of toxic salts. %	
H14	5-20	1,52	0,7	8,7	34,12	70,71	0\0,5	0,1	0,0	0,2	0,2	0,4	0,000042	0,03															
H15	0-5	1,51	0,3	8,2	47,06	146,69	0\0,775	0,1	0,0	0,0	0,2	0,2	0,000095	0,04															
H16	5-20	1,60	0,9	8,8	36,18	73,92	0\1	0,4	0,0	0,1	0,3	0,4	0,000048	0,07															
H18	0-5	1,74	1,9	8,2	65,00	146,41	0\0,3	0,2	0,0	0,0	0,3	0,2	0,0000119	0,01															
H19	5-20	1,38	0,4	8,7	25,00	81,42	0\0,525	0,4	0,0	0,2	0,3	0,4	0,000032	0,04															
H20	5-20	1,45	0,6	8,6	25,00	77,88	0\0,425	0,1	0,0	0,6	0,3	0,4	0,000036	0,02															
H21	0-5	1,90	0,3	8,2	102,94	167,98	0\0,3	0,1	0,0	0,3	0,3	0,2	0,000132	0,01															
H22	5-20	1,24	0,6	8,5	39,41	86,82	0\0,425	0,1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,000070	0,02															
H23	0-5	1,56	0,2	8,1	65,88	147,43	0\0,25	0,2	0,0	0,1	0,3	0,1	0,000110	0,01															
K33	0-5	1,43	0,7	8,4	29,12	81,91	0\0,4	0,4	0,0	0,1	0,3	0,3	0,000050	0,03															
K38	5-20	1,65	0,6	8,7	36,47	86,71	0\0,6	0,3	0,0	0,1	0,3	0,6	0,000054	0,05															
K41	0-5	4,96	0,8	7,6	235,29	82,14	0\0,4	0,3	1,9	0,4	0,2	0,2	0,000145	0,12															
K41	5-20	1,50	0,4	8,3	32,94	79,37	0\0,5	0,6	0,3	0,4	0,3	1,1	0,000061	0,07															
K43	0-5	1,52	0,7	8,6	30,88	83,08	0\0,45	0,4	0,0	0,0	0,3	0,4	0,000058	0,03															
K43	5-20	1,41	0,4	8,6	30,00	91,44	0\0,525	0,2	0,0	0,1	0,2	0,5	0,000090	0,03															
K45	0-5	1,36	0,4	8,5	40,59	108,65	0\0,35	0,1	0,0	0,1	0,2	0,4	0,000059	0,02															
K45	5-20	1,34	0,4	8,6	30,59	84,24	0\0,525	0,1	0,0	0,0	0,3	0,4	0,000037	0,03															
M1	0-5	1,77	0,7	8,3	44,12	110,21	0\0,35	0,3	0,0	0,2	0,4	0,1	0,000073	0,01															
M1	5-20	1,60	0,9	8,3	21,47	70,83	0\0,4	0,4	0,1	0,8	0,4	0,2	0,000048	0,04															
M5	0-5	1,36	1,1	8,5	30,00	93,13	0\0,4	0,3	0,2	0,3	0,3	0,1	0,000072	0,02															
M5	5-20	1,11	1,3	8,6	18,53	35,57	0\0,35	0,3	0,0	0,1	0,4	0,1	0,000033	0,01															

Исследования показали, что все почвы территории полигона захоронения отходов АО «ВТЗ» имеют преимущественно суглинистый состав, варьирующий от легкого до среднего, в некоторых точках обнаружена супесь или песок, предположительно поступивший в рекультивационную конструкцию карт с территории, на которых присутствуют легкие материнские породы. По результатам проведенных исследований, вся территория полигона захоронения отходов АО «ВТЗ» характеризуется как малогумусная, во всех точках опробования обеспеченность почвы гумусом $< 2\%$ (колебания от 1,3 до 1,9 в слое 0-5, и от 1,1 до 1,6). Исключением является точка 41, где на поверхности присутствуют отходы неизвестного происхождения, содержащие углерод в количестве 5,0 %. Низкое содержание органического углерода в почве свидетельствует о дефиците органического вещества вследствие негативного влияния отходов на почву и влияния микроорганизмов-редуцентов, разлагающих органическое вещество.

По степени кислотности, определяемой в водной вытяжке, почвы во всех точках опробования относятся к щелочным (реакция среды 7,5-8,5 ед. pH) и к сильнощелочным (более 8,5). Систематизировать отдельные случаи повышения реакции среды не удастся ввиду мозаичности укладки исходных почвенных субстратов на карту. Показатель pH указывает, насколько благоприятна почвенная среда для фито-, агроценозов, поскольку растения предъявляют разные требования к реакции почв.

Питательные элементы определены по подвижным формам калия, фосфора и азота. Содержание калия в почвах в основном среднее (80-120 мг/кг) для более молодых карт, отмечена точка с низким содержанием (35 мг/кг). Для карты 1 колебания содержания калия от низкого (40-80 мг/кг) до повышенного (120-170 мг/кг).

Обеспеченность почв фосфором низкая (25-50 мг/кг), в межкартном пространстве в слое 5-20 см очень низкая (менее 25 мг/кг). Для карты № 1 в нескольких верхних горизонтах 0-5 см содержание фосфора среднее (50-100 мг/кг), что связано со временем функционирования карт. В загрязненном участке карты № 3 содержание фосфора приближается к крайне высокому.

Вид засоления и реакцию среды определяют карбонат и бикарбонат ионы, а также хлорид и сульфат ионы. По их составу тип засоления определен как хлоридно-содовый. Однако сумма токсичных солей не позволяет говорить о выраженном процессе засоления верхнего слоя почвы 0-20 см. Следует отметить, что для данных почв характерно засоление, как правило, на более глубоких слоях. Учитывая, что при планировании карт верхний слой 0-20 см складывается отдельно, а остальные нижележащие перемешиваются при закрытии карт, то можно предположить, что соли также перемешаны в слое 20-200 см.

Ранее ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Волгоградской области» в рамках проведения мониторинга объекта размещения отходов, выведенного из эксплуатации АО «ВТЗ» в 2015 г., проводился количественный химический анализ на содержание тяжелых металлов в почве в период от 2007-2010 гг. Превышения ПДК в санитарно-защитной зоне проектируемого объекта по рассматриваемым ингредиентам не выявлено. Превышение ПДК концентрации загрязняющих веществ I класса опасности на территории проектируемого объекта по рассматриваемым ингредиентам не выявлено.

По итогам исследования Zс на опытном участке составил 1,56. Согласно шкале загрязненности почв по суммарному показателю загрязнения Zс при показателе < 16 категория загрязненности почв оценивается как относительно удовлетворительная.

Согласно результатам исследований шпуровой съемкой грунтового воздуха по профилям, приповерхностные биогазовые аномалии на глубине 0,8-1,0 м и на поверхности отсутствуют.

Исследованная территория находится в полупустынной агроклиматической зоне. Естественный почвенно-растительный покров практически был изменен, но наблюдается восстановление напочвенного покрова естественной флоры данного региона.

Результат исследований видового состава растительности показал значительные различия в видовом составе между картами № 1, № 2 (закрытие в 2015, 2017 гг.) и № 3 (закрытие в 2019 гг.). На картах № 1 и № 2 типичная степная растительность восстановилась после закрытия карт, на карте № 3 процесс восстановления идет. Видовой состав ложбин и откосов повторял видовой состав карт № 1, № 2. Длительность вегетации составляет от 160 до 190 дней. Критический период для растений – летняя засуха. Иссующие ветра, повышенная инсоляция, отрицательный водный баланс определяют отбор видов есте-

ственной растительности на Полигоне захоронения отходов АО «ВТЗ». Все растения, обитающие на экспериментальных площадках – ксерофиты. Доминируют травянистые многолетники с длительным периодом вегетации. Это однодольные и двудольные растения. Среди однодольных встречаются плотнодерновинные злаки, например, типчак (*Festuca valesiaca* Schleich. ex Gaudin). В дерновине множество отмерших остатков, удерживающих влагу осадков. Для степных растений характерна жесткость листьев, которые своей анатомической структурой спасают растение от засухи, например, рогача песчаного (*Ceratocarpus arenarius* L.). Среди местной флоры встречаются полукустарники, например, прутняк обыкновенный (*Vitex agnus-castus* L.) полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris* L.), молочай прутьевидный (*Euphorbia virgata* Waldst. & Kit.) и др. Присутствует группа естественной флоры «перекати поле» – качим метельчатый (*Gypsophila paniculata* L.), кермек обыкновенный (*Limonium vulgare* Mill.), василек раскидистый (*Centaurea diffusa* Lam.), гулявник высокий (*Sisymbrium altissimum* L.), и др.

Наиболее распространенные виды, занимающие более 60 % территории экспериментальных площадок (Рисунок 6):

1. Злаки: тимофеевка степная (*Phleum phleoides* (L.) H. Karst.), овсяница валисская (*Festuca valesiaca* Gaudin.), овсец опушенный (*Helictotrichon pubescens* (Huds.) Schult. & Schult.f.), овсец Шелля (*Helictochloa schelliana* (Hack.) Tzvelev & Prob.), житняк гребневидный (*Agropyron cristatum* (L.) Gaertn.).

2. Полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris* L.), горькая (*Artemisia absinthium* L.), австрийская (*Artemisia austriaca* Jacq.), приморская (*Seriphidium maritimum* (L.) Poljakov), холдная (*Artemisia frigida* Willd.), однолетняя (*Artemisia chamomilla* C.Winkl.).

3. Василек раскидистый (*Centaurea diffusa* Lam.) и растопыренный (*Centaurea pseudosquarrosa* Mikheev ex Gabrieljan et Mikheev).

4. Пижма тысячелистная (*Tanacetum millefolium* (L.) Tzvelev).

5. Маревые: лебеда продолговатолистная (*Atriplex oblongifolia* Waldst. & Kit.) и копьелистная (*Atriplex calotheca* (Rafn) Fr.), бассия очитковидная (*Sedobassia sedoides* (Pall.) Freitag & G. Kadereit), кохия простёртая (*Kochia prostrata* (L.) Schrad.), прутняк венечный (*Kochia scoparia* (L.) Schrad), рогач песчаный (*Ceratocarpus arenarius* L.), верблюдка отклоненная (*Corispermum declinatum* Stephan ex Iljin.).

6. Донник белый (*Melilotus albus* Medik.) и лекарственный (*Melilotus officinalis* (L.) Lam.).

1



2



3



4



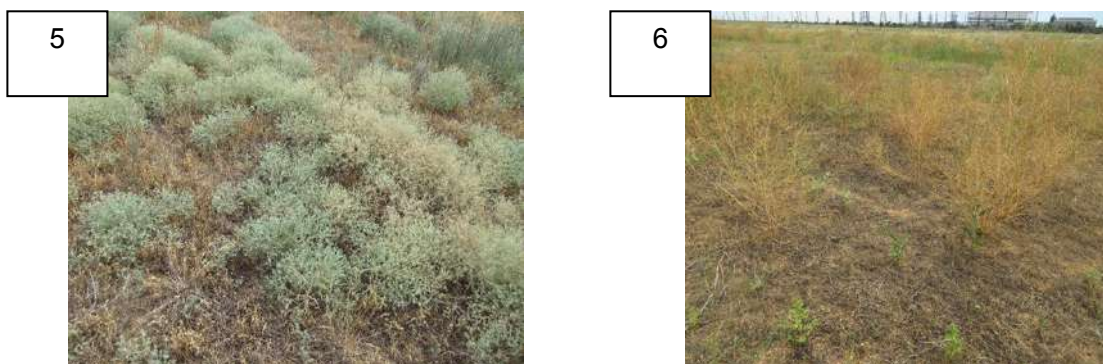


Рисунок 6 – Виды на экспериментальных площадках: 1 – восстановление естественной растительности на картах – злаки; 2 – различные виды полыни; 3 – василек раскидистый; 4 – пижма тысячелистная; 5 – рогац песчаный; 6 – донники белый и лекарственный, конец вегетации

Figure 6 – Types at experimental sites: 1 – restoration of natural vegetation on the maps – cereals; 2 – various types of wormwood; 3 – cornflower; 4 – yarrow tansy; 5 – sand horn; 6 – white and medicinal sweet clover, the end of vegetation

Таким образом, на исследуемом участке полигона представлены типичные степные ксероморфные растения природной флоры Волгоградской области, деревья на картах полигона отсутствуют.

Техногенная деградация земель объекта обусловлена близостью промышленной зоны, обилием тепла при недостаточном уровне увлажнения, что в дальнейшем будет способствовать формированию лишь некоторых фитоценозов, в то время как другие подвергнутся полному исчезновению.

Согласно требованиям природоохранного законодательства, одним из способов компенсации вреда выведенных из хозяйственного оборота земель, является их рекультивация. Таким образом, после исчерпания мощности ОРО и окончания срока его эксплуатации, на собственника вменяются обязательства по рекультивации объекта [2].

Исходя из представленных требований, зачастую проекты рекультивации ОРО включают в себя крайне ограниченный спектр мероприятий, заключающихся в планировке объекта с последующей высадкой травосмеси на его поверхности и посадкой древесной растительности по периметру.

Возможно, реализация данных мероприятий и достаточна для предотвращения деградации земель в долгосрочной перспективе, но имеются и иные способы улучшения условий окружающей среды.

В частности, нарушенные в результате техногенного вмешательства земли Полигона захоронения отходов АО «ВТЗ», используются в реализации климатического проекта «Карбоновая ферма».

Полученные в процессе обследования территории полигона данные стали основой технологических решений современной модели карбоновой фермы. Для предотвращения негативного влияния на растительность можно использовать карбоновую ферму Short rotation woody crops, включающую короткий севооборот, что позволит эффективно использовать все почвенные ресурсы [3]. Данная ферма уменьшает количество загрязняющих элементов и оказывает наибольшее влияние на земли низкого качества (маргинальные) [4, 5]. На подобных участках для посадки подходят быстрорастущие виды, способные в короткий срок дать высокий урожай биомассы с целью секвестрации атмосферного углерода в свои ткани.

К фиторемедиации можно отнести устойчивые и экологичные технологии высадки древесных видов, способы внесения удобрений, типы орошения – все это улучшит состояние почвы, воздуха и природную среду в г. Волжский и Волгоградской области в долгосрочной перспективе. Для этих целей на опытный участок полигона высадили 19 засухоустойчивых и быстрорастущих видов тополей и ивы пурпурной «Нана», предотвращающих миграцию тяжелых металлов (медь, свинец) путем их поглощения корнями с последующим накоплением [6, 7, 8].



Рисунок 7 – Выращивание тополей на опытном участке полигона
Figure 7 – Cultivation of poplars at the experimental site of the landfill

Подобная агротехника управления карбоновой фермой обеспечит быстрый рост и повышенную секвестрацию углерода [9]. В качестве добавки к почве рекомендуется использовать вермикулит – гидрослюду со слоистой текстурой, он повышает устойчивость растений к неблагоприятным факторам окружающей среды, обеспечивает их необходимым количеством полезных макроэлементов и удерживает влагу в почве, избавляя от необходимости частого орошения. Гледичия трехколючковая (*Gleditsia triacanthos* L.) благодаря своей способности к симбиозу с клубеньковыми бактериями способна улучшать свойства почв. Ее чередование с другими древесными видами (тополь черный (*Populus nigra* L.), орех маньчжурский (*Juglans mandshurica* Maxim.)) обеспечит ряд преимуществ для фитоэкстракции (удалению опасных элементов и соединений из почв) и фитостабилизации (перевод опасных элементов и соединений в менее подвижную и активную форму) [10, 11] (рисунок 8).



Рисунок 8 – Посадки тополя (1-летние побеги), полигон захоронения отходов АО «ВТЗ»
Figure 8 – Poplar planting (1-year-old shoots), waste disposal site of JSC "VTZ"

Выращивать растения предпочтительнее порослевым способом (2-3 года) в целях улучшения качества древесины.

Также, в качестве рекомендованных к выращиванию на карбоновой ферме видов можно указать карагану древовидную (*Caragana arborescens* Lam.), орех серый (*Juglans cinerea* L.), шелковицу черную (*Morus nigra* L.), клен платановидный (*Acer platanoides* L.) с

плотностью посадки на опытном участке 1-3 дерева/1 м² (увеличение плотности посадок приведет к увеличению расходов на содержание карбоновой фермы и снижению количества биомассы растений вследствие заболеваний и поражения вредителями) [12, 13].

Высокие летние температуры, малое количество осадков и низкая влажность почвы в летний период и, как следствие, снижение чувствительности к патогенам оказывают существенное влияние на рост и развитие растений – это является основным недостатком при создании карбоновой фермы и процессов фиторемедиации в условиях сухой степи и полупустыни. На первом этапе реализации проекта создания карбоновой фермы рекомендуется обеспечение интенсивного полива в первые 2 года после посадки растений; это увеличит транспирацию, скорость поглощения и стабилизацию загрязнителей в их тканях. Функции карбоновой фермы как жизненно необходимой системы должны быть направлены на увеличение продуктивности растений, улучшение качества атмосферного воздуха и почв.

Закключение. Согласно значениям коэффициента уплотнения песчаного и суглинистого слоев почвы на опытном участке полигона установлено, что проблем с развитием корневых систем растений в корнеобитаемом слое не наблюдается. Малогумусные сильнощелочные и щелочные (< 2 %) почвы требуют подбора ассортимента растений, способных хорошо расти и развиваться в трудных лесорастительных условиях, переносить критические периоды (летнюю засуху) при периоде вегетации от 160 до 190 дней. Ксерофитный состав естественной растительности на Полигоне захоронения отходов АО «ВТЗ» определяет ее устойчивость к ветрам, повышенной инсоляции и отрицательному водному балансу. Техногенная деградация земель исследуемого объекта обусловлена близостью промышленной зоны, обилием тепла при недостаточном уровне увлажнения, что требует рекультивации с формированием устойчивых фитоценозов с учетом ограниченного количества мероприятий по улучшению условий окружающей среды.

Для посадки с целью создания карбоновой фермы на полигоне подходят быстрорастущие виды с высоким урожаем биомассы, которую они способны образовывать за короткие сроки с целью секвестрации атмосферного углерода в свои ткани: гледичия трехколючковая (*Gleditsia triacanthos* L.), тополь черный (*Populus nigra* L.), орех маньчжурский (*Juglans mandshurica* Maxim.), карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.), орех серый (*Juglans cinerea* L.), шелковица черная (*Morus nigra* L.), клен платановидный (*Acer platanoides* L.), без увеличения плотности посадки.

Возраст и устойчивость рекомендуемых фиторемедиантов к неблагоприятным факторам среды, а также методы управления карбоновой фермой будут оказывать влияние на динамику сохранения биоразнообразия и формируемые экосистемы в условиях сухой степи и полупустыни, что, в свою очередь, будет способствовать эффективному управлению углеродным балансом.

Conclusions. The project to create a carbon farm based on the landfill of production and consumption waste of JSC VTZ is an innovative solution in the field of ecosystem restoration. The main concept of the project is to transform the use of land resources in order to increase carbon dioxide sequestration and restore biodiversity, introduce phytoremediation technologies, and organize short crop rotation. This helps to reduce carbon levels in the atmosphere, improve soil quality, restore tree plantations, and form biological corridors.

The rules for verifying climate projects fully confirm the compliance of the carbon farm project with the basic methodological requirements and criteria, which is confirmed by the reliability of the results obtained and the beneficial effect on ecosystems located within the project area. The age and resistance of plantings to adverse environmental factors, as well as carbon farm management methods, will influence the dynamics of biodiversity conservation and the ecosystems formed in conditions of dry steppe and semi-desert, which, in turn, will contribute to effective management of the carbon balance.

Библиографический список

1. Гильмундинов В. М., Тагаева Т. О., Бокслер А. И. Анализ и прогнозирование процессов обращения с отходами в РФ. Проблемы прогнозирования. 2020. № 1 (178). С. 126-134
2. Иванов А. Н., Игнатъева М. Н., Юрак В. В. и др. Проблемы восстановления земель, нарушенных при разработке месторождений полезных ископаемых. Известия Уральского государственного горного университета. 2020. № 4 (60). С. 218-227.
3. Zalesny R. S., Pilipovic A. Growth and development of short-rotation woody crops for rural and urban applications. Forests. 2022. No 13 (6). Art. 867.
4. Капелькина Л. П. Рекультивация нарушенных земель в Кузбассе (На примере породных отвалов шахты «Нагорная»). Региональная экология. 2013. № 1-2 (34). С. 143-152.

5. Коротков В. Н., Копчик Г. Н., Смирнова И. Е. и др. Восстановление растительности на техногенных пустошах в окрестностях Мончегорска (Мурманская область, Россия). *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2019. № 4 (1). С. 1-18.

6. Арабский А. К., Башкин В. Н., Галиулин Р. В. Инновационная технология рекультивации почв, реализуемая на Тазовском полуострове (Ямало-Ненецкий автономный округ). *Безопасность Труда в Промышленности*. 2018. № 3. С. 68-72.

7. Галиулин Р. В., Кочуров Б. И. Фиторемедиация почв, загрязнённых тяжёлыми металлами. *Теоретическая и прикладная экология*. 2009. № 4. С. 71-75.

8. Тимофеева С. С., Ульрих Д. В. Технологии фиторемедиации на техногенно-повреждённых территориях в условиях Восточной Сибири и Южного Урала. *Безопасность в техносфере*. 2016. № 6. С. 16-23.

9. Ghezeheia S. B., Wright J., Zalesny R. S. [et al.]. Matching site-suitable poplars to rotation length for optimized productivity. *Forest Ecology and Management*. 2020. No 457. Art. 117670.

10. Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации до 2035 года. Волгоград: ВНИАЛМИ. 2023. 40 с.

11. Беляев А. И., Крючков С. Н., Пугачёва А. М. и др. Селекционный фонд древесно-кустарниковых видов для лесомелиоративных комплексов и озеленения в засушливых условиях (научно-методические рекомендации). Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2023. 48 с.

12. Научно-методические указания по сортовому семеноводству деревьев и кустарников для лесомелиорации аридных территорий: Научно-методические рекомендации. Волгоград: ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, 2022. 52 с.

13. Трещевская Э. И., Тихонова Е. Н., Голядкина И. В. и др. Карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.) как кустарниковая порода при биологической рекультивации техногенных ландшафтов. *Лесотехнический журнал*. 2021. № 3 (43). С. 31-44.

References

1. Gilmundinov V. M., Tagaeva T. O., Boksler A. I. Analysis and forecasting of waste management processes in the Russian Federation. *Problems of forecasting*. 2020. No 1 (178). Pp. 126-134.

2. Ivanov A. N., Ignatieva M. N., Yurak V. V. et al. Problems of restoration of lands damaged during the development of mineral deposits. *Proceedings of the Ural State Mining University*. 2020. No 4 (60). Pp. 218-227.

3. Zalesny R. S., Pilipovic A. Growth and development of short-rotation woody crops for rural and urban applications. *Forests*. 2022. No 13 (6). Art. 867.

4. Kapelkina L. P. Recultivation of disturbed lands in Kuzbass (On the example of rock dumps of the Nagornaya mine). *Regional ecology*. 2013. No 1-2 (34). Pp. 143-152.

5. Kоротков V. N., Koptsik G. N., Smirnova I. E. et al. Restoration of vegetation on man-made wastelands in the vicinity of Monchegorsk (Murmansk region, Russia). *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2019. No 4 (1). Pp. 1-18.

6. Arabskiy A. K., Bashkin V. N., Galiulin R. V. Innovative technology of soil reclamation implemented on the Taz Peninsula (Yamalo-Nenets Autonomous Okrug). *Occupational Safety in Industry*. 2018. No 3. Pp. 68-72.

7. Galiulin R. V., Kochurov B. I. Phytoremediation of soils contaminated with heavy metals. *Theoretical and applied ecology*. 2009. No 4. Pp. 71-75.

8. Timofeeva S. S., Ulrich D. V. Phytoremediation technologies in technogenically damaged territories in the conditions of Eastern Siberia and the Southern Urals. *Security in the technosphere*. 2016. No 6. Pp. 16-23.

9. Ghezeheia S. B., Wright J., Zalesny R. S. et al. Matching site-suitable poplars to rotation length for optimized productivity. *Forest Ecology and Management*. 2020. No 457. Art. 117670.

10. Strategy for the development of protective afforestation in the Russian Federation until 2035. Volgograd: VNIALMI, 2023. 40 p.

11. Belyaev A. I., Kryuchkov S. N., Pugacheva A. M. et al. Breeding stock of tree and shrub species for forest reclamation complexes and landscaping in arid conditions (scientific and methodological recommendations). Volgograd: Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, 2023. 48 p.

12. Scientific and methodological guidelines on varietal seed production of trees and shrubs for forest reclamation of arid territories: Scientific and methodological recommendations. Volgograd: Federal Research Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 2022. 52 p.

13. Treshchevskaya E. I., Tikhonova E. N., Golyadkina I. V. et al. *Caragana arborescens* Lam. as a shrub species in the biological reclamation of man-made landscapes. *Forestry Engineering Journal*. 2021. No 3 (43). Pp. 31-44.

Информация об авторах

Маслова Елена Михайловна, главный эколог, начальник Управления производственной экологии, АО «Волжский трубный завод» (АО «ВТЗ») (Российская Федерация, 404119, Волгоградская область, г. Волжский, проспект Metallургов, 6), ORCID 0009-0005-9858-3076; e-mail: elena.maslova@tmk-group.com

Скорик Наталья Андреевна, начальник Службы экологического контроля, АО «Волжский трубный завод» (АО «ВТЗ») (Российская Федерация, 404119, Волгоградская область, г. Волжский, проспект Metallургов, 6), ORCID 0009-0003-9352-2712; e-mail: natalya.skorik@tmk-group.com

Быханова Анна Владимировна, инженер, АО «Волжский трубный завод» (АО «ВТЗ») (404119, Волгоградская область, г. Волжский, проспект Metallургов, 6), ORCID 0009-0002-6391-8137; e-mail: anna.bykhanova@tmk-group.com

Тимофеева Светлана Анатольевна, руководитель группы управления производственной экологии, АО «Волжский трубный завод» (АО «ВТЗ») (Российская Федерация, 404119, Волгоградская область, г. Волжский, проспект Metallургов, 6), ORCID 0009-0004-9432-0036; e-mail: s.timofeeva@tmk-group.com

Солонкин Андрей Валерьевич доктор сельскохозяйственных наук, заведующий селекционно-семеноводческим центром, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, Волгоградская область, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), ORCID 0000-0002-1576-7824; e-mail: solonkin-a@vafanc.ru

Соломенцева Александра Сергеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, Волгоградская область, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), ORCID 0000-0002-5857-1004; e-mail: solomencevaa@vafanc.ru

Authors' Information

Maslova Elena Mikhailovna, Chief Ecologist, Head of the Industrial Ecology Department, Joint-Stock Company «Volzhsky Pipe Plant» (JSC «VPP») (Russian Federation, 404119, Volgograd Region, Volzhsky, Metallurgov Ave., 6), ORCID 0009-0005-9858-3076; e-mail: elena.maslova@tmk-group.com

Skorik Natalia Andreevna, Head of the Environmental Control Service, Joint-Stock Company «Volzhsky Pipe Plant» (JSC «VPP») (Russian Federation, 404119, Volgograd Region, Volzhsky, Metallurgov Ave., 6), ORCID 0009-0003-9352-2712; e-mail: natalya.skorik@tmk-group.com

Bykhanova Anna Vladimirovna, Environmental Protection Engineer, Joint-Stock Company «Volzhsky Pipe Plant» (JSC «VPP») (Russian Federation, 404119, Volgograd Region, Volzhsky, Metallurgov Ave., 6), ORCID 0009-0002-6391-8137; e-mail: anna.bykhanova@tmk-group.com

Timofeeva Svetlana Anatol'evna, Head of the Industrial Ecology Management Group, Joint-Stock Company «Volzhsky Pipe Plant» (JSC «VPP») (Russian Federation, 404119, Volgograd Region, Volzhsky, Metallurgov Ave., 6), ORCID 0009-0004-9432-0036; e-mail: s.timofeeva@tmk-group.com

Solonkin Andrey Valerievich, Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Breeding and Seed Breeding Center, Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), ORCID 0000-0002-1576-7824; e-mail: solonkin-a@vfanc.ru

Solomentseva Aleksandra Sergeevna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), ORCID 0000-0002-5857-1004; e-mail: alexis2425@mail.ru

**ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ /
ANIMAL SCIENCE AND VETERINARY MEDICINE**

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-37

**THE EFFECTIVENESS OF THE NEW CHICKPEA VARIETY IN THE MEAT-TYPE POULTRY
FATTENING**^{1,2}Slozhenkina M. I., ^{1,2}Gorlov I. F., ¹Khoroshevskaya L. V., ¹Mosolova N. I.,
¹Khoroshevsky A. P., ¹Tomilenko K. A.¹Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production²Volgograd State Technical University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: niimmp@mail.ru

Received 20.01.2026

Submitted 26.03.2026

*The work was carried out under the grant of RSF 25-16-00303.***Abstract**

Introduction. The article presents the results of studies on the use of complete balanced feeds for meat-type poultry on a plant-based basis, using vegetable protein, when introducing the new variety of chickpeas, Privo 11, into the diet at a rate of 5-7-10 % of the total composition of ingredients during the growth and finishing stages of broiler feeding. When 10 % of chickpea grain was added to the feed for broiler chickens, the results were the best in terms of broiler survival rate and live weight gain compared to the control group. The balance experiment conducted on the test broiler flock, which was fed rations containing 5-7-10 % of chickpeas, showed that the rations containing crushed chickpeas did not have a negative impact on the quantitative and qualitative indicators of broiler fattening. On the contrary, it was found that the rations containing chickpeas had better digestibility and assimilation rates compared to the control samples. According to the results of the experiment, the group of broilers that consumed the experimental feed with 10 % chickpea showed the best results in terms of livestock survival and live weight gain. This led to improved feed conversion, increased meat production, and reduced costs. **The purpose of the work and the object of research.** The object of research was the grain of the new zoned variety Privo 11, which has better quality characteristics in terms of nutritional value and digestibility of nutrients by animals and poultry, compared to the characteristics of earlier varieties of chickpeas. The purpose of the research was to identify the overall effect of chickpea grain in the diet on the physiological state of the experimental birds during fattening, and to determine the best dose of chickpea grain in the broiler diet at 5-7-10 % of the total feed composition, based on their impact on live weight gain and broiler survival rates. The means and methods for achieving the results of the work are the analysis of information on domestic and foreign publications and developments on the proposed topic and the search for new options for improving the quality of industrial poultry products by developing new liquid mineral-prebiotic additives based on organic natural compounds without the use of feed antibiotics. **Materials and methods.** The means and methods for achieving the results of the work are the analysis of information on domestic and foreign publications and developments on the proposed topic and the search for new options for improving the quality of feed and products of industrial poultry farming by breeding new non-alkaloid, highly nutritious and better digestible varieties of chickpeas in the zone of risky farming. **Results and conclusions.** The results obtained during the conducted studies indicate the superiority of the diets with the inclusion of the tested variety of chickpeas, Privo 11, in the fattening of broiler chickens, over the diet characterized by the same level of nutrients but without chickpeas. It was proven that the broiler diet with 10 % chickpeas in its composition had the most favorable effect on all production indicators of broilers at the end of the experiment, when compared with other doses of inclusion.

Keywords: broiler chickens feeding, broiler chicken rations, plant-based rations, protein-rich plant-based feed, new varieties of chickpeas, broiler chickens, broiler chicken immunity, chicken survival rate, broiler chicken weight gain, poultry meat yield.

Citation. Slozhenkina M. I., Gorlov I. F., Khoroshevskaya L. V., Mosolova N. I., Khoroshevsky A. P., Tomilenko K. A. The effectiveness of the new chickpea variety in the meat-type poultry fattening. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 339-348 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-37.

Authors' contribution. All authors of this study were directly involved in the development of the feed formulation, the process of monitoring the broiler fattening, and the conducted laboratory tests and studies.

Conflict of interest. All authors declared no conflicts of interest.

УДК 636.5.033.084/087

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ НОВОГО СОРТА НУТА ПРИ ОТКОРМЕ ПТИЦЫ
МЯСНОГО НАПРАВЛЕНИЯ**

^{1,2}Сложенкина М. И., доктор биологических наук, член-корреспондент РАН
^{1,2}Горлов И. Ф., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН
¹Хорошевская Л. В., доктор сельскохозяйственных наук, ведущий специалист
¹Мосолова Н. И., доктор биологических наук
¹Хорошевский А. П., кандидат ветеринарных наук
¹Томиленко К. А., лаборант-исследователь

¹ФГБНУ Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции»²ФГБОУ ВО Волгоградский ГТУ

г. Волгоград, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках гранта РНФ 25-16-00303, ГНУ НИИММП.

Актуальность. В статье приведены результаты исследований использования полнорационных сбалансированных кормов для птицы мясного направления на растительной основе с использованием растительного белка при вводе в состав рациона нута нового сорта Приво 11 в количестве 5, 7 и 10 % от общего состава ингредиентов на этапе ростового и финишного периода откорма бройлеров. При норме ввода 10 % зерна нута в состав испытываемого корма цыплятам-бройлерам были достигнуты наиболее высокие результаты по сохранности поголовья бройлеров и приросту их живой массы по сравнению с аналогичными показателями бройлеров в контрольной группе. Проведенный балансовый опыт на испытываемом поголовье бройлеров при скормливании им рационов с включением нута в 5, 7 и 10 % количестве от состава рациона показал, что рационы с включением в его состав дробленого нута не оказывают негативного влияния на формирование количественных и качественных показателей при откорме бройлеров. Наоборот, было достоверно установлено, что рационы с вводом нута имели лучшие показатели по переваримости и усвояемости опытных образцов корма. По итогам опыта наилучшие показатели по сохранности поголовья и приросту живой массы показала группа бройлеров, потреблявшая опытный образец корма с вводом в его состав 10 % нута, что привело к улучшению конверсии корма, увеличению выхода мясной продукции и снижению ее себестоимости. **Цель работы и объект исследований.** Объектом исследований служило зерно нута нового районированного сорта Приво 11, обладающее лучшими качественными характеристиками по питательности и усвояемости питательных веществ животными и птицей по сравнению с характеристиками более ранних сортов нута. Целью исследований ставилась задача выявить общее влияние зерна нута в составе рациона на физиологическое состояние опытной птицы на откорме и определить оптимальную дозу ввода зерна нута в состав рациона бройлеров при введении 5, 7 и 10 % от общего состава корма, а также оценить их влияние на прирост живой массы и сохранность поголовья бройлеров. **Материалы и методы.** Средствами и методами достижения результатов работы являются проведение анализа информации об отечественных и зарубежных публикациях и разработках по предложенной теме, а также поиск новых вариантов улучшения качества кормов и продукции промышленного птицеводства за счет выведения новых безалкалоидных, высокопитательных и лучше усваиваемых сортов нута в зоне рискованного земледелия. **Результаты и выводы.** Результаты, полученные в процессе проведенных исследований, свидетельствуют о превосходстве рационов с вводом в их состав испытываемого сорта нута Приво 11 при откорме цыплят-бройлеров над рационом, характеризующимся одинаковым уровнем питательных веществ, но не содержащим в своем составе зерна нута. Было доказано, что рацион бройлеров с 10 % вводом нута в его состав оказал наиболее благоприятное влияние на все производственные показатели бройлеров по итогам опыта при сравнении с другими дозами ввода.

Ключевые слова: кормление цыплят-бройлеров, рационы цыплят-бройлеров, растительный тип рационов, белковые растительные корма, новые сорта нута, цыплята-бройлеры, иммунитет цыплят-бройлеров, сохранность поголовья цыплят, прирост живой массы цыплят-бройлеров, выход мяса птицы.

Цитирование. Сложенкина М. И., Горлов И. Ф., Хорошевская Л. В., Мосолова Н. И., Хорошевский А. П., Томиленко К. А. Эффективность нового сорта нута при откорме птицы мясного направления. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 339-348. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-37.

Авторский вклад. Все авторы данного исследования активно участвовали в создании рецепта комбикорма, проведении эксперимента по откорму бройлеров, выполнении лабораторных анализов и научных изысканий.

Конфликт интересов. Все авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Развитие генетики и селекции позволило вывести отрасль мясного промышленного птицеводства на современном этапе на очень высокий производственный уровень, значительно повысив среднесуточные приросты бройлеров и значительно снизив

сроки откорма птицы. Однако для получения качественной мясной продукции отрасли мясного птицеводства требуются качественные сбалансированные рационы, обогащенные белком высокого качества [1, 6, 10, 11]. При этом необходимо учитывать, что из-за быстрого изменения климатических условий и роста засушливости климата становится сложнее возделывать традиционные сельскохозяйственные культуры, используемые в рационе питания бройлеров. Некоторые ученые утверждают [2, 9], что нут способен заменить сою и покрыть потребности птицеводческой отрасли в качественных источниках растительного белка, причем не только в традиционно сухих зонах Поволжья, Северного Кавказа и Урала, но также и в регионах с достаточным уровнем осадков, где раньше преобладали посевы гороха. Другие исследователи подчеркивают, что калорийность новых сортов нута сопоставима с большинством зерновых культур, а содержание лизина и витаминов зачастую превышает показатели последних [7, 10]. Многие специалисты отмечают значительный генетический потенциал нута, утверждая, что эта культура скоро станет ведущим источником альтернативных белков, обеспечивая птиц необходимыми аминокислотами, минералами и витаминами группы В [3, 5, 10, 11, 12]. Использование нута в кормопроизводстве экономически выгодно, особенно в условиях засухи, в связи с резким изменением климата и усилением засушливости все труднее выращивать ряд основных культур, из которых состоят типичные рационы бройлерной птицы [1, 3].

На сегодняшний день перспективным направлением в кормлении сельскохозяйственной птицы является использование 14 современных сортов нута, зарегистрированных в Госреестре. Сорт Приво 11 является одним из таких перспективных сортов [3, 6].

В связи с этим изучение качественных характеристик нута сорта Приво 11, эффективности его применения в кормлении животных и птиц является актуальной проблемой [7, 12].

Целью опыта являлось изучение влияния нового сорта нута Приво 11 в 5, 7, 10 % в составе рациона бройлерной птицы на прирост и развитие цыплят-бройлеров, усвояемость корма, биохимический и гематологический состав крови, выход продукции и ее качество.

Материалы и методы. Исследование базировалось на научных трудах и достижениях российских и иностранных авторов, посвященных упорядочиванию и интеграции существующих сведений по рассматриваемой тематике, а также поиску инновационных решений повышения продуктивности птицеводческой отрасли путем введения устойчивых к засухе видов зернобобовых растений в Нижнем Поволжье.

Работу проводили в 2025 г. в условиях хозяйства ООО «Обломово» Светлоярского района Волгоградской области и вивария Поволжского научно-исследовательского института производства и переработки мясомолочной продукции в период августа-октября 2025 г. на бройлерах кросса «Росс-308» с 15-суточного возраста и до принудительного убоя в возрасте 45 дней. Длительность опыта – 30 дней, содержание опытного поголовья напольное, с постоянным доступом к воде и корму. Основные технологические параметры, световой и температурно-влажностный режим, соответствовали нормам, разработанным фирмой «Авиаген» для бройлеров кросса «Росс-308». Кормление птицы было трехфазное, применялись стартовый, ростовой и финишный рационы, питательность которых соответствовала рекомендациям ВНИТИП и фирме «Авиаген», рационы рассчитывались с применением программы «КормОптимЭксперт». Готовые корма были изготовлены на базе ГНУ НИИММП (Волгоград). С суточного возраста до 14-дневного возраста все бройлеры кормились одной маркой полнорационного корма стартового периода. В возрасте 14 суток по принципу аналогов были сформированы контрольная и 3 опытные группы бройлеров по 50 голов в каждой группе. Птица контрольной группы получала стандартный основной рацион без ввода дробленого нута. I, II, III опытные группы получали рацион с той же питательностью, что и контрольная группа, но часть белковой фракции основного рациона была заменена дробленным зерном нута в 5, 7 и 10 % составе от рациона.

В период опыта велось постоянное наблюдение за физиологическим состоянием цыплят-бройлеров, еженедельный контроль прироста путем индивидуального перевешивания всего опытного поголовья в утреннее время, до кормления. Подсчитывалось количество потребленного корма и воды. С помощью физиологических, гематологических, биохимических, иммунологических и патоморфологических методов оценивали влияние изучаемых добавок на важнейшие системы и органы организма цыплят-бройлеров. Перед началом опыта, в суточном возрасте и по окончании опыта был произведен отбор крови. В возрасте 25 дней на бройлерах контрольной и опытных групп (по 3 головы от группы) в условиях лаборатории ГНУ НИИММП (Волгоград) был проведен балансовый опыт по опреде-

лению влияния рационов с включением нута в 5, 7 и 10 % составе на формирование количественных и качественных показателей по продуктивной способности бройлеров за счет улучшения показателей переваримости и усвоения компонентов корма. По окончании опыта был произведен принудительный убой испытуемого поголовья по принятым международным нормам для гуманного обращения с птицей. Патологоанатомическое вскрытие цыплят проводили согласно методам ветеринарной клинической диагностики (И. П. Кондрахин, 2004). Исследование выхода и качества мяса бройлеров, дегустационную оценку производили по действующим методикам и ГОСТ.

Оборудование и технические средства. Лабораторные исследования и опыты проводились на базе вивария ООО «Научно-внедренческий центр «Новые биотехнологии»». Содержание гематологических данных и белковой фракции в крови опытной птицы определяли в аккредитованной аналитической лаборатории ГНУ НИИММП на автоматическом гематологическом анализаторе URiT 3020 Vet Plus (Китай). Питательную ценность кормов определяли на полуавтоматическом анализаторе URiT-800 (Китай). Статистическую обработку полученных результатов и достоверность представленных данных проверяли на персональном компьютере с помощью программы «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США).

Результаты и обсуждение. Для изучения поставленной задачи по определению эффективности при использовании нового сорта нута Приво 11 была проведена сравнительная характеристика питательной ценности зерна нута при сравнении с аналогичными показателями нута более известных сортов, созданных в более ранний период (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительный состав уровня питательных веществ по сортам нута

Table 1 – Comparative composition of nutrient levels by chickpea variety

Показатели / Indicators	Сорта нута / Chickpea varieties		
	Приво11 / Privo 11	Краснокутский 36 / Krasnokutskiy 36	Золотой юбилей / Zolotoy Jubiley
Сухое вещество, % / Dry matter, %	88,5	88,3	88,4
Сырой протеин, % / Crude protein, %	29,42	28,95	29,12
Сырой жир, % / Raw fat, %	5,42	5,38	5,40
Сырая клетчатка, % / Raw fiber, %	5,30	5,32	5,31
БЭВ, % / BEV, %	44,12	44,31	44,27
Лизин, % / Lysine, %	1,77	1,74	1,72
Треонин, % / Threonine, %	1,35	1,34	1,32
Метионин, % / Methionine, %	0,58	0,57	0,56
Триптофан, % / Tryptophan, %	0,38	0,39	0,37
Витамин А, МЕ / Vitamin A, IU	1,87	1,85	1,83
Витамин Е, мг / Vitamin E, mg	9,52	9,37	9,24
Витамин В1, мг / Vitamin B1, mg	4,6	4,4	4,5
Витамин В2, мг / Vitamin B2, mg	5,53	5,61	5,48
Витамин В3, мг / Vitamin B3, mg	15,73	15,57	15,65
Витамин В4, мг / Vitamin B4, mg	9,63	9,58	9,56
Витамин В5, мг / Vitamin B5, mg	16,07	15,97	15,84
Витамин В6, мг / Vitamin B6, mg	5,45	5,48	5,51
Витамин В12, мг / Vitamin B12, mg	2,31	2,27	2,29
Калий, г / Potassium, g	9,61	9,56	9,62
Магний, г / Magnesium, g	1,27	1,25	1,28
Железо, мг / Zhelezo, mg	267,3	259,8	254,7
Марганец, мг / Manganese, mg	22,56	22,18	22,34
Цинк, мг / Zinc, mg	35,1	34,9	34,7
Медь, мг / Med, mg	8,54	8,49	8,51
Кобальт, мг / Cobalt, mg	1,02	0,98	0,97
Селен, мкг / Selene, mcg	8,75	8,64	8,72

По проведенным исследованиям видно, что питательная ценность зерна нута нового сорта Приво 11 превосходит по основным питательным веществам ранее созданные сорта нута в зоне Нижнего Поволжья. Микроэлементы и витамины необходимы для обеспечения нормального функционирования организма, регулирования обмена веществ, поддержания осмотического давления и кислотно-щелочного равновесия в жидкостях и тканях, для формирования и роста тканей, органов и организма в целом [4, 11, 12].

Проведенные детальные исследования химического состава зерна различных сортов нута подтвердили наличие в составе зерна нута многих жизненно необходимых витаминов и микроэлементов. При этом превосходство нового сорта нута над ранее известными сортами по большинству сравниваемых показателей неоспоримо.

Исследования воздействия зерна нута нового сорта на рост и развитие организма бройлеров, усваиваемость питательных веществ корма с присутствием в нем различного уровня нута организмом быстрорастущей птицы проводили по схеме (таблица 2).

Таблица 2 – Схема опыта
Table 2 – The scheme of experiment

Группы / Groups	Поголовье / Livestock	Состав рациона / The composition of the diet
Контроль / Control	50	ОП / basic ration
I опытная / experimental I	50	ОП + 5 % зерна нута в составе рациона / BR + 5 % chickpea grains in the diet
II опытная / experimental II	50	ОП + 7 % зерна нута в составе рациона / BR + 7 % chickpea grains in the diet
III опытная / experimental III	50	ОП + 10 % зерна нута в составе рациона / BR + 10 % chickpea grains in the diet

В процессе проведения опыта велось ежедневное наблюдение за физиологическим состоянием бройлеров и за соблюдением оптимальных технологических норм содержания и кормления испытуемого поголовья бройлеров. Динамику живой массы подопытных цыплят-бройлеров кросса «Росс-308» учитывали путем индивидуального взвешивания при постановке на опыт и еженедельно, утром до кормления. В возрасте 25 дней на бройлерах контрольной и опытных групп (по 3 головы от группы) в условиях лаборатории ГНУ НИИММП (Волгоград) был проведен балансовый опыт по определению влияния рационов с включением нута в 5, 7 и 10 % составе на формирование количественных и качественных показателей продуктивной способности бройлеров за счет улучшения показателей переваримости и усвоения компонентов корма. Было отобрано по три головы бройлеров от каждой группы, которых поместили в клетки с сетчатым полом и лотками для сбора помета под каждой клеткой, индивидуально для каждой группы. В течение трехдневного периода в ходе физиологического опыта проводили ежедневный индивидуальный учет количества потребленного корма, воды, остатков корма и воды и количества выделенного помета.

В кормлении промышленного птицеводства одна из главных ролей отводится витаминному и микроэлементному составу рационов, особенно птицы племенного и мясного направлений, а также усвояемости аминокислот в рационе.

По мнению ряда исследователей [5, 7, 9, 12], сбалансированный рацион по питательным и биологически активным веществам при использовании нетрадиционных белковых кормов, к которым относится и зерно нута, положительно влияет не только на удешевление рациона, но и на формирование микрофлоры кишечника на всех этапах откорма. Для изучения показателей обмена веществ в организме молодняка был проведен балансовый опыт, в ходе которого на основании химического состава проб кормов, помета и кала рассчитаны коэффициенты переваримости основных питательных веществ рациона.

Результаты исследований переваримости питательных веществ рациона с различным процентным вводом зерна нута подопытным поголовьем бройлеров кросса «Росс-308» отражены в таблице (таблица 3).

Таблица 3 – Переваримость питательных веществ испытуемого корма с вводом зерна нового сорта нута поголовьем бройлера, % (M±m)
Table 3 – Digestibility of the test feed's nutrients with the introduction of a new chickpea variety by the broiler population, % (M±m)

Показатели / Indicators	Группы / Groups			
	Контрольная / Control	I опытная / experimental I	II опытная / experimental II	III опытная / experimental III
Сухое вещество / Dry matter	66,1 ± 0,19	66,7 ± 0,17	67,1 ± 0,12*	67,4 ± 0,15*
Органическое вещество / Organic matter	73,0 ± 3,26	73,4 ± 2,82	73,8 ± 3,14	74,1 ± 2,75
Сырой протеин / Crude protein	82,47 ± 0,11	82,67 ± 0,13	83,42 ± 0,10*	83,54 ± 0,11*
Сырая клетчатка / Crude fiber	12,98 ± 0,16	13,21 ± 0,18	13,28 ± 0,21	13,29 ± 0,22
Сырой жир / Crude fat	82,21 ± 0,08	83,62 ± 0,09**	83,87 ± 0,09**	84,24 ± 0,10**
БЭВ / NDF	71,75 ± 0,23	72,23 ± 0,16	72,89 ± 0,12*	73,21 ± 0,15**

Примечание: *P < 0,05; **P < 0,01; ***P < 0,001.
Note: *P < 0,05; **P < 0,01; ***P < 0,001.

По итогам балансового опыта лучшая переваримость сухого вещества рациона с присутствием зерна нута выявлена у бройлеров III опытной группы (67,4 %), в рацион которых вводили зерно нута в количестве 10 % от состава рациона, что на 1,97 % достоверно выше показателя переваримости сухого вещества у бройлеров контрольной группы ($P < 0,05$).

Аналогично, более высокая перевариваемость основных питательных веществ рациона обнаружена у бройлеров III опытной группы. Так, по сравнению с контролем, по перевариванию и усвоению сырого протеина, бройлеры III опытной группы превосходили контрольный показатель на 1,30 % ($P < 0,05$), а превосходство над переваримостью сырого протеина цыплятами I и II опытных групп составило 0,27-1,15 %. Переваримость сырой клетчатки и БЭВ также была лучшей у цыплят-бройлеров III опытной группы относительно контроля, а также и I и II опытных групп – на 2,39-2,47 % ($P < 0,01$), 0,6-1,1 % ($P < 0,05$).

Зерно нута очень богато жирными незаменимыми кислотами, которые остро необходимы растущему организму бройлера для проведения обмена веществ и ряда окислительно-восстановительных реакций организма в процессе жизнедеятельности и выработки гормонального иммунитета. Усвояемость организмом бройлера всех опытных групп сырого жира из рационов с вводом нута была значительно выше по сравнению с контролем на 1,72; 2,02; и 2,47 % ($P < 0,01$). Полученные результаты усвояемости и доступности незаменимых аминокислот лизина, метионина, триптофана, треонина организмом цыплят-бройлеров из изучаемого рациона с вводом нута в различном процентном соотношении говорят о том, что новые безалкалоидные сорта нута безопасны для потребления птиц в кормлении (рисунок 1).

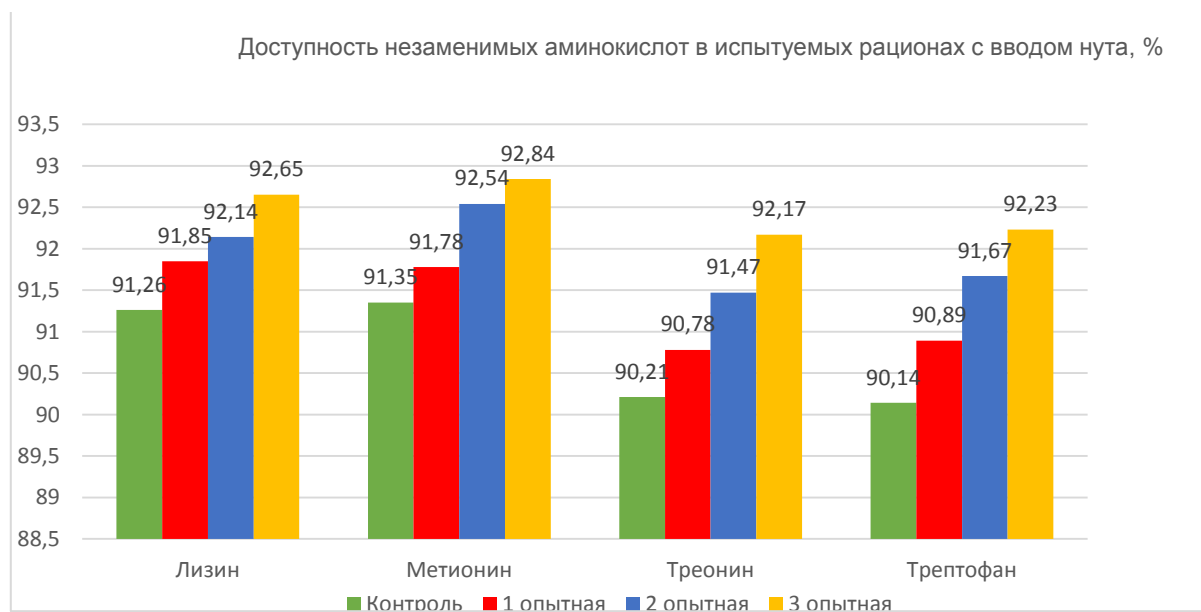


Рисунок 1 – Доступность аминокислот лизина, метионина, треонина, триптофана из испытываемых кормов с вводом нута в 5-7-10 % концентрации, %

Figure 1 – Availability of lysine, methionine, threonine, and tryptophan amino acids from the test feed with 5-7-10 % chickpea concentration, %

Основные производственные показатели опытного поголовья по итогам проведенного опыта отражены в таблице (таблица 4)

Как видно из таблицы, рационы с вводом зерна нута, обладающие хорошими питательными качествами и легкой переваримостью и усвояемостью, благотворно повлияли на среднесуточные приросты бройлеров и конверсию корма во всех опытных группах бройлеров по сравнению с аналогами контрольной группы. Живая масса бройлеров III опытной группы к моменту принудительного убоя превосходила контроль на 5,02 % ($P < 0,01$), II опытной группы – на 3,61 % ($P < 0,01$), I опытной группы – на 2,20 % ($P < 0,05$). Достоверно установлено, что цыплята-бройлеры III опытной группы, получающие рацион с вводом 10 % зерна нута, росли быстрее, чем аналоги контрольной группы, что подтверждается выводами авторов более ранних исследований по вводу зерна нута птице разных возрастов [2, 11].

Таблица 4 – Основные производственные показатели бройлеров за период опыта, n=50
Table 4 – Main production indicators of broiler during the experimental period, n=50

Показатели / Indicators	Группа / Group			
	Контроль / Control	I опытная / experimental I	II опытная / experimental II	III опытная / experimental III
Живая масса 1 головы, г / Live weight of 1 head, g в 14 суток, г / at 14 days, g	524,5 ± 9,2	523,8 ± 10,5	523,5 ± 10,1	523,7 ± 11,4
в 21 суток, г / at 21 days, g	981,4 ± 14,2	997,2 ± 15,6	1010,7 ± 17,6	1034,5 ± 16,4
в 28 суток, г / at 28 days, g	1582,7 ± 18,6	1612,4 ± 20,1	1627,5 ± 22,3*	1642,8 ± 21,5*
в 35 суток, г / at 35 days, g	2245,4 ± 26,2	2279,5 ± 27,5	2324,7 ± 26,7*	2352,5 ± 27,2**
в 42 суток, г / at 42 days, g	2951,5 ± 30,5	3012,5 ± 31,2*	3032,7 ± 32,4*	3067,2 ± 32,7**
в 45 суток, при убое, г / 45 days before slaughter, g	3225,5 ± 35,8	3296,7 ± 34,8*	3341,5 ± 35,7**	3387,5 ± 36,5**
Среднесуточный прирост, г / Average daily increase, g	70,79 ± 0,02	72,37 ± 0,02	73,37 ± 0,02	74,39 ± 0,02
Конверсия корма, ед. / Feed conversion, unit	1,57	1,56	1,55	1,54
Сохранность поголовья, % / Livestock safety, %	95,4	96,0	96,5	96,7
ИПБ / IPB	430,15	445,35	456,79	467,11

Примечание: *P < 0,05; **P < 0,01; ***P < 0,001/ Note: *P < 0,05; **P < 0,01; ***P < 0,001.

Note: *P < 0,05; **P < 0,01; ***P < 0,001/ Note: *P < 0,05; **P < 0,01; ***P < 0,001.

Сохранность поголовья бройлеров во всех опытных группах по итогам опыта превосходила сохранность поголовья птицы контрольной группы на 0,6; 1,1 и 1,6 %. Конверсия корма бройлеров I-III опытных групп также значительно ниже конверсии корма контрольной группы.

Индекс производственной продуктивности, основанной на всех основных показателях откорма бройлеров, был значительно выше контроля во всех испытуемых группах: на 3,53; 6,19 и 8,6 % относительно контроля.

Результаты по определению микробиологического анализа содержимого слепых отростков цыплят-бройлеров I, II, III опытных групп и контроля, проведенные на базе лаборатории института при принудительном убое и вскрытии трех голов бройлера от каждой группы, показали, что под влиянием зерна нута пищеварительные процессы в организме протекали быстрее за счет более быстрого размножения и роста колоний лактобактерий и других колоний, участвующих в расщеплении питательных веществ рациона до простых цепочек, переносимых кровью и лимфой до тканей и органов организма бройлера для питания тканей и построения новых клеток организма, что сочетается с ранее полученными результатами откорма и лабораторными исследованиями.

Результаты исследования содержимого слепых отростков тонкого отдела кишечника представлены в таблице (таблица 4).

Таблица 5 – Показатели микробиологического анализа содержимого слепых отростков цыплят-бройлеров по окончании опыта, n = 3

Table 5 – Indicators of microbiological analysis of the contents of the blind appendages of broiler chickens at the end of the experiment, n=3

Показатели / Indicators	Группа / Group			
	Контроль / Control	I опытная / experimental I	II опытная / experimental II	III опытная / experimental III
ОМЧ, КОЕ/г / OHMS, CFU/g	8,32×10 ¹¹	8,96×10 ¹¹	9,15×10 ¹¹	9,28×10 ¹¹
Лактобактерии, КОЕ/г / Lactobacilli, CFU/g	8,27×10 ¹⁰	8,95×10 ¹⁰	9,37×10 ¹⁰	9,48×10 ¹⁰
Энтеробактерии, КОЕ/г / Enterobacteria, CFU/g	2,62×10 ⁷	2,55×10 ⁷	2,50×10 ⁷	2,49×10 ⁷
Стафилококки, КОЕ/г / Staphylococci, CFU/g	4,79×10 ⁷	4,18×10 ⁷	4,09×10 ⁷	4,04×10 ⁷

В результате проведенных исследований было установлено, что количество лактобактерий в I, II и III опытных группах возросло относительно контроля на 8,22; 9,98 и 11,54 %. Установлено снижение концентрации патогенной и нежелательной микрофлоры.

Наибольшее сокращение патогенной и нежелательной микрофлоры наблюдалось в слепых отростках бройлеров III опытной группы, потреблявших корм с вводом в его состав 10 % зерна нута; по сравнению с контролем снижение составило 18,56 % ($P < 0,01$). При этом снижение концентрации патогенной и нежелательной микрофлоры в I и II группах по сравнению с контролем составило 14,59 ($P < 0,01$) и 17,1 % ($P < 0,01$) соответственно.

Скармливание цыплятам-бройлерам испытываемых кормов с вводом зерна нута в 5, 7 и 10 % от состава рациона однозначно повлияло не только на скорость роста, но и на качество полученной мясной продукции, полученной после проведения вынужденного контрольного убоя по 5 голов бройлера из каждой опытной группы и контроля. Результаты, полученные от контрольного убоя бройлеров по убойному выходу продукции и качеству тушек, отражены на рисунке (рисунок 2).

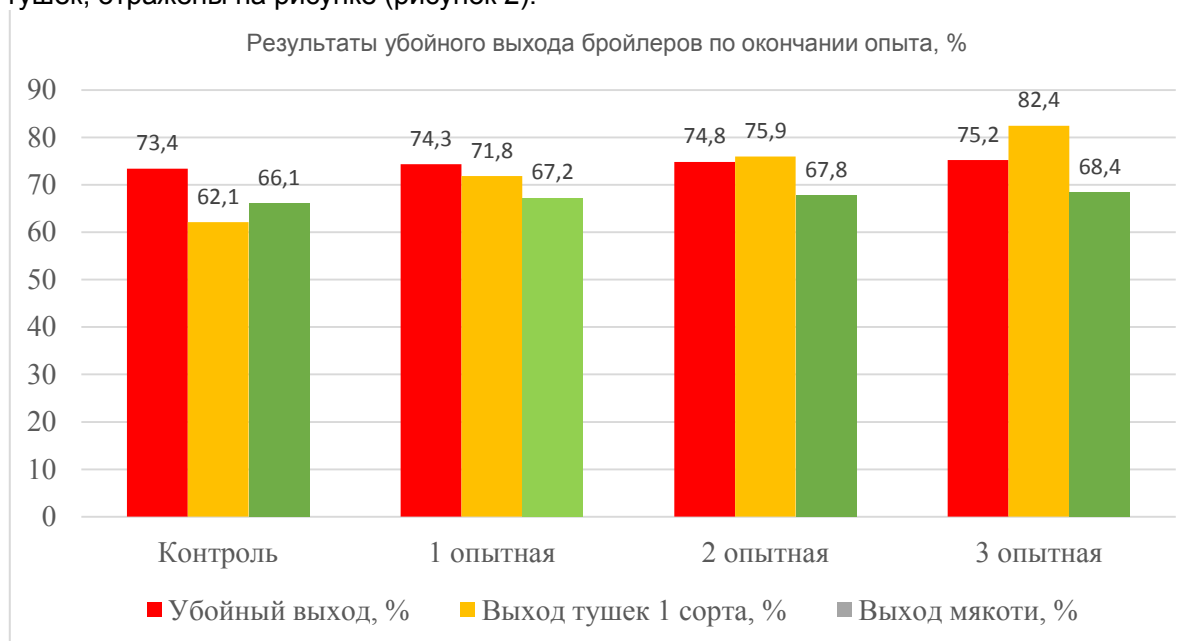


Рисунок 2 – Результаты выхода продукции при убое бройлеров при окончании опыта, $n = 5$
Figure 2 – Results of the yield of broiler slaughter at the end of the experiment, $n = 5$

Заключение. На основании анализа химического состава нового исследуемого сорта нута сорта Приво 11, производственных результатов по откорму бройлеров полнорационными кормами с вводом зерна нута испытываемого сорта в размере 5, 7 и 10 % от состава рациона, микробиологических исследований микробного состава тонкого отдела кишечника бройлера, результатов вынужденного убоя и определения качества выхода мясной продукции, было установлено, что испытываемый сорт нута оказал самое благоприятное влияние на рост при откорме цыплят-бройлеров, усвояемость и перевариваемость нового рациона, выход продукции более высокого качества и большего объема. Негативное влияние на рост цыплят-бройлеров и сохранность поголовья при испытании сорта нута не выявлено. Было доказано, что ввод нута в рацион бройлеров в размере 10 % от состава рациона показал самые высокие показатели по всем изучаемым параметрам откорма и убоя, что рекомендовано для внедрения в промышленное производство мяса бройлера в широком масштабе.

Conclusion. Based on the analysis of the chemical composition of the new studied chickpea variety Privo 11, the production results for fattening broilers with full-fledged feeds, the introduction of chickpea grains of the tested variety in the amount of 5, 7, 10 % of the diet, microbiological studies of the microbial composition of the small intestine of the broiler, the results of forced slaughter and determination of the quality of meat yield, it was found that the tested chickpea variety had the most beneficial effect on the growth of fattening broiler chickens, the digestibility and digestibility of the new diet, and the yield of higher-quality and larger products. No negative effect on the growth of broiler chickens and the survival rate of the flock was observed during the testing of the chickpea variety. It was proven that the inclusion of chickpea in the broiler chicken diet at a rate of 10 % of the total diet resulted in the highest performance in all studied parameters of feeding and slaughter, which is recommended for widespread implementation in the industrial production of broiler meat.

Библиографический список

1. Бобылева Г. А. Отечественное птицеводство – крупнейший потребитель комбикормов: импортозамещение в действии. Безопасные и качественные комбикорма как гарантия эффективного развития отраслей животноводства: материалы XVI Междунар. конф. «Комбикорма-2022». М., 2022. С. 172-175.
2. Горлов И. Ф. и др. Зерно сорго и нута в комбикормах для несушек. Животноводство России. 2024. № 4. С. 13-16.
3. Егоров И. А. Использование нетрадиционных кормов и кормовых добавок в современных реалиях птицеводческой отрасли. Безопасные и качественные комбикорма как гарантия эффективного развития отраслей животноводства: материалы XVI Международной конференции. Комбикорма-2022. 2022.
4. Зарудный В. А., Бардаш В. В. Использование нетрадиционных кормов в кормлении птицы. Эффективное животноводство. 2024. № 3 (193). С. 92-95.
5. Даниленко И. Ю. и др. Использование альтернативных кормовых продуктов в птицеводстве. Вестник Алтайского ГАУ. 2022. № 4 (210). С. 72-76.
6. Мещеряков А. Г., Шахов В. А., Королев В. Л., Доценко В. А. Сравнительная оценка питательности зерна гороха и нута в условиях засухи. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2024. № 5. С. 180-183.
7. Морозков Н. А., Суханова Е. В., Кайгородов Р. В., Жданова И. Н., Терентьева Л. С. Эффективность использования фитодобавки из астрагала нутового в рационах кур-несушек. Аграрная наука Евро – Северо-Востока. 2024. № 4. С. 664-673.
8. Муравьев А. А., Муравьева И. С. Урожайность нута в зависимости от агротехнических приемов. Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2023. № 1 (37). С. 72-78.
9. Погосян Д. Г., Шалов М. А. Использование нетрадиционных белковых кормов при откорме утят – бройлеров. Нива Поволжья. 2022. № 2 (62). С. 2001
10. Реджепгульев М., Сапарглыджова А., Мередова С., Джумаева Ш. Кормовые добавки для животных. Инновационная наука. 2024. № 10-1. С. 66-68.
11. Седова Ю. Г., Двойных А. Наша задача - обеспечить население качественной и доступной продукцией. Аграрная наука. 2025. № 1. С. 12-13.
12. Сложенкина М. И., Мосолов А. А., Струк А. Н., Сейдави Алиреза, Княжеченко О. А., Громова А. О. Результаты применения современных кормовых средств в животноводстве и птицеводстве. Аграрно-пищевые инновации. 2023. Т. 24. № 4. С. 42-57.

References

1. Bobyleva G. A. Domestic Poultry Farming is the Largest Consumer of Compound Feeds: Import Substitution in Action. Safe and High-Quality Compound Feeds as a Guarantee of Efficient Development of Livestock Industries: Materials of the 16th International Conference. "Compound Feeds-2022". Moscow, 2022. Pp. 172-175.
2. Gorlov I. F. et al. Sorghum and chickpea grain in compound feed for layers. Animal Husbandry of Russia. 2024. No. 4. Pp. 13-16.
3. Egorov I. A. Use of non-traditional feed and feed additives in the modern realities of the poultry industry. Safe and high-quality compound feed as a guarantee of effective development of livestock industries: Materials of the XVI International Conference. Compound Feeds-2022. 2022.
4. Zarudny V. A., Bardash V. V. Use of non-traditional feeds in poultry feeding. Effective animal husbandry. 2024. No. 3 (193). Pp. 92-95.
5. Danilenko I. Yu. et al. Use of alternative feed products in poultry farming. Altaysk State Agrarian University Bulletin. 2022. No. 4 (210). Pp. 72-76.
6. Meshcheryakov A. G., Shakhov V. A., Korolev V. L., Dotsenko V. A. Comparative assessment of the nutritional value of pea and chickpea grain under drought conditions. Bulletin of the Orenburg State Agrarian University. 2024. No. 5. Pp. 180-183.
7. Morozkov N. A., Sukhanova E. V., Kaigorodov R. V., Zhdanova I. N., Terentyeva L. S. Efficiency of using phytoadditive from Astragalus chickpea in the diets of laying hens. Agricultural Science of the Euro-North-East. 2024. No. 4. Pp. 664-673.
8. Muravyov A. A., Muravyova I. S. Chickpea yield depending on agricultural practices. Innovations in the agro-industrial complex: problems and prospects. 2023. No. 1 (37). Pp. 72-78.
9. Pogosyan D. G., Shalov M. A. Use of non-traditional protein feed in fattening broiler ducklings. Niva Povolzhya. 2022. No. 2 (62). Art. 2001
10. Redzhepgulyev M., Saparglydzhova A., Meredova S., Dzhumayeva Sh. Feed additives for animals. Innovative Science. 2024. No. 10-1. Pp. 66-68.
11. Sedova Yu. G., Dvoynikh A. Our task is to provide the population with high-quality and affordable products. Agrarian Science. 2025. No. 1. Pp. 12-13.
12. Slozhenkina M. I., Mosolov A. A., Struk A. N., Seydavi Alireza, Knyazhechenko O. A., Gromova A. O. Results of the use of modern feed in livestock and poultry farming. Agrarian and food innovations. 2023. V. 24. No. 4. Pp. 42-57.

Информация об авторах

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); профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), ORCID: 0000-0001-9542-5893, e-mail: niimmp@mail.ru

Горлов Иван Федорович, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, научный руководитель, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26), ORCID: 0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru

Хорошевская Людмила Викторовна, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий специалист, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID: 0009-0007-6693-9714, e-mail: niimmp@mail.ru

Мосолова Наталья Ивановна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID: 0000-0001-9542-5893, e-mail: niimmp@mail.ru

Хорошевский Алексей Петрович, кандидат ветеринарных наук, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID: 0009-0003-5461-5801, e-mail: niimmp@mail.ru

Томиленко Ксения Андреевна, лаборант-исследователь, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID: 0009-0000-0960-5610, e-mail: niimmp@mail.ru

Authors' Information

Slozhenkina Marina Ivanovna, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Director, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), Professor of the Department, 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 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), Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, University Ave., 26), ORCID: 0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru

Khoroshevskaya Lyudmila Viktorovna, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Specialist, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), ORCID: 0009-0007-6693-9714, e-mail: niimmp@mail.ru

Mosolova Natalya Ivanovna, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), ORCID: 0000-0001-9542-5893, e-mail: niimmp@mail.ru

Khoroshevsky Aleksey Petrovich, Candidate of Veterinary Sciences, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), ORCID: 0009-0003-5461-5801, e-mail: niimmp@mail.ru

Tomilenko Ksenia Andreevna, Laboratory Researcher, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), ORCID: 0009-0000-0960-5610, e-mail: niimmp@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-38

THE USE OF THE PLANT RAW MATERIALS IN FEED FOR THE AUSTRALIAN REDCLAW CRAYFISH (THE REVIEW)

^{1,2}Pakhomov V. I., ^{1,2}Braginets S. V., ¹Bakhchevnikov O. N., ²Kokhanov Y. B.

¹Agricultural Research Centre Donskoy
Zernograd, Rostov Region, Russian Federation

²Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russian Federation

Corresponding author: oleg-b@list.ru

Received 26.12.2025

Submitted 10.03.2026

Summary

The article presents the results of a review of studies on replacing animal components in feed for Australian red claw crayfish with inexpensive plant-based raw materials. A systematic search and critical analysis of scientific literature showed that it is possible to partially and effectively replace fish meal and fish oil in crayfish feed with plant-based raw materials.

Abstract

Introduction. The main obstacle to the profitable farming of Australian red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in Russia is the high cost of traditional compound feed, due to the pre-dominance of expensive fish meal and fish oil in its composition. The aim of the study is to summarize and analyze scientific information from articles on the composition, use and effectiveness of feed containing plant raw materials for farmed Australian red claw crayfish. **Object.** The object of the study is feed for Australian red claw crayfish based on plant raw materials. **Materials and Methods.** The methodology included a targeted search of scientific publications (2010-2025), selection of sources following the PRISMA-ScR protocol, and critical analysis of the data obtained. **Results and Discussion.** It has been established that the omnivorous nature of crayfish allows expensive animal-based components to be effectively replaced with more affordable plant-based alternatives. Partial (up to 50 %) replacement of fishmeal with plant protein concentrates, such as soybean and cottonseed meal, and in the future sunflower meal, is the most successful strategy. Complete replacement of fish meal often leads to reduced growth and physiological stress due to anti-nutritional factors and amino acid imbalance. Vegetable oils, in particular soybean and sunflower, can completely replace fish oil when their content in feed is 8-10 %. Carbohydrate-rich components (sorghum grain) and alfalfa grass meal have a positive effect on the growth and physiological condition of crayfish. The gradual introduction of plant components into the diet is recommended for juvenile crayfish. **Conclusion.** It was concluded that the crea-

tion of balanced formulations based on local plant raw materials is a strategic imperative for the production of cost-effective and biologically complete feeds that ensure the sustainable development of redclaw crayfish aquaculture.

Keywords: Australian red-clawed crayfish, feeding Australian crayfish, crayfish weight gain, feed protein, and plant-based feed.

Citation. Pakhomov V. I., Braginets S. V., Bakhchevnikov O. N., Kokhanov Y. B. The use of the plant raw materials in feed for the Australian redclaw crayfish (the review). *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 348-366 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-38.

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 636.085.1:639.517

ПРИМЕНЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В СОСТАВЕ КОРМОВ ДЛЯ АВСТРАЛИЙСКОГО КРАСНОКЛЕШНЕВОГО РАКА (ОБЗОР)

^{1,2}Пахомов В. И., член-корреспондент РАН, доктор технических наук, директор

^{1,2}Брагинец С. В., доктор технических наук, ведущий научный сотрудник

¹Бахчевников О. Н., кандидат технических наук, старший научный сотрудник

²Коханов Ю. Б., старший преподаватель

¹Аграрный научный центр «Донской»

г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация

²Донской государственный технический университет

г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Актуальность. Для рентабельного выращивания австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*) в России основным препятствием является высокая стоимость традиционных комбикормов, обусловленная преобладанием в их составе до-рогостоящей рыбной муки и рыбьего жира. Цель исследования – обобщение и анализ научной информации из статей, посвященных составу, применению и эффективности включающих растительное сырье кормов для выращиваемого в аквакультуре австралийского красноклешневого рака. **Объект.** Объектом исследования являются корма для австралийского красноклешневого рака на основе растительного сырья. **Материалы и методы.** Методика включала целенаправленный поиск публикаций за 2010-2025 гг. в научных базах данных, их отбор согласно протоколу PRISMA-ScR и критический анализ полученных данных. **Результаты и обсуждение.** Установлено, что всеядная природа рака позволяет эффективно заменять дорогостоящие компоненты животного происхождения на более доступные растительные аналоги. Наиболее успешной стратегией является частичная (до 50 %) замена рыбной муки растительными белковыми концентратами, такими как соевый и хлопковый шрот, а в перспективе и подсолнечный. Полная замена рыбной муки часто ведет к снижению роста и физиологическому стрессу из-за антипитательных факторов и дисбаланса аминокислот. Растительные масла, в частности соевое и подсолнечное, могут полностью заменить рыбий жир при их содержании в корме на уровне 8-10 %. Кроме того, богатые углеводами компоненты (зерно сорго) и травяная мука из люцерны положительно влияют на рост и физиологическое состояние раков. Для молоди рака рекомендуется постепенное введение растительных компонентов в рацион. **Выводы.** Сделан вывод, что разработка сбалансированных рецептур на основе местного растительного сырья является стратегической необходимостью для создания экономически эффективных и биологически полноценных кормов, обеспечивающих устойчивое развитие аквакультуры красноклешневого рака.

Ключевые слова: австралийский красноклешневый рак, кормление австралийского рака, прирост массы рака, кормовой протеин, растительные корма.

Цитирование. Пахомов В. И., Брагинец С. В., Бахчевников О. Н., Коханов Ю. Б. Применение растительного сырья в составе кормов для австралийского красноклешневого рака (обзор). *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 348-366. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-38.

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. Австралийский красноклешневый рак (*Cherax quadricarinatus* Von Martens, 1868) – это новый перспективный объект для аквакультуры России [1]. В нашей стране его разведение и изучение как объекта аквакультуры началось в Астраханской области в 2008 г. [2]. По сравнению с традиционно выращиваемыми в нашей стране речными раками он обладает более высокими темпами роста, большей товарной массой и лучшим качеством мяса [1, 3].

Но развитие товарного производства австралийского красноклешневого рака в условиях России сдерживает невозможность зимовки этого теплолюбивого тропического вида в открытых прудах даже в южных регионах [4]. Поэтому стратегия его выращивания в нашей стране состоит в содержании производителей в УЗВ и получении от них потомства [5], которое после подращивания с наступлением теплого времени года выпускается в пруды, где и выращивается до товарных кондиций [6].

По мнению российских ученых, для южных районов нашей страны рентабельным является только комбинированный способ выращивания красноклешневого рака: в зимний период – получение молоди и ее подращивание в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ), в летний – выращивание товарного рака в прудах [1, 3]. Это обусловлено тем, что будучи всеядным и обладая широким пищевым спектром, австралийский рак активно использует кормовую базу прудов, а именно детрит, включая остатки водных растений, личинки насекомых и моллюсков [7, 8]. Результаты исследований показывают, что естественной кормовой базы, как правило, достаточно для выживания и активного роста раков в летний период [6, 7, 9].

Но при содержании австралийского красноклешневого рака в УЗВ проблемой является отсутствие в России специализированных комбикормов для него, выпускаемых промышленно и разработанных с учетом его физиологии [1]. По этой причине предприятия аквакультуры часто вынуждены использовать для этих целей коммерческие корма, предназначенные для других гидробионтов, таких как осетровые рыбы или креветки, что нерационально по экономическим и зоотехническим причинам [10, 11]. Поэтому необходимы исследования по созданию специализированных кормов для австралийского рака. Основной причиной для проведения этих исследований является необходимость снижения зависимости от дорогостоящей и не всегда доступной рыбной муки, а также адаптация рационов к всеядной природе этого вида раков.

При разработке рецептов комбикорма для красноклешневого рака большую сложность представляет поиск недорогого сырья богатого белком [12]. Дело в том, что корм для взрослых особей этого рака при выращивании в УЗВ должен содержать не менее 35 % протеина, а для молоди – 40-45 % [1, 10, 13]. Обеспечение такого содержания протеина в корме за счет только рыбной или крилевого муки делает его очень дорогостоящим. В то же время результаты исследований питания австралийского рака в естественных условиях показали, что основную часть его рациона составляет растительная пища [14]. Л. В. Воробьева установила, что при содержании в пруду в Астраханской области основу рациона красноклешневого рака составили различные растительные остатки и водоросли (77,8 %), а основным источником протеина служили насекомые и их личинки (10-14 %) [7].

В природе красноклешневые раки получают необходимые им жиры из животной пищи [7]. В аквакультуре традиционно в качестве основного источника липидов в кормах использовали рыбий жир. Но из-за его высокой и нестабильной стоимости в кормах для аквакультуры находят все более широкое применение растительные масла, такие как подсолнечное и соевое [14].

Таким образом, всеядность австралийского красноклешневого рака и его природная способность активно усваивать части зеленых растений и растительные остатки делает возможным создание комбикормов, рецептура которых в основном состоит из недорогого и доступного растительного сырья, являющегося частичной или полной заменой рыбной муки, традиционно служащей основным источником белка в аквакормах.

Все вышеизложенное обусловило необходимость выполнения обзора опубликованных в последние годы результатов научных исследований, посвященных составлению, приготовлению и применению кормов, включающих растительное сырье, для австралийского красноклешневого рака, выращиваемого в условиях интенсивной и полунтенсивной аквакультуры.

Цель исследования – обобщение и анализ научной информации из статей, посвященных составу, применению и эффективности включающих растительное сырье кормов для выращиваемого в аквакультуре австралийского красноклешневого рака.

Объектом исследования являются корма для австралийского красноклешневого рака на основе растительного сырья.

Материалы и методы. Работа над данным обзором включала несколько последовательных этапов: целенаправленный поиск и подбор релевантных публикаций, извлечение необходимых данных из выбранных источников, их упорядочивание, критический разбор и обобщение выявленных закономерностей [15, 16].

Поиск научных публикаций осуществлялся в престижных библиографических базах данных, таких как Google Scholar, eLIBRARY и ScienceDirect, а также на ресурсах ведущих издательств, включая MDPI, Wiley и Springer Link. В качестве объектов отбора рассматривались следующие виды научных материалов: оригинальные исследовательские работы (Article), обзорные статьи (Review), синтезирующие обзоры (Overview) и главы из монографий (Chapter). Формулировки запросов к базам данных основывались на ключевых терминах и их комбинациях на русском и английском языках, что способствовало повышению точности результатов и сужению фокуса поиска.

Процесс обзора предметного поля и выбора статей для последующего анализа был осуществлен согласно пошаговому алгоритму, разработанному по протоколу PRISMA-ScR [17]. Анализ отобранных научных статей был выполнен по методике W. Mengist [18], что гарантировало объективность и последовательность исследования.

Ключевыми критериями для включения публикаций в обзор служили их соответствие тематике исследования и научная значимость, которая оценивалась по количеству цитирований. Приоритет отдавался работам с наибольшим индексом цитируемости. Исключение составляли недавние публикации, которые еще не успели накопить достаточное количество цитирований. Для максимального охвата предметной области дополнительно проводился анализ библиографических списков уже отобранных статей, что позволило выявить другие ценные источники.

Основной временной охват обзора составил период с 2010 по 2025 год. Тем не менее в анализ были включены и некоторые значимые работы, опубликованные до 2010 года. Это было сделано в тех случаях, когда более современные исследования по отдельным аспектам рассматриваемой темы отсутствовали или были недостаточно полно представлены в научной литературе.

Таким образом, примененный комплексный подход к поиску, отбору и анализу научной литературы позволил сформировать всестороннее представление о текущем состоянии изучаемой проблемы, а также определить ключевые тенденции и перспективные направления для будущих исследований в данном предметном поле.

Результаты и обсуждение. *Требования к кормам для австралийского красноклешневого рака.* Особенность питания австралийского красноклешневого рака состоит в том, что, хотя основу его рациона в естественных условиях и составляет растительная пища (макрофиты и их остатки), но велика и роль животных источников белка, таких как насекомые и моллюски [7, 19]. Связано это с необходимостью обеспечить очень высокие темпы роста молоди этого вида рака. Особи красноклешневого рака достигают товарного размера всего за 6-8 месяцев с момента выхода из икры [1], что требует обильного питания с высоким содержанием белка [20]. Уровень протеина в рационе раков является критическим фактором, влияющим на их рост и развитие, при этом оптимальные значения варьируются в зависимости от стадии жизненного цикла.

В различных исследованиях приводятся различные величины оптимального содержания протеина в кормах для красноклешневого рака. В целом можно сделать вывод, что для взрослых раков, содержащихся в прудах, достаточно 25 % белка [10]. Для взрослых раков, выращиваемых в УЗВ, необходимо 30-35 % протеина [1], для родительского стада – 35-40 %, а для молоди – 40-45 % [13, 21, 22]. Корма с содержанием белка ниже 35 % не рекомендованы для интенсивного выращивания, так как это напрямую влияет на скорость роста и относительное содержание белка в мышцах раков [23].

Содержание липидов в рационе австралийского рака имеет большое значение для его продуктивности, так как раки имеют ограниченную способность синтезировать необходимые им полиненасыщенные жирные кислоты [2, 7]. По общепринятому мнению, содержание липидов должно составлять 6-10 % от массы корма для взрослых раков [23] и 9-10 % для молоди [24].

Углеводы растительного происхождения могут составлять значительную часть рациона красноклешневого рака [7]. Витамины и минералы являются незаменимыми элементами, необходимыми для оптимального роста и выживания красноклешневого рака.

По мнению I. Saoud, в целом корм для взрослых раков в УЗВ должен содержать 30-45 % протеина, 5-8 % жира, 20-40 % углеводов и витаминно-минеральный премикс [14].

Следует отметить, что, так как красноклешневой рак находит основную часть пищи на дне водоемов, то гранулированный или экструдированный комбикорм для него следует производить в форме тонущих водостойких гранул [10].

Требования к содержанию питательных веществ в кормах для красноклещевого рака обобщены в таблице 1.

Таблица 1 – Требования к содержанию питательных веществ в кормах для австралийского красноклещевого рака

Table 1 – Nutrient requirements in feeds for Australian redclaw crayfish

Стадия развития / Development stage	Протеин, % / Protein, %	Липиды, % / Lipids, %	Углеводы, % / Carbohydrates, %	Дополнительные рекомендации / Additional recommendations	Источники данных / Data sources
Молодь / Juveniles	40-45	9-10	20-30	Постепенное введение растительных компонентов в рацион; добавление аминокислот (лизин, метионин) / Gradual introduction of plant components; addition of amino acids (lysine, methionine)	[13, 21, 22, 24]
Взрослые в УЗВ / Adults in RAS	30-35	6-10	20-40	Витаминно-минеральный премикс; растительные масла (8-10 %) / Vitamin-mineral premix; vegetable oils (8-10 %)	[1, 10, 14, 23]
Взрослые в прудах / Adults in ponds	25-30	5-8	30-40	Использование естественной кормовой базы; добавление сена люцерны в рацион / Use of natural feed base; addition of alfalfa hay	[10, 14]
Родительское стадо / Broodstock	35-40	8-10	20-30	Баланс жирных кислот; избегать антипитательных факторов / Balance of fatty acids; avoid antinutritional factors	[1, 13]

Применение растительного сырья в составе кормов для австралийского красноклещевого рака. Значительный объем исследований был посвящен выявлению и сравнению пригодности различных источников растительного белка в качестве замены рыбной муки в рационах красноклещевых раков. В этих исследованиях оценивалось не только влияние на рост, но и более широкое воздействие на здоровье, усвояемость и физиологический статус. Основная задача состоит в том, чтобы сбалансировать питательную ценность корма и одновременно снизить негативное воздействие антипитательных факторов, зачастую содержащихся в растительных ингредиентах. Исследователи систематически тестируют отдельные растительные корма и их комбинации, чтобы определить наиболее эффективные составы для молоди и взрослых раков.

Основными видами растительного сырья, включаемого в состав кормов для австралийского рака, являются различные шроты, продукты и отходы переработки зерна (глютен, барда), а также части зеленых растений и продукты их переработки, в частности мука из люцерны и пророщенное зерно.

Анализ научных данных за последние годы позволяет сделать вывод о том, что не все растительные компоненты одинаково эффективны в рационах для австралийского рака. Некоторые виды растительного сырья демонстрируют высокую переносимость и положительное влияние на рост, в то время как другие могут вызывать серьезные негативные реакции, включая повреждение органов и снижение производственных показателей.

Наибольшее число исследований посвящено эффективности включения в состав корма для раков различных видов шрота, в основном соевого, как недорогого источника протеина.

A. Garza de Yta и его коллеги сравнили рационы кормов на основе соевого шрота с их рецептурами на основе рыбной муки и показали, что индикаторы роста и состав тканей раков в обеих группах были схожими, при этом рационы с соевым шротом продемонстрировали высокую усвояемость как белков, так и углеводов [25]. Эти ученые установили, что замена в рационе красноклещевых раков 50 % рыбной муки на соевый шрот привела к улучшению показателей роста и оказалась более экономически эффективной.

Z. Jiang провел эксперимент, в ходе которого рыбную муку в рационе рака заменяли на 50, 75 и 100 % соевым и хлопковым шротом или их смесью [26]. Положительный результат, заключающийся в отсутствии существенных различий в скорости роста и наборе массы с контрольной группой, получавшей корм со 100 % рыбной муки, был получен лишь в опытных группах с 50 % замещением рыбной муки шротом. У опытных групп, получавших корм с 75 и 100 % шрота, показатели роста и набора массы были хуже, чем в контрольной группе. Диета со 100 % заменой рыбной муки шротом привела к значительно более низким значениям прироста массы и удельную скорость роста, а также активности трипсина и пеп-

сина по сравнению с контрольной диетой. У раков из этой группы наблюдалось повышение активности антиоксидантных ферментов (маркеров повреждения печени АЛТ и АСТ), а также рост содержания малонового диальдегида – показателя окислительного стресса. Эти результаты показывают, что снижение роста при полном замещении рыбной муки шротом обусловлено прямым физиологическим стрессом, вызванным антипитательными факторами, содержащимися в этом растительном сырье.

В отличие от предыдущего, исследование О. Т. Eroldogan не выявило значительных различий с контролем в темпе роста и набора массы, коэффициенте конверсии корма, выживаемости и количестве линек, в группе раков, в диете которых рыбная мука была полностью заменена растительной смесью (34,5 % соевого шрота + 34,5 % кукурузного глютенa) [27]. Исследование этого автора показало и возможность эффективного включения в корм для раков хлопкового шрота, не оказывающего негативного влияния на их рост.

D. Qian сравнил эффективность четырех рационов для молоди австралийского рака, в которых половина рыбной муки в рационе была заменена разными видами шрота – хлопковый, соевый, рапсовый и арахисовый [28]. Он установил, что на выживаемость и состав туши включение в рацион соевого и хлопкового шрота не оказали значительного влияния по сравнению с контролем. При этом прирост массы и удельная скорость роста значительно снизились у раков, которых кормили рационом с арахисовым шротом. У раков, получавших рацион с рапсовым шротом, также наблюдалось повреждение кишечника. D. Qian сделал вывод, что рапсовый и арахисовый шрот не являются подходящими заменителями рыбной муки в качестве источников растительного белка из-за их неблагоприятного воздействия на организм раков.

M. L. Gutierrez и E. M. Rodriguez сравнили эффективность рационов для молоди рака с заменой рыбной муки соевым шротом от 25 до 100 % [29]. Наилучший прирост массы был достигнут у особей, получавших корм с 50 % растительного белка. Для групп с 25 и 75 % замены этот показатель был хуже, а для случая 100 % замены – значительно хуже, при этом увеличилась смертность.

Прямое противоречие между исследованиями относительно возможности частичной и полной замены рыбной муки различными шротами подчеркивает критический нюанс в составлении рецептов кормов. Это расхождение указывает на то, что успех полной или частичной замены рыбной муки зависит не только от типа растительного ингредиента, но и в значительной степени от точной рецептуры корма и, возможно, от стадии развития раков, что требует тщательной оптимизации рецептов по аминокислотному профилю и содержанию антипитательных веществ, выходящей за рамки простой замены ингредиентов.

В таблице 2 обобщены результаты экспериментов по замене рыбной муки в корме для красноклешневых раков различными видами шротов.

Таблица 2 – Результаты экспериментов по замене рыбной муки в корме для австралийских красноклешневых раков различными видами шротов
Table 2 – Experimental results on replacement of fish meal in feeds for Australian redclaw crayfish with various oilseed meals

Исследование (автор, год) / Study (author, year)	Уровень замены рыбной муки, % / Fish meal replacement level, %	Вид растительного сырья / Type of plant material	Влияние на рост и набор массы / Effect on growth and weight gain	Физиологические эффекты / Physiological effects	Выводы / Conclusions
1	2	3	4	5	6
Garza de Yta et al., 2012 [25]	50	Соевый шрот / Soybean meal	Улучшение роста; схожий с контролем / Improved growth, similar to control	Высокая усвояемость белков и углеводов / High digestibility of proteins and carbohydrates	Экономически эффективен для частичной замены / Economically effective for partial replacement
Jiang, 2023 [26]	50, 75, 100	Соевый и хлопковый шрот (или смесь) / Soybean and cottonseed meal (or mixture)	Положительное при 50 %; отрицательное при 75-100 % / Positive at 50 %; negative at 75-100 %	Стресс, повышение антиоксидантных ферментов, окислительный стресс при 100 % / Stress, increased antioxidant enzymes; oxidative stress at 100 %	Рекомендуется замена не более 50 % во избежание стресса / Replacement up to 50 % recommended to avoid stress

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6
Eroldogan et al., 2022 [27]	100	Смесь соевого шрота (34,5 %) и кукурузного глютена (34,5 %) / Mixture of soybean meal (34.5 %) and corn gluten (34.5 %)	Нет значительных различий с контролем / No significant difference from control	Нет негативного влияния на выживаемость и конверсию корма / No negative effect on survival or feed conversion	Полная замена возможна при сбалансированной смеси шротов / Full replacement possible with balanced meal mix
Qian et al., 2021 [28]	50	Хлопковый, соевый, рапсовый, арахисовый шрот / Cottonseed, soybean, rapeseed, peanut meal	Снижение при арахисовом и рапсовом; нормально при соевом и хлопковом шротах / Reduction with peanut and rapeseed; normal with soybean and cottonseed	Повреждение кишечника при рапсовом; нет влияния на выживаемость / Intestinal damage with rapeseed; no effect on survival	Избегать рапсового и арахисового шрота / Avoid rapeseed and peanut meal
Gutierrez и Rodriguez, 2010 [29]	25-100	Соевый шрот / Soybean meal	Оптимально при 50 %; снижение при 100 % / Optimal at 50 %; decreased at 100 %	Увеличение смертности при 100 % / Increased mortality at 100 %	Частичная замена (50 %) предпочтительна для молоди / Partial (50 %) replacement preferable for juveniles

На основании приведенных результатов исследований можно предположить, что в условиях России эффективной будет замена в корме для раков части рыбной муки на подсолнечный шрот.

В исследовании М. К. Joyce были установлены значения усвояемости белка (ADC – коэффициент видимой усвояемости) и аминокислот организмом австралийского рака для разных видов растительного сырья из зерновых и зернобобовых культур (таблица 3), показывающие перспективность их применения в кормах [30].

Таблица 3 – Усвояемость белка (ADC – коэффициент видимой усвояемости) из растительного сырья организмом австралийского красноклешневого рака (по данным М. К. Joyce [30])

Table 3 – Protein digestibility (ADC – apparent digestibility coefficient) of plant materials for Australian redclaw crayfish (M. K. Joyce [30])

Вид сырья / Plant material	Усвояемость протеина, % / Protein digestibility, %	Усвояемость лизина, % / Lysine digestibility, %
Горох / Pea	104,37	91,85
Люпин / Lupin	93,21	94,09
Соя / Soybean	86,87	91,97
Сорго / Sorghum	89,64	90,15
Сухая барда из кукурузы / Dried corn distillers grains	87,94	91,73

Среди рассмотренных видов растительного сырья зерно сорго выделяется наибольшей усвояемостью углеводов. А. Самрана-Торрес установил, что усвояемость углеводов измельченного зерна сорго раками составляет 93-94 % [31]. Раки, получавшие корм с 21 % зерна сорго, хорошо развивались.

S. Lopez-Lopez установил, что рацион для молоди раков, содержащий 12 % измельченного зерна пшеницы, обеспечил наибольшую активность амилазы в их организме по сравнению с кормами на основе сои, сорго и рыбы [32]. По его мнению, это свидетельствует о том, что богатое крахмалом зерно пшеницы благоприятно влияет на рост молодых раков, что согласуется с результатами, опубликованными А. Самрана-Торрес [31], который обнаружил высокую усвояемость измельченного зерна пшеницы и сорго.

Результаты многих исследований показывают, что раки, благодаря высокой ферментной активности, могут эффективно использовать углеводы растительного сырья для роста, особенно богатые крахмалом, такие как зерно пшеницы и сорго [14]. Таким образом, эти недорогие и доступные в условиях юга России источники растительного сырья являются перспективными для отечественной аквакультуры.

Помимо различных видов зерна и шротов, в корма для красноклешневого рака включают и другие виды растительного сырья, в частности зеленую массу. Для условий России перспективно применение в кормах богатой протеином зеленой люцерны и продуктов ее переработки.

Ю. М. Ширина исследовала эффективность включения травяной муки из люцерны в состав корма для австралийского рака [10]. Она установила, что корм с 10 % травяной муки оказал положительное влияние на биохимические показатели и гемоцитарную формулу рака, сохранив темпы прироста массы.

А. В. Котельников получил аналогичные результаты при включении в корм для рака 10 % травяной муки из люцерны [33]. Полученные данные говорят об активном процессе пищеварения и отсутствии патологических изменений в кишечнике рака.

С. Награз добавлял в корм для мальков австралийского рака 8 % муки из люцерны [34]. Он установил, что раки, получавшие корм с травяной мукой, имели лучшую окраску панциря, чем в контрольной группе. Включение травяной муки в корм не повлияло на рост и выживаемость австралийских раков. Улучшение окраски панциря раков при включении в корм люцерны С. Награз объяснил высоким содержанием в ней каротиноидов, которые в организме раков преобразуются в астаксантин.

У. Kobayashi исследовал влияние на организм раков, содержащихся в пруду, сена люцерны [35]. Изучили реакцию трех групп раков, одна из которых получала корм (42 % сырого протеина) с витаминно-минеральным премиксом и сеном, вторая – корм (28 % протеина) с сеном, а третья – только сено. Результаты показали, что рацион, содержащий 28 % протеина без добавления витаминно-минеральных премиксов в сочетании с люцерновым сеном давал сопоставимые показатели – конечный вес, темп роста, состав мяса и выживаемость по сравнению с рационом с более высоким содержанием белка (42 %), включавшим премиксы и сено. Раки, получавшие корм по первым двум вариантам, были значительно крупнее раков, получавших только сено. Эти результаты показывают, что при содержании в пруду добавление большого количества протеина, витаминов и минералов в рацион не является необходимым, в случае использования люцернового сена. Эти результаты могут помочь снизить затраты на корм и, таким образом, увеличить прибыль производителей.

Таким образом, травяная мука и сено люцерны могут успешно использоваться в составе рационов для раков, выращиваемых в аквакультуре.

П. В. Гобелков исследовал влияние на рака в УЗВ рациона, включавшего 50 % дубового опада (высушенные листья дуба) [36]. По утверждению автора, значения прироста массы и выживаемости для раков, получавших этот дешевый корм, были лишь немного хуже, чем при использовании дорогого коммерческого корма.

Таким образом, недорогое доступное растительное сырье может заменить в составе корма для австралийского рака до половины более дорогого животного сырья.

Применение растительных масел в составе кормов для австралийского красноклешневого рака. Результаты исследований показывают, что в рационе раков возможно использовать более доступные и дешевые растительные масла, такие как соевое, в качестве полноценной замены традиционно используемому дорогостоящему рыбьему жиру, без ущерба для качества конечного продукта [23, 37].

С. Chen исследовал шесть экспериментальных диет с варьирующимся содержанием липидов от 4,32 до 13,97 % и установил, что оптимальным является включение в рацион австралийского рака 10,39 % соевого масла, что обеспечило превосходные показатели роста, улучшенную антиоксидантную способность и активность пищеварительных ферментов (липазы кишечника) [23]. При этом более высокое содержание масла, в частности 13,97 %, негативно изменяло структуру микробиоты кишечника. Это показывает, что превышение оптимальных уровней липидов, даже при использовании полезного растительного масла, может иметь пагубные последствия для здоровья кишечника и общего физиологического состояния раков. С. Chen также установил, что антиоксидантная активность (включая актив-

ность глутатионпероксидазы и супероксиддисмутазы) возрастает с увеличением содержания масла в корме до 10,39 %, а при дальнейшем повышении доли масла снижается, что указывает на необходимость баланса для предотвращения окислительного стресса [37].

К. R. Thompson установил, что диеты с льняным, каноловым и кукурузным маслами (по 70 г/кг) способствуют развитию рака, поддерживая его рост на приемлемом уровне [38]. При этом на состав жира и золы всего тела рака значительно влиял вид масла, но различий в содержании влаги и белка всего тела обнаружено не было.

Можно предположить по аналогии с приведенными выше результатами, что в условиях России эффективной будет замена в корме для австралийских красноклешневых раков рыбьего жира на подсолнечное масло.

Следует отметить, что, хотя растительные масла являются ценным видом сырья, состав их жирных кислот может отличаться от состава рыбьего жира, и для обеспечения оптимального соотношения жирных кислот в составе корма требуется тщательная балансировка [23].

Таким образом, растительные масла рекомендуются как эффективные компоненты кормов для красноклешневого рака, заменяющие рыбий жир, при условии контроля оптимального содержания (8-10 %) для поддержания здоровья кишечника и правильного липидного обмена.

Особенности использования растительного сырья в кормах для молоди раков. Ювенильная стадия – критический период жизни для красноклешневых раков, характеризующийся быстрым ростом и высокой потребностью в питании, что делает разработку эффективных и экономически выгодных кормов первостепенной задачей для аквакультуры.

Исследования показывают, что молодь красноклешневого рака может эффективно использовать различные виды пищи, включая значительную долю растительного сырья, благодаря строению пищеварительной системы [39]. Это обеспечивает прочную основу для разработки стратегии их кормления кормом на основе растений.

Ключевой подход в эффективном кормлении молоди заключается в постепенном включении в рацион растительного сырья. Исследования показали, что по мере развития молоди можно переходить от рациона с большим содержанием животного белка к рациону, в котором растительные корма составляют значительную часть, вплоть до 50 % [26]. Эта стратегия не только снижает затраты на корм, но и согласуется с естественным изменением рациона, наблюдаемым у данного вида, который по мере взросления переходит от потребления зоопланктона к избирательному питанию разлагающимися растительными материалами и макрофитами [5]. Результаты исследований показывают, что изменения в питании, когда молодь переходит от зоопланктона к растительным кормам и детриту, сопровождается изменением активности пищеварительных ферментов: снижается уровень протеаз и повышается уровень карбогидраз, что свидетельствует об увеличении способности переваривать растительную пищу с возрастом [40]. Успешная реализация этой стратегии зависит от выбора соответствующих растительных ингредиентов, которые одновременно являются питательными и привлекательными для молоди раков [12].

Введение в рацион привлекательных растительных веществ является краеугольным камнем успешного питания молоди раков, способствуя переходу от готовых стартовых кормов к более сложным экономически эффективным рационам. Исследования подчеркивают важность использования растительных ингредиентов для стимулирования потребления корма и обеспечения правильного развития на этом важном жизненном этапе.

Исследование A. Kurniawan показало, что молодь раков на ранних стадиях развития (в возрасте от 23 до 39 дней) с готовностью потребляет дополнительные растительные материалы, такие как рисовая мука и морковь [40]. Вкусовые качества этих ингредиентов имеют решающее значение, поскольку они напрямую влияют на потребление корма и, следовательно, на темпы роста. Так, в статье N. Badryzlova сообщается, что молодь рака успешно кормили рационом с добавлением свежих растительных материалов, таких как листья салата, капуста и огурцы, причем последние оказались особенно привлекательными для животных [41]. Такая практика кормления не только обеспечивает раков необходимыми питательными веществами, но и вносит разнообразие в их рацион, что может стимулировать пищевое поведение и улучшать общее состояние здоровья. Использование таких свежих легкодоступных овощей служит эффективным и недорогим способом кормления.

Результаты исследований показывают, что доля растительного сырья в рационе молоди рака может быть постепенно увеличена до 50 % [26]. Такое постепенное введение позволяет пищеварительной системе раков адаптироваться к изменяющемуся составу питательных веществ, особенно к более высокому содержанию углеводов и клетчатки, характерному для растительных ингредиентов [14, 42].

Влияние растительного сырья на организм австралийского красно-клешневоего рака. Включение растительного сырья в рационы для *Cherax quadricarinatus* оказывает глубокое и многогранное воздействие на его физиологию, затрагивая не только темпы роста, но и биохимические процессы в организме, состояние пищеварительной системы и иммунный ответ. Одним из ключевых биохимических показателей является концентрация общего белка в гемолимфе [35]. Исследования демонстрируют, что растительные корма могут положительно влиять на этот параметр. Так, в эксперименте по замене рыбной муки на травяную муку люцерны было отмечено, что уровень общего белка в гемолимфе был в 1,7-2,4 раза выше, чем в контроле [10]. Исследования показали, что замена рыбной муки растительными источниками белка (соевый шрот) оказывает влияние на активность пищеварительных ферментов: активность трипсина и пепсина снизилась, активность амилазы повышалась, что указывает на адаптацию к растительным углеводам, активность липазы существенно не изменилась [26].

Исследования Z. Jiang показали значительные изменения в составе кишечной микробиоты раков при использовании растительных источников белка [26]. Количество бактерий *Proteobacteria* и *Enterobacteriaceae* было значительно выше, а для *Actinobacteriota* значительно ниже в группах с полной заменой рыбной муки шротом по сравнению с контролем.

Таким образом, для обеспечения здоровья и оптимального роста раков необходимо не только обеспечивать достаточное количество легкоусвояемых белков в составе растительного сырья, но и, как будет показано ниже, минимизировать негативное воздействие содержащихся в нем антипитательных факторов и высоких концентраций трудноперевариваемых компонентов.

Проблемы применения растительного сырья для кормления австралийского красноклешневоего рака. Несмотря на многообещающие результаты, при разработке кормов, содержащих растительное сырье для красноклешневоего рака, сохраняется ряд проблем.

Ключевой проблемой при составлении кормов на растительной основе для австралийского рака является обеспечение адекватного баланса незаменимых аминокислот, особенно метионина и лизина, которых зачастую меньше в растительных белках по сравнению с протеином рыбной муки [43]. Дополнительное добавление этих аминокислот в корм на растительной основе часто необходимо для оптимального роста раков [44]. Такие ингредиенты, как кукурузный глютен, представляют ценность не только из-за высокого содержания белка, но и из-за большого содержания метионина, что делает их отличным дополнением к соевому шроту.

Высокое содержание в корме некоторых видов растительного сырья, содержащего антипитательные факторы, такого как хлопковый и арахисовый шрот, может привести к снижению активности пищеварительных ферментов, окислительному стрессу и изменениям в составе кишечной микробиоты, что потенциально отрицательно влияет на здоровье раков [45]. Эти изменения могут иметь долгосрочные последствия для иммунитета и метаболизма питательных веществ в организме раков.

Несмотря на то, что красноклешневый рак обладает эндогенной целлюлазной активностью, его способность эффективно использовать сложные полисахариды, такие как нерастворимая целлюлоза, все же ограничена [46]. Высокие уровни нерастворимой α -целлюлозы в рационе (более 30 %) значительно снижают специфическую активность пищеварительных ферментов (амилаза и целлюлаза), уменьшают кажущиеся коэффициенты усвояемости, снижают перевариваемость сухого вещества и белка и негативно влияют на выживаемость, специфический темп роста и эффективность кормления [47], что указывает на существенное ограничение при включении растительных материалов в состав корма для раков. Ограниченная способность раков усваивать нерастворимые волокна, такие как α -целлюлоза, может быть связана с высокой механической нагрузкой на стенки кишечника, особенно при высоких концентрациях в рационе [46, 47]. Это объясняет, почему растительные корма с высоким содержанием клетчатки могут быть неэффективными.

Результаты исследований показывают, что питательный дисбаланс, вызванный плохо составленными растительными кормами, может отрицательно влиять на репродуктивное здоровье раков [48].

Определение оптимального уровня включения растительных видов сырья имеет решающее значение для составления эффективных и устойчивых кормов для австралийских раков. Исследования показывают, что уровень замены рыбной муки растительными белками значительно влияет на рост, здоровье и общую производительность раков. В то время, как частичная замена часто приносит пользу, полная замена животного сырья растительным часто приводит к неоптимальным результатам из-за дисбаланса питательных веществ и присутствия антипитательных факторов. При составлении рецептов кормов для раков важно выйти за рамки простых решений по механической замене одних компонентов другими для принятия более целостного подхода к разработке рациона, который учитывает сложные взаимодействия между различными ингредиентами и их коллективное воздействие на физиологию животного.

Стабильность гранул корма для раков и их водостойкость также остаются проблемой. Кормовые гранулы должны сохранять целостность в водной среде для обеспечения сохранности питательных веществ, и в проанализированных исследованиях отмечалось, что рецептуры кормов на растительной основе могут требовать введения дополнительных связующих веществ или дополнительной термической обработки для повышения стабильности [25].

В таблице 4 обобщены данные о проблемах и решениях при использовании растительного сырья в кормах для австралийского красноклешневого рака.

Таблица 4 – Проблемы и их решения при использовании растительного сырья в кормах для австралийского красноклешневого рака

Table 4 – Problems and solutions in the use of plant materials in feeds for Australian redclaw crayfish

Проблема / Problem	Описание проблемы / Description	Потенциальные последствия / Potential consequences	Предлагаемые решения / Proposed solutions	Источники данных / Data sources
Несбалансированный аминокислотный профиль / Unbalanced amino acid profile	Недостаток лизина и метионина в растительных белках / Deficiency of lysine and methionine in plant proteins	Снижение роста, стресс / Reduced growth, stress	Добавление синтетических аминокислот; комбинация сырья (соевый шрот + кукурузный глютен) / Addition of synthetic amino acids; combination of raw materials (soybean meal + corn gluten)	[43, 44]
Антипитательные факторы / Antinutritional factors	В рапсовом, арахисовом шроте / Found in rapeseed and peanut meal	Окислительный стресс, повреждение кишечника / Oxidative stress, intestinal damage	Избегать проблемных шротов; термическая обработка сырья / Avoid problematic meals; apply thermal processing	[26, 28, 45]
Высокое содержание клетчатки / High fiber content	Более 30 % нерастворимой целлюлозы / More than 30 % insoluble cellulose	Снижение усвояемости корма, активности ферментов / Reduced feed digestibility and enzyme activity	Ограничить содержание; использовать эндогенные ферменты (целлюлаза) / Limit content; use endogenous enzymes (cellulase)	[46, 47]
Низкая водостойкость гранул корма / Low water stability of feed pellets	Размывание в воде / Feed dissolves in water	Потеря питательных веществ / Loss of nutrients	Добавление связующих веществ; экструзия сырья / Add binders; extrude raw materials	[25]

Таким образом, результаты исследований показывают, что переход к использованию растительного сырья в кормах для красноклешневых раков соответствует отраслевым тенденциям, хотя проблемы, связанные со стабильностью гранул и наличием антипитательных факторов, сохраняются и должны решаться путем дальнейших исследований и инноваций.

Экономическая эффективность применения растительного сырья в составе кормов для австралийского красноклешневого рака. Аквакультура, как и любая отрасль промышленности, сталкивается с экономическими вызовами. Основным операционным расходом в производстве ракообразных является корм, затраты на который могут составлять до 70 % от общей стоимости [47]. Учитывая этот факт, управление расходами на корма становится главным рычагом для максимизации рентабельности производства, что особенно актуально для российских производителей.

Актуальность этой проблемы подчеркивают данные К. К. Малыгина, сообщившего о том, что для опытных групп австралийских раков, получавших готовые комбикорма промышленного производства, расход корма составил 5,7 и 14,7 кг/кг прироста [21]. Сообщенные высокие затраты корма подчеркивают экономическую неэффективность существующих стратегий кормления. Высокие затраты на кормовые ресурсы и неэффективные коэффициенты конверсии являются основными препятствиями для инвестиций и расширения отрасли.

Постоянный рост цен на традиционные ингредиенты корма, такие как рыбная мука и рыбий жир, делает поиск экономически эффективных и устойчивых альтернатив критически важной задачей [49].

Анализ имеющихся данных показывает, что переход на растительные компоненты может значительно уменьшить финансовые вложения, однако это не всегда означает достижение максимальной экономической выгоды без учета других факторов.

Сравнение текущих рыночных цен на ключевые ингредиенты кормов показывает значительный разрыв между ними, который делает растительное сырье особенно привлекательным. В таблице 5 приведены примерные цены (в долларах США) на мировом рынке основных ингредиентов кормов для красноклешневых раков в 2025 г.

Таблица 5 – Стоимость основных видов сырья, используемого в кормах для австралийских красноклешневых раков

Table 5 – Cost of main raw materials used in feeds for Australian redclaw crayfish

Ингредиент корма / Feed ingredient	Цена, долл./т / Price, USD/t
Рыбная мука / Fish meal	1500-1700
Соевый шрот / Soybean meal	280-340
Хлопковый шрот / Cottonseed meal	280-290
Зерно кукурузы / Corn grain	160-180
Травяная мука люцерны / Alfalfa meal	200-300
Рыбий жир / Fish oil	4100-5200
Соевое масло / Soybean oil	1100-1300
Подсолнечное масло / Sunflower oil	900-1100

Как видно из представленных в таблице 5 данных, стоимость растительных видов кормового сырья, в частности шротов, в 5-6 раз ниже цены рыбной муки. Таким образом, рекомендуемая замена 50 % рыбной муки в составе корма на растительное сырье может снизить его итоговую себестоимость на 30-40 %, а себестоимость продукции аквакультуры на 15-20 %, при условии, что на долю рыбной муки приходится значительная часть от общей стоимости корма. То же можно сказать и об источниках жиров – стоимость растительных масел в 3-5 раз ниже цены рыбьего жира.

Этот огромный разрыв в ценах является главным фактором, определяющим экономическую целесообразность использования растительных альтернатив [50].

Эти данные находят и практическое подтверждение. L. Nunez-Amao приводит сведения о экономической эффективности выращивания австралийского рака в прудах в Мексике [51]. По ее информации, ранее многие фермеры кормили раков готовыми кормами для креветок богатыми рыбной мукой или давали дешевое зерно кукурузы в чистом виде. Оказалось, что первый вариант слишком дорогостоящий, а второй дает плохую продуктивность. Новые составы рационов с комбинацией животных и растительных компонентов позволили добиться высокой продуктивности раков и при этом снизить себестоимость продукции. При этом на корм приходилось 25,55 % от всех операционных расходов [51].

L. Gresco сообщает, что хорошие результаты дало использование кормов на основе соевого шрота, имевших себестоимость 0,56 и 0,64 долл./кг, причем продуктивность опытной группы раков не уступала контрольной, получавшей рацион, содержащий значительное количество рыбной муки и стоящий 121 долл./кг [52].

Экономическая эффективность кормления *Cherax quadricarinatus* определяется не столько стоимостью самих кормов, сколько их влиянием на конечный выход продукции и общие затраты на производство. Прямая связь между качеством рациона и рентабельностью проявляется через такой ключевой показатель как коэффициент конверсии корма. Его недооценка может свести на нет любую выгоду от снижения цены на корм. Даже если рацион кажется дешевым, низкая эффективность корма может сделать его экономически невыгодным.

Взаимосвязь между рационом и рентабельностью наглядно демонстрирует пример из исследования G. T. Tap для условий Филиппин [53]. Несмотря на то, что коммерческие корма обеспечили наилучший рост раков и низкий кормовой коэффициент, их высокая стоимость (1,82 долл. на особь) привела к убыточности производства. Напротив, опытные группы раков, получавшие более дешевые корма (пищевые отходы и овощи), показали рентабельность 21-22 %.

Таким образом, имеющиеся данные позволяют рекомендовать производителям вводить более дешевые растительные компоненты (соевый и хлопковый шрот, зерно, травяную муку) в состав рационов. Это снижает затраты на корм без существенного ущерба для продуктивности раков, что подтверждается исследованиями по всему миру. При этом экономическая целесообразность применения растительного сырья определяется не только ценой самого ингредиента, но и его питательной ценностью, способностью сочетаться с другими компонентами рациона, а также влиянием на здоровье и продуктивность раков. Успех заключается в создании сбалансированного рациона, где низкая стоимость компонентов компенсируется их высокой биодоступностью и положительным влиянием на общее состояние животных.

Выводы. Проведенный анализ научной литературы убедительно демонстрирует, что использование растительного сырья в кормах для австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*) является не просто перспективным направлением, а стратегической необходимостью для устойчивого развития его аквакультуры, особенно в условиях России.

Основной барьер на пути достижения рентабельности отрасли – это высокая стоимость традиционных кормов, обусловленная зависимостью от дорогостоящей и нестабильной в цене рыбной муки и рыбьего жира. Настоящий обзор подтверждает, что частичная или полная замена этих компонентов на доступные растительные аналоги позволяет значительно снизить себестоимость кормов, повышая экономическую эффективность производства.

Анализ исследований демонстрирует, что всеядная природа австралийских раков позволяет успешно интегрировать растительное сырье в их рационы, обеспечивая при этом оптимальный рост, здоровье и продуктивность при выращивании в условиях интенсивной и полунтенсивной аквакультуры.

Результаты многочисленных исследований показывают, что частичная замена рыбной муки (до 50 %) на белковые концентраты растительного происхождения, такие как соевый, хлопковый, а в российских условиях – потенциально и подсолнечный шрот, является наиболее эффективной стратегией. Такой подход не только не уступает, но порой и превосходит по показателям роста и конверсии корма рационы, основанные исключительно на животном белке. Аналогично, растительные масла (соевое, подсолнечное) могут успешно и полностью заменить рыбий жир при условии соблюдения оптимального уровня их ввода (8-10 %) и балансировки состава жирных кислот. Кроме того, богатые углеводами компоненты, такие как зерно кукурузы, пшеницы и сорго, эффективно усваиваются раками и служат превосходным и недорогим источником энергии. Включение в рацион травяной муки или сена люцерны оказывает положительное влияние на биохимические показатели и пигментацию раков.

Питание молоди раков, для которой требуется высокий уровень протеина, может обеспечиваться постепенным введением растительных компонентов (до 50 %) в рацион. Использование привлекательных растительных ингредиентов, таких как рисовая мука, морковь или свежие овощи, способствует успешному переходу к смешанным рационам, снижая затраты без ущерба для роста молодняка.

Влияние растительного сырья на организм рака многогранно: оно повышает активность амилазы и целлюлазы, адаптируя метаболизм к углеводам, но может вызывать окислительный стресс при высоком содержании антипитательных факторов (в рапсовом или арахисовом шротах).

Но переход на растительные корма сопряжен с рядом сложностей, которые требуют взвешенного подхода. Попытки полной (75-100 %) замены животного белка растительным часто приводят к негативным последствиям: снижению темпов роста, физиологическому стрессу, повреждению органов пищеварения и нарушению микробиоты кишечника. Ключевыми проблема-

ми остаются наличие антипитательных факторов в некоторых видах сырья, например, в рапсовом и арахисовом шроте, дисбаланс незаменимых аминокислот (в первую очередь лизина и метионина) и низкая усвояемость клетчатки при ее высоком содержании в рационе. Это подчеркивает, что успешная разработка рецептуры выходит за рамки простой механической замены ингредиентов и требует комплексной оптимизации всего рациона с учетом синергетического эффекта компонентов и физиологических потребностей раков на разных стадиях развития.

Экономическая эффективность применения растительного сырья для кормления раков подтверждается значительным снижением затрат на корма (на 30-40 %) при использовании шротов и растительных масел, что может уменьшить общую себестоимость продукции на 15-20 %. Однако успех зависит от тщательной оптимизации рецептур кормов, учитывающей питательную ценность, биодоступность и воздействие на физиологию раков.

Для дальнейшего развития отечественной аквакультуры красно-клешневого рака необходимо сосредоточить усилия на разработке и апробации сбалансированных кормовых рецептур на основе доступного местного растительного сырья. Будущие исследования должны быть направлены на поиск оптимальных комбинаций ингредиентов, разработку методов нейтрализации антипитательных факторов (например, путем применения экзогенных ферментов), а также на точное определение потребностей рака в незаменимых аминокислотах для их целенаправленной компенсации в растительных рационах. Такой подход позволит создать экономически эффективные и биологически полноценные корма, обеспечивающие высокую продуктивность и рентабельность выращивания австралийского красноклешневого рака в России.

Переход к кормам на растительной основе способствует устойчивому развитию аквакультуры красноклешневого рака в России, особенно в комбинированных системах (УЗВ + пруды), снижая зависимость от импортных ингредиентов и повышая доступность.

Переход на корма с растительной основой представляет собой не просто способ снижения затрат на выращивание товарного красноклешневого рака, но и стратегическое направление для обеспечения долгосрочной устойчивости и рентабельности аквакультурной отрасли.

Conclusions. An analysis of scientific literature convincingly demonstrates that the use of plant-based raw materials in feed for the Australian redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) is not just a promising direction, but a strategic necessity for the sustainable development of its aquaculture, especially in Russia.

The main barrier to achieving profitability in the industry is the high cost of traditional feed, due to dependence on expensive and unstable fish meal and fish oil. This review confirms that partial or complete replacement of these components with affordable plant-based alternatives can significantly reduce feed costs, thereby increasing the economic efficiency of production.

Analysis of studies shows that the omnivorous nature of Australian crayfish allows for the successful integration of plant-based raw materials into their diets, while ensuring optimal growth, health and productivity when farmed in intensive and semi-intensive aquaculture conditions.

The results of numerous studies show that partially replacing fishmeal (up to 50 %) with plant-based protein concentrates, such as soybean, cottonseed, and, in Russian conditions, potentially sunflower meal, is the most effective strategy. This approach is not only comparable to, but sometimes even superior to diets based exclusively on animal protein in terms of growth and feed conversion rates. Similarly, vegetable oils (soybean, sunflower) can successfully and completely replace fish oil, provided that the optimal level of their intake (8-10 %) is observed and the composition of fatty acids is balanced. In addition, carbohydrate-rich components such as corn, wheat and sorghum grains are effectively digested by crayfish and serve as an excellent and inexpensive source of energy. The inclusion of grass meal or alfalfa hay in the diet has a positive effect on the biochemical parameters and pigmentation of crayfish.

The nutrition of young crayfish, which require high levels of protein, can be ensured by gradually introducing plant components (up to 50 %) into the diet. The use of attractive plant ingredients such as rice flour, carrots or fresh vegetables facilitates a successful transition to mixed diets, reducing costs without compromising the growth of young crayfish.

The effect of plant raw materials on the crayfish's body is multifaceted: it increases the activity of amylase and cellulase, adapting the metabolism to carbohydrates, but can cause oxidative stress when the content of anti-nutritional factors is high (in rapeseed or peanut meal).

However, the transition to plant-based feed is fraught with a number of difficulties that require a balanced approach. Attempts to completely (75-100 %) replace animal protein with plant protein often led to negative consequences: reduced growth rates, physiological stress, damage to the digestive organs and disruption of the intestinal microbiota. The key problems remain the presence of anti-nutritional factors in some types of raw materials, such as rapeseed and peanut meal, an imbalance of essential amino acids (primarily lysine and methionine) and low fiber digestibility when it is high in the diet. This emphasizes that

successful recipe development goes beyond simple mechanical replacement of ingredients and requires comprehensive optimization of the entire diet, taking into account the synergistic effect of the components and the physiological needs of crayfish at different stages of development.

The economic efficiency of using plant-based raw materials for feeding crayfish is confirmed by a significant reduction in feed costs (by 30-40 %) when using meal and vegetable oils, which can reduce the total cost of production by 15-20 %. However, success depends on careful optimization of feed formulations, taking into account nutritional value, bioavailability and impact on crayfish physiology.

For the further development of domestic redclaw crayfish aquaculture, efforts should be focused on the development and testing of balanced feed formulations based on available local plant raw materials. Future research should focus on finding optimal combinations of ingredients, developing methods for neutralizing anti-nutritional factors (e.g. through the use of exogenous enzymes), and accurately determining the crayfish's requirements for essential amino acids so that these can be specifically compensated for in plant-based diets. This approach will make it possible to create cost-effective and biologically complete feeds that ensure high productivity and profitability in the farming of Australian redclaw crayfish in Russia.

The transition to plant-based feeds contributes to the sustainable development of redclaw crayfish aquaculture in Russia, especially in combined systems (recirculating aquaculture systems + ponds), reducing dependence on imported ingredients and increasing availability.

The transition to plant-based feed is not only a way to reduce the cost of farming commercial red claw crayfish, but also a strategic direction for ensuring the long-term sustainability and profitability of the aquaculture industry.

Библиографический список

1. Борисов Р. Р., Жигин А. В., Ковачева Н. П., Кряхова Н. В., Никонова И. Н. Биологические аспекты культивирования австралийского красно-клешневого рака *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) в России. Рыбное хозяйство. 2024. № 3. С. 80-92.
2. Лагуткина Л. Ю., Пономарев С. В. Новый объект тепловодной аквакультуры – австралийский красноклешневый рак (*Cherax quadricarinatus*). Вестник Астраханского государственного технического университета. 2008. № 6. С. 220-223.
3. Пятикопова О. В., Бедрицкая И. Н., Тангатарова Р. Р., Анкешева Б. М. Биотехнические показатели товарного выращивания красноклешневого рака в прудовой аквакультуре в условиях Юга России. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2023. № 4. С. 72-82.
4. Пятикопова О. В., Бедрицкая И. Н., Попов Д. А., Тангатарова Р. Р. Опыт прудового выращивания красноклешневого рака в Астраханской области. Известия ТИНРО. 2024. Т. 204. № 3. С. 659-669.
5. Пятикопова О. В., Харченко Н. Н., Бедрицкая И. Н., Анкешева Б. М., Тангатарова Р. Р., Романенкова Е. Н. Рекомендации по выращиванию молоди австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*) в промышленных условиях. Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2023. № 7. С. 458-469.
6. Шокашева Д. И. Специфика многолетней доместики австралийского рака *Cherax quadricarinatus* в условиях западной части Российской Федерации. Известия ТИНРО. 2018. Т. 194. № 3. С. 188-192.
7. Воробьева Л. В., Борисов Р. Р., Ковачева Н. П., Пятикопова О. В. Пищевой спектр австралийского красноклешневого рака *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) (*Decapoda, Parastacidae*) в прудах Астраханской области. Российский журнал биологических инвазий. 2024. Т. 17. № 1. С. 8-22.
8. Лагуткина Л. Ю., Кузьмина Е. Г., Ахмеджанова А. Б., Таранина А. А., Ясинский В. С., Пономарев Р. А. Фактологическое обеспечение практик повышения эффективности выращивания тропических пресноводных видов. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2020. № 2. С. 94-105.
9. Шокашева Д. И. Прудовое выращивание австралийского красноклешневого рака в условиях Астраханской области. Вестник рыбохозяйственной науки. 2017. Т. 4. № 4. С. 14-18.
10. Ширина Ю. М., Файзулина Д. Р., Конькова А. В., Котельников А. В., Богатов И. А., Котельникова С. В. Перспективы использования муки из люцерны в составе кормов для австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*). Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2023. № 1. С. 72-81.
11. Шумейко Д. В., Арыстангалиева В. А., Еврумова А. А. Подращивание молоди рака *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) с применением кормов для осетровых видов рыб. Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57. № 4. С. 803-816.
12. Анкешева Б. М., Бедрицкая И. Н., Пятикопова О. В. Апробация экспериментального корма для молоди австралийского красноклешневого рака. Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2021. № 1. С. 70-79.
13. Борисов Р. Р., Ковачева Н. П., Артемов Р. В., Никонова И. Н., Арнаутов М. В., Артемов А. В., Гершунская В. В. Оценка эффекта применения комбикормов с различным уровнем белка для молоди австралийского красноклешневого рака в условиях УЗВ. Труды ВНИРО. 2022. Т. 187. С. 128-137.
14. Saoud I., Yta A., Ghanawi J. A review of nutritional biology and dietary requirements of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens 1868). Aquaculture Nutrition. 2012. V. 18. Pp. 349-368.
15. Peters M. D., Marnie C., Colquhoun H., Garritty C. M., Hempel S., Horsley T., Tricco A. C. Scoping reviews: reinforcing and advancing the methodology and application. Systematic Reviews. 2021. V. 10. Art. 263.
16. Siddaway A. P., Wood A. M., Hedges L. V. How to do a systematic review: a best practice guide for conducting and reporting narrative reviews, meta-analyses, and meta-syntheses. Annual Review of Psychology. 2019. V. 70. Pp. 747-770.

17. Mattos S. M., Cestari V. R. F., Moreira T. M. M. Scoping protocol review: PRISMA-ScR guide refinement. *Revista de Enfermagem da UFPI*. 2023. V. 12. No 1. Art. e3062.
18. Mengist W., Soromessa T., Legese G. Method for conducting systematic literature review and meta-analysis for environmental science research. *MethodsX*. 2020. V. 7. Art. 100777.
19. Saoud I. P., Ghanawi J., Thompson K. R., Webster C. D. A review of the culture and diseases of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens 1868). *Journal of the World Aquaculture Society*. 2013. V. 44. No 1. Pp. 1-29.
20. Rigg D., Seymour J. E., Courtney R. L., Jones C. M. A review of juvenile redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1898). *Aquaculture: Global production practices and innovation. Freshwater Crayfish*. 2020. V. 25. Pp. 13-30.
21. Малыгин К. К., Бубунец Э. В. Сравнительный анализ роста австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*) на отечественных кормах в условиях УЗВ. *Рыбоводство и рыбное хозяйство*. 2025. Т. 19. № 4. С. 246-255.
22. Rigg D. P., Courtney R. L., Seymour J. E., Jones C. M. Evaluation of four practical diets on the growth and survival of juvenile redclaw, *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868). *Freshwater Crayfish*. 2021. V. 26. No 1. Pp. 1-8.
23. Chen C., Xu C., Yang X., Jia Y., Gu Z., Li E. The optimum lipid level for the juvenile redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus*: Practical diets with soybean oil as the lipid source. *Aquaculture Nutrition*. 2022. V. 2022. No 1. Art. 2640479.
24. Cheng S., Wei Y. C., Jia Y. Y., et al. A study on primary diets for juveniles of red claw crayfish *Cherax quadricarinatus*. *Aquaculture Research*. 2021. V. 52. No 5. Pp. 2138-2145.
25. Garza de Yuta A., Davis D. A., Rouse D. B., Ghanawi J., Saoud I. P. Evaluation of practical diets containing various terrestrial protein sources on survival and growth parameters of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus*. *Aquaculture Research*. 2012. V. 43. No 1. Pp. 84-90.
26. Jiang Z., Qian D., Liang Z., Jia Y., Xu C., Li E. Effects of dietary plant protein sources intake on growth, digestive enzyme activity, edible tissue nutritional status and intestinal health of the omnivorous Redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus*. *British Journal of Nutrition*. 2023. V. 130. No 6. Pp. 978-995.
27. Eroldogan O. T., Elsabagh M., Sevgili H., et al. Use of poultry by-product and plant protein sources in diets of redclaw (*Cherax quadricarinatus*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2022. V. 22. No 8. Art. TRJFAS21188.
28. Qian D., Yang X., Xu C., Chen C., Jia Y., Gu Z., Li E. Growth and health status of the red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, fed diets with four typical plant protein sources as a replacement for fish meal. *Aquaculture Nutrition*. 2021. V. 27. No 3. Pp. 795-806.
29. Gutiérrez M. L., Rodríguez E. M. Effect of protein source on growth of early juvenile redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda, Parastacidae). *Freshwater Crayfish*. 2010. V. 17. Pp. 23-29.
30. Joyce M. Understanding the nutritional requirements of redclaw (*Cherax quadricarinatus*): determining the apparent digestibility of raw materials and quantifying dietary lysine requirement: Masters (Research) Thesis. James Cook University, 2020.
31. Campana-Torres A., Martinez-Cordova L. R., Villarreal-Colmenares H., Civera-Cerecedo R. Carbohydrate and lipid digestibility of animal and vegetal ingredients and diets for the pre-adult redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens). *Aquaculture Research*. 2008. V. 39. No 10. Pp. 1115-1121.
32. Lopez-Lopez S., Nolasco H., Villarreal-Colmenares H., Civera-Cerecedo R. Digestive enzyme response to supplemental ingredients in practical diets for juvenile freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus*. *Aquaculture Nutrition*. 2005. V. 11. No 2. Pp. 79-85.
33. Kotelnikov A. V., Kotelnikova S. V., Shirina Y. M., Faizulina D. R., Konkova A. V., Bogatov I. A. Morphological state of the digestive organs red-clawed crayfish (*Cherax quadricarinatus*) by the use of feed additives. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2023. No 3. Pp. 90-96.
34. Harpaz S., Rise M., Arad S., Gur N. The effect of three carotenoid sources on growth and pigmentation of juvenile freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus*. *Aquaculture Nutrition*. 1998. V. 4. No 3. Pp. 201-208.
35. Kobayashi Y., Webster C. D., Thompson K. R., et al. Effects on growth, survival, body composition, processing traits and water quality when feeding a diet without vitamin and mineral supplements to Australian red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) grown in ponds. *Aquaculture Research*. 2015. V. 46. No 11. Pp. 2716-2727.
36. Гобелков П. В. Темп роста самцов австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*) в условиях индустриальной аквакультуры при использовании кормов различного состава. Биологическое разнообразие: изучение, сохранение, восстановление, рациональное использование: материалы II Международной научно-практической конференции. Керчь: ООО «Издательство Типография «Ариал», 2020. С. 283-287.
37. Chen C., Xu C., Yang X., et al. Growth, antioxidant capacity, intestine histology and lipid metabolism of juvenile red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, fed different lipid sources. *Aquaculture Nutrition*. 2021. V. 27. No 1. Pp. 261-273.
38. Thompson K. R., Bailey T. J., Mett L. S., Brady Y. J., Webster C. D. Growth response and fatty acid composition of juvenile red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) fed different sources of dietary lipid. *Aquaculture Nutrition*. 2010. V. 16. No 6. Pp. 604-615.
39. Haubrock P. J., Oficialdegui F. J., Zeng Y., Patoka J., Yeo D. C., Kouba A. The redclaw crayfish: A prominent aquaculture species with invasive potential in tropical and subtropical biodiversity hotspots. *Reviews in Aquaculture*. 2021. V. 13. No 3. Pp. 1488-1530.
40. Kurniawan A., Adibrata S., Lingga R., Setiadi J., Hidayah R. S., Wulandari U. A. Dietary shift for juvenile freshwater redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*): A review. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*. 2024. V. 17. No 6. Pp. 2659-2672.
41. Badryzlova N., Assylbekova S., Koishybayeva S., Bulavin Y., Makhmetov I. Prospects for growing Australian red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in the industrial conditions of Kazakhstani fish farms. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*. 2024. V. 17. No 6. Pp. 2535-2548.
42. Joyce M. K., Pirozzi I. Using stable isotope analysis to determine the contribution of naturally occurring pond biota and supplementary feed to the diet of farmed Australian freshwater crayfish, redclaw (*Cherax quadricarinatus*). *International Aquatic Research*. 2016. V. 8. No 1. Pp. 1-13.

43. Jiang Z., Qian, D., Liang, Z., et al. Evaluation of dietary essential amino acid supplementation on growth, digestive capacity, antioxidant, and intestine health of the juvenile redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus*. *Aquaculture Nutrition*. 2024. V. 2024. No 1. Art. 8767751.
44. Tan Q., Song D., Chen X., Xie S., Shu X. Replacing fish meal with vegetable protein sources in feed for juvenile red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*: Effects of amino acids supplementation on growth and feed utilization. *Aquaculture Nutrition*. 2018. V. 24. No 2. Pp. 858-864.
45. Zharchynska V., Hrynevych N. Assessment of energy and biological value of *Cherax quadricarinatus* meat after feeding crayfish with different types of feed. *Animal Husbandry Products Production and Processing*. 2023. No 2. Pp. 12-21.
46. Pavasovic A., Anderson A. J., Mather P. B., Richardson N. A. Effect of a variety of animal, plant and single cell-based feed ingredients on diet digestibility and digestive enzyme activity in redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (Von Martens 1868). *Aquaculture*. 2007. V. 272. No 1-4. Pp. 564-572.
47. Pavasovic A. Evaluation of the nutritional requirements of redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus*: Doctoral dissertation. Queensland University of Technology, 2008. 172 p.
48. Ghanawi J., Saoud I. P. Molting, reproductive biology, and hatchery management of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens 1868). *Aquaculture*. 2012. V. 358. Pp. 183-195.
49. Bandara T. Alternative feed ingredients in aquaculture: Opportunities and challenges. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 2018. V. 6. No 2. Pp. 3087-3094.
50. Walters R. Fishmeal and Fish Oil Alternatives: A Sustainable Solution for Aquaculture. *Fisheries and Aquaculture Journal*. 2024. V. 15. No 3. Art. 368.
51. Núñez-Amao L., Naranjo-Páramo J., Hernández-Llamas A., Vargas-Mendieta M., Villarreal H. Estimating production costs of preadult redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, reared in a commercial nursery system: a stochastic bioeconomic approach. *Journal of the World Aquaculture Society*. 2019. V. 50. No 1. Pp. 172-185.
52. Greco L. S. L., Stumpf L., Timpanaro S., et al. Impact of low-cost diets on maturation of the red claw crayfish *Cherax quadricarinatus*: An integrative approach during a long-term study. *Aquaculture*. 2022. V. 561. Art. 738614.
53. Tan G. T., Nacor M. M., Ramos R. A., Samson K. L. L., Sanchez R. N. Comparative analysis of Australian red claw crayfish growth, protein content and meat characteristics across diverse natural feeds. *Agricultural Development*. 2025. V. 10. No 4. Pp. 31-37.

References

1. Borisov R. R., Zhigin A. V., Kovacheva N. P., Kryakhova N. V., Nikonova I. N. Biological aspects of cultivation of the Australian red-clawed crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) in Russia. *Fisheries*. 2024. No 3. Pp. 80-92.
2. Lagutkina L. Yu., Ponomarev S. V. New object of aquaculture – Australian redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*). *Vestnik of Astrakhan State Technical University*. 2008. No 6. Pp. 220-223.
3. Pyatikopova O., Bedritskaya I., Tangatarova R., Ankesheva B. Biotechnical indicators of red-clawed crayfish commercial cultivation in pond aquaculture in the conditions of the South of Russia. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2023. No 4. Pp. 72-82.
4. Pyatikopova O. V., Bedritskaya I. N., Popov D. A., Tangatarova R. R. Experience of pond cultivation for red-clawed crayfish in the Astrakhan Region. *Izvestiya TINRO*. 2024. V. 204. No 3. Pp. 659-669.
5. Pjatikopova O. V., Harchenko N. N., Bedrickaja I. N., Ankesheva B. M., Tangatarova R. R., Romanenkova E. N. Recommendations for growing young Australian red-clawed crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in industrial conditions. *Fish Breeding and Fisheries*. 2023. V. 210. No 7. Pp. 458-469.
6. Shokasheva D. I. Specific features of long-term domestication of Australian crayfish *Cherax quadricarinatus* in conditions of the western part of Russian Federation. *Izvestiya TINRO*. 2018. V. 194. Pp. 188-192.
7. Vorob'eva L. V., Borisov R. R., Kovacheva N. P., Pyatikopova O. V. Food spectrum of the Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) (*Decapoda, Parastacidae*) in the ponds of the Astrakhan region. *Russian Journal of Biological Invasions*. 2024. V. 17. No 1. Pp. 8-22.
8. Lagutkina L., Kuzmina E., Akhmedzhanova A., Taranina A., Yasinskii V., Ponomarev R. Providing factual support for efficient techniques of breeding tropical freshwater species. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2020. No 2. Pp. 94-105.
9. Shokasheva D. I. Breeding of Australian red claw crayfish in ponds of Astrakhan region. *Bulletin of Fisheries Science*. 2017. V. 4. No 4. Pp. 14-18.
10. Shirina Y., Faizulina D., Konkova A., Kotelnikov A., Bogatov I., Kotelnikova S. Prospects for using alfalfa flour as part of feed for Australian redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*). *Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2023. No 1. Pp. 72-81.
11. Shumeyko D. V., Arystangalieva V. A., Evrumova A. A. Rearing of *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) juveniles using feed for sturgeons. *Agricultural Biology*. 2022. V. 57. No 4. Pp. 803-816.
12. Ankesheva B. M., Bedrickaja I. N., Pjatikopova O. V. Testing of experimental feed for young Australian red-clawed crayfish that meets its nutritional needs. *Fish Breeding and Fisheries*. 2021. No 1. Pp. 70-79.
13. Borisov R. R., Kovacheva N. P., Artemov R. V., Nikonova I. N., Arnautov M. V., Artemov A. V., Gershunskaya V. V. Efficiency assessment of the use of compound feeds with protein different levels for juveniles Australian red claw crayfish in RAS conditions. *Proceedings of VNIRO*. 2022. No 187. Pp. 128-137.
14. Saoud I., Yuta A., Ghanawi J. A review of nutritional biology and dietary requirements of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens 1868). *Aquaculture Nutrition*. 2012. V. 18. Pp. 349-368.
15. Peters M. D., Marnie C., Colquhoun H., Garrity C. M., Hempel S., Horsley T., Tricco A. C. Scoping reviews: reinforcing and advancing the methodology and application. *Systematic Reviews*. 2021. V. 10. Art. 263.
16. Siddaway A. P., Wood A. M., Hedges L. V. How to do a systematic review: a best practice guide for conducting and reporting narrative reviews, meta-analyses, and meta-syntheses. *Annual Review of Psychology*. 2019. V. 70. Pp. 747-770.
17. Mattos S. M., Cestari V. R. F., Moreira T. M. M. Scoping protocol review: PRISMA-ScR guide refinement. *Revista de Enfermagem da UFPI*. 2023. V. 12. No 1. Art. e3062.

18. Mengist W., Soromessa T., Legese G. Method for conducting systematic literature review and meta-analysis for environmental science research. *MethodsX*. 2020. V. 7. Art. 100777.
19. Saoud I. P., Ghanawi J., Thompson K. R., Webster C. D. A review of the culture and diseases of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens 1868). *Journal of the World Aquaculture Society*. 2013. V. 44. No 1. Pp. 1-29.
20. Rigg D., Seymour J. E., Courtney R. L., Jones C. M. A review of juvenile redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1898) Aquaculture: Global Production Practices and Innovation. *Freshwater Crayfish*. 2020. V. 25. Pp. 13-30.
21. Malygin K. K., Bubunets E. V. Comparative analysis of growth of Australian red-claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) on domestic fodder in RAS conditions. *Fish Breeding and Fisheries*. 2025. V. 19. No 4. Pp. 246-255.
22. Rigg D. P., Courtney R. L., Seymour J. E., Jones C. M. Evaluation of four practical diets on the growth and survival of juvenile redclaw, *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868). *Freshwater Crayfish*. 2021. V. 26. No 1. Pp. 1-8.
23. Chen C., Xu C., Yang X., Jia Y., Gu Z., Li E. The optimum lipid level for the juvenile redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus*: Practical diets with soybean oil as the lipid source. *Aquaculture Nutrition*. 2022. V. 2022. No 1. Art. 2640479.
24. Cheng S., Wei Y. C., Jia Y. Y., et al. A study on primary diets for juveniles of red claw crayfish *Cherax quadricarinatus*. *Aquaculture Research*. 2021. V. 52. No 5. Pp. 2138-2145.
25. Garza de Yta A., Davis D. A., Rouse D. B., Ghanawi J., Saoud I. P. Evaluation of practical diets containing various terrestrial protein sources on survival and growth parameters of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus*. *Aquaculture Research*. 2012. V. 43. No1. Pp. 84-90.
26. Jiang Z., Qian D., Liang Z., Jia Y., Xu C., Li E. Effects of dietary plant protein sources intake on growth, digestive enzyme activity, edible tissue nutritional status and intestinal health of the omnivorous Redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus*. *British Journal of Nutrition*. 2023. V. 130. No 6. Pp. 978-995.
27. Eroldogan O. T., Elsabagh M., Sevgili H., et al. Use of poultry by-product and plant protein sources in diets of redclaw (*Cherax quadricarinatus*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2022. V. 22. No 8. Art. TRJFAS21188.
28. Qian D., Yang X., Xu C., Chen C., Jia Y., Gu Z., Li E. Growth and health status of the red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, fed diets with four typical plant protein sources as a replacement for fish meal. *Aquaculture Nutrition*. 2021. V. 27. No 3. Pp. 795-806.
29. Gutiérrez M. L., Rodríguez E. M. Effect of protein source on growth of early juvenile redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda, Parastacidae). *Freshwater Crayfish*. 2010. V. 17. Pp. 23-29.
30. Joyce M. Understanding the nutritional requirements of redclaw (*Cherax quadricarinatus*): determining the apparent digestibility of raw materials and quantifying dietary lysine requirement: Masters (Research) Thesis. James Cook University, 2020.
31. Campana-Torres A., Martinez-Cordova L. R., Villarreal-Colmenares H., Civera-Cerecedo R. Carbohydrate and lipid digestibility of animal and vegetal ingredients and diets for the pre-adult redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens). *Aquaculture Research*. 2008. V. 39. No 10. Pp. 1115-1121.
32. Lopez-Lopez S., Nolasco H., Villarreal-Colmenares H., Civera-Cerecedo R. Digestive enzyme response to supplemental ingredients in practical diets for juvenile freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus*. *Aquaculture Nutrition*. 2005. V. 11. No 2. Pp. 79-85.
33. Kotelnikov A. V., Kotelnikova S. V., Shirina Y. M., Faizulina D. R., Konkova A. V., Bogatov I. A. Morphological state of the digestive organs red-clawed crayfish (*Cherax quadricarinatus*) by the use of feed additives. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2023. No 3. Pp. 90-96.
34. Harpaz S., Rise M., Arad S., Gur N. The effect of three carotenoid sources on growth and pigmentation of juvenile freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus*. *Aquaculture Nutrition*. 1998. V. 4. No 3. Pp. 201-208.
35. Kobayashi Y., Webster C. D., Thompson K. R., et al. Effects on growth, survival, body composition, processing traits and water quality when feeding a diet without vitamin and mineral supplements to Australian red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) grown in ponds. *Aquaculture Research*. 2015. V. 46. No 11. Pp. 2716-2727.
36. Gobelkov P. V. Growth rate of the males of the Australian redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) when using the feeds of various composition. *Biological diversity: study, conservation, restoration, and rational use: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference*. Kerch: LLC "Publishing House Printing House 'Ariai'", 2020. Pp. 283-287.
37. Chen C., Xu C., Yang X., et al. Growth, antioxidant capacity, intestine histology and lipid metabolism of juvenile red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, fed different lipid sources. *Aquaculture Nutrition*. 2021. V. 27. No 1. Pp. 261-273.
38. Thompson K. R., Bailey T. J., Mett L. S., Brady Y. J., Webster C. D. Growth response and fatty acid composition of juvenile red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) fed different sources of dietary lipid. *Aquaculture Nutrition*. 2010. V. 16. No 6. Pp. 604-615.
39. Haubrock P. J., Oficialdegui F. J., Zeng Y., Patoka J., Yeo D. C., Kouba A. The redclaw crayfish: A prominent aquaculture species with invasive potential in tropical and subtropical biodiversity hotspots. *Reviews in Aquaculture*. 2021. V. 13. No 3. Pp. 1488-1530.
40. Kurniawan A., Adibrata S., Lingga R., Setiadi J., Hidayah R. S., Wulandari U. A. Dietary shift for juvenile freshwater redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*): A review. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*. 2024. V. 17. No 6. Pp. 2659-2672.
41. Badryzlova N., Assylbekova S., Koishybayeva S., Bulavin Y., Makhmetov I. Prospects for growing Australian red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in the industrial conditions of Kazakhstani fish farms. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*. 2024. V. 17. No 6. Pp. 2535-2548.
42. Joyce M. K., Pirozzi I. Using stable isotope analysis to determine the contribution of naturally occurring pond biota and supplementary feed to the diet of farmed Australian freshwater crayfish, redclaw (*Cherax quadricarinatus*). *International Aquatic Research*. 2016. V. 8. No 1. Pp. 1-13.
43. Jiang Z., Qian, D., Liang, Z., et al. Evaluation of dietary essential amino acid supplementation on growth, digestive capacity, antioxidant, and intestine health of the juvenile redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus*. *Aquaculture Nutrition*. 2024. V. 2024. No 1. Art. 8767751.

44. Tan Q., Song D., Chen X., Xie S., Shu X. Replacing fish meal with vegetable protein sources in feed for juvenile red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*: Effects of amino acids supplementation on growth and feed utilization. *Aquaculture Nutrition*. 2018. V. 24. No 2. Pp. 858-864.

45. Zharchynska V., Hrynevych N. Assessment of energy and biological value of *Cherax quadricarinatus* meat after feeding crayfish with different types of feed. *Animal Husbandry Products Production and Processing*. 2023. No 2. Pp. 12-21.

46. Pavasovic A., Anderson A. J., Mather P. B., Richardson N. A. Effect of a variety of animal, plant and single cell-based feed ingredients on diet digestibility and digestive enzyme activity in redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (Von Martens 1868). *Aquaculture*. 2007. V. 272. No 1-4. Pp. 564-572.

47. Pavasovic A. Evaluation of the nutritional requirements of redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus*: Doctoral dissertation. Queensland University of Technology, 2008. 172 p.

48. Ghanawi J., Saoud I. P. Molting, reproductive biology, and hatchery management of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens 1868). *Aquaculture*. 2012. V. 358. Pp. 183-195.

49. Bandara T. Alternative feed ingredients in aquaculture: Opportunities and challenges. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 2018. V. 6. No 2. Pp. 3087-3094.

50. Walters R. Fishmeal and Fish Oil Alternatives: A Sustainable Solution for Aquaculture. *Fisheries and Aquaculture Journal*. 2024. V. 15. No 3. Art. 368.

51. Núñez-Amao L., Naranjo-Páramo J., Hernández-Llamas A., Vargas-Mendieta M., Villarreal H. Estimating production costs of preadult redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, reared in a commercial nursery system: a stochastic bioeconomic approach. *Journal of the World Aquaculture Society*. 2019. V. 50. No 1. Pp. 172-185.

52. Greco L. S. L., Stumpf L., Timpanaro S., et al. Impact of low-cost diets on maturation of the red claw crayfish *Cherax quadricarinatus*: An integrative approach during a long-term study. *Aquaculture*. 2022. V. 561. Art. 738614.

53. Tan G. T., Nacor M. M., Ramos R. A., Samson K. L. L., Sanchez R. N. Comparative analysis of Australian red claw crayfish growth, protein content and meat characteristics across diverse natural feeds. *Agricultural Development*. 2025. V. 10. No 4. Pp. 31-37.

Информация об авторах

Пахомов Виктор Иванович, доктор технических наук, член-корреспондент РАН, директор, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (Российская Федерация, 347740, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Научный городок, 3), профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (Российская Федерация, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID: 0000-0002-8715-0655, e-mail: vniizk30@mail.ru

Брагинет Сергей Валерьевич, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (Российская Федерация, 347740, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Научный городок, 3), доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (Российская Федерация, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID: 0000-0001-7137-5692, e-mail: sbraginet@mail.ru

Бахчевников Олег Николаевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (Российская Федерация, 347740, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Научный городок, 3), ORCID: 0000-0002-3362-5627, e-mail: oleg-b@list.ru

Коханов Юрий Борисович, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (Российская Федерация, 344000, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID: 0000-0002-3669-3115, e-mail: ykohanov@donstu.ru

Authors' Information

Pakhomov Viktor Ivanovich, Doctor of Engineering Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director, Agricultural Research Centre Donskoy (Russian Federation, 347740, Rostov Region, Zernograd, Nauchnyy Gorodok St., 3), ORCID: 0000-0002-8715-0655, e-mail: vniizk30@mail.ru

Braginets Sergey Valereyevich, Doctor of Engineering Sciences, Leading Researcher, Agricultural Research Centre Donskoy (Russian Federation, 347740, Rostov Region, Zernograd, Nauchnyy Gorodok St., 3), Associate Professor, Don State Technical University (Russian Federation, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1), ORCID: 0000-0001-7137-5692, e-mail: sbraginet@mail.ru

Bakhchevnikov Oleg Nikolayevich, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher, Agricultural Research Center Donskoy (Russian Federation, 347740, Rostov Region, Zernograd, Nauchnyy Gorodok St., 3), ORCID: 0000-0002-3362-5627, e-mail: oleg-b@list.ru

Kokhanov Yuriy Borisovich, Senior Lecturer, Don State Technical University (Russian Federation, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1), ORCID: 0000-0002-3669-3115, e-mail: ykohanov@donstu.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-39

THE GENETIC STRUCTURE CHARACTERISTICS OF THE HEREFORD AND KAZAKH WHITE-HEADED POPULATIONS AT STR-LOCUS IN THE SOUTHERN URALS

Gerasimov N. P., Dzhulamanov K. M., Elemesov B. K., Iskhakov D. Sh.

Federal Research Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences
Orenburg, Russian Federation

Correspondent author E-mail: nick.gerasimov@rambler.ru

Received 02.12.2025

Submitted 25.03.2026

The study was funded by the Russian Science Foundation grant No. 24-26-00264.

Abstract

Introduction. An urgent task in beef cattle breeding is to develop a practical strategy for supporting, conserving, and genetically improving domestic breed resources using molecular genetic data. This study aimed to compare the genetic structure and diversity of the Hereford and Kazakh White-Headed breeds using microsatellite DNA markers. **Material and methods.** The study included the cattle of the Hereford

breed (n=153, group I) and the Kazakh White-Headed breed (n=75, group II). Genotyping was performed at 10 microsatellite loci: BM1818, BM1824, BM2113, ETH10, SPS115, TGLA122, TGLA126, TGLA227, TGLA53 and INRA023. **Results and conclusions.** In both groups, the BM2113 locus showed the highest level of polymorphism (PIC=0.805-0.841). The results also showed a high level of observed heterozygosity (0.696-0.742) and number of effective alleles (3.699-3.861), confirming the genetic diversity within the breeds. An excess of heterozygosity was observed in the Kazakh White-Headed population ($F = -0.042$), while the Herefords showed a balance between inbreeding and outbreeding, with a value of $F = 0$, indicating a higher level of genetic similarity. There is moderate differentiation between the Hereford and Kazakh White-Headed breeds ($F_{st} = 0.048$, $P = 0.001$), with a genetic distance of 0.133 and similarity of 0.876 between these populations. These results suggest that the two breeds are sufficiently different to be considered as separate breeds, supporting the policy of maintaining the genetic diversity of the domestic cattle population.

Keywords: Hereford cattle breed, Kazakh white-headed cattle breed, genetic structure of cattle populations, cattle breeding conditions, and inbreeding stability.

Citation. Gerasimov N. P., Dzhulamanov K. M., Elemesov B. K., Sangakov A. K., Iskhakov D. Sh. The genetic structure characteristics of the Hereford and Kazakh white-headed populations at STR-loci in the Southern Urals. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 366-374 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-39.

Authors' contribution. In this research, all of the authors participated in the preparation, execution, and analysis of the obtained research results. The presented version of the article was approved by the authors.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

УДК 636.2.082+636.2.033

ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕНЕТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОПУЛЯЦИЙ ГЕРЕФОРДСКОЙ И КАЗАХСКОЙ БЕЛОГОЛОВОЙ ПОРОД ПО STR-ЛОКУСАМ НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

Герасимов Н. П., доктор биологических наук
Джуламанов К. М., доктор сельскохозяйственных наук
Елемесов Б. К., аспирант
Исхаков Д. Ш., аспирант

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН
г. Оренбург, Российская Федерация

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00264.

Актуальность. Актуальной задачей мясного скотоводства является выработка практической стратегии поддержки, сохранения и генетического улучшения отечественных породных ресурсов с использованием молекулярно-генетических данных. Исследование проведено с целью сравнительного анализа генетической структуры и разнообразия герефордской и казахской белоголовой пород по микросателлитным локусам ДНК. **Материал и методы.** Объектом исследования являлось поголовье герефордской ($n = 153$; I группа) и казахской белоголовой ($n = 75$; II группа) пород. Генотипирование проведено по 10 микросателлитным локусам: BM1818, BM1824, BM2113, ETH10, SPS115, TGLA122, TGLA126, TGLA227, TGLA53 и INRA023. **Результаты и выводы.** В обеих группах наиболее высокий уровень полиморфизма зафиксирован для локуса BM2113 (PIC = 0,805-0,841). Результаты свидетельствуют о значительном генетическом разнообразии изучаемых стад мясного скота, что подтверждается уровнем фактической гетерозиготности 0,696-0,742 и количеством эффективных аллелей 3,699-3,861. Избыток гетерозигот выявлен в популяции казахского белоголового скота ($F = -0,042$), тогда как у герефордов отмечалось равновесие между инбридингом и аутбридингом со значением $F = 0$, что отражает более высокое внутривидовое генетическое сходство. Между герефордской и казахской белоголовой породами установлена умеренная дифференциация ($F_{st} = 0,048$; $P = 0,001$). Генетическая дистанция по Нею между исследуемыми популяциями составляла 0,133, а сходство 0,876. Таким образом, две породы различаются в достаточной степени, чтобы считаться отдельными. Это оправдывает политику сохранения идентичности генофонда отечественных мясных пород скота.

Ключевые слова: герефордская порода КРС, казахская белоголовая порода КРС, генетическая структура популяций КРС, условия разведения КРС, внутривидовая стабильность.

Цитирование. Герасимов Н. П., Джуламанов К. М., Елемесов Б. К., Исхаков Д. Ш. Характеристика генетической структуры популяций герефордской и казахской белоголовой пород по STR-локусам на Южном Урале. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 366-374. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-39.

Авторский вклад. В данной работе все авторы принимали участие в подготовке, выполнении и анализе полученных результатов исследований. Представленный вариант статьи одобрен авторами.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Генетическое разнообразие имеет большое значение для адаптации крупного рогатого скота к природно-климатическим условиям разведения, устойчивости к болезням и поддержания внутривидовой стабильности, что делает его ключевым ресурсом в современном животноводстве [1, 2]. Изменчивость генофонда расширяет возможности селекционных программ, обеспечивая широкий спектр фенотипических качеств, которые позволяют проводить целенаправленный отбор на повышение продуктивности, улучшение здоровья и устойчивости к воздействию окружающей среды [3, 4]. Кроме того, поддержание генетического разнообразия способствует сохранению уникальных признаков местных пород, востребованных в пороодообразовательном процессе [5]. Отечественные популяции мясного скота отличаются адаптационной пластичностью к конкретным условиям окружающей среды и эффективно используют местные кормовые ресурсы, что создает им уникальное преимущество для стабильного производства говядины [6]. В условиях бесконтрольного поглотительного скрещивания с участием высокопродуктивных генотипов малочисленные локальные породы находятся под угрозой исчезновения. Поэтому возникает необходимость в контроле генетического разнообразия местных популяций на уровне генома, чтобы отслеживать изменения в их генофонде под воздействием селекционных инициатив. При анализе отечественных породных и племенных ресурсов широкое применение нашли микросателлитные последовательности ДНК из-за частоты встречаемости, высокого полиморфизма, равномерного распределения в кодирующих и не кодирующих областях генома, наследования согласно законам Менделя, а также простоты идентификации с использованием метода полимеразной цепной реакции (ПЦР) и электрофореза [7, 8]. Микросателлиты, короткие tandemные повторы (STR) из небольшого количества повторяющихся звеньев, содержащих 3-6 нуклеотидов. Количество повторов обычно составляет от 5 до 60 раз, длина фрагмента обычно не превышает 400 п.н. [9, 10].

Герефордская и казахская белоголовая породы имеют тесные родственные связи, которые выражаются в фенотипическом сходстве. Казахская белоголовая порода создана на основе улучшающего подбора герефордских производителей к маточному поголовью местного калмыцкого и казахского скота, от которого унаследованы выдающиеся адаптационные способности к различным климатическим условиям России. До недавнего времени из-за существенного фенотипического сходства и доступности импортного племенного материала в практике селекционно-племенной работы применяли поглотительное скрещивание отечественной породы герефордами, в результате чего идентичность и уникальность генофонда исчезала [11]. Потенциальные негативные последствия бесконтрольного скрещивания могут выражаться в потере внутривидовой генеалогической структуры, снижению адаптационных способностей и повышению риска инбредной депрессии в местных популяциях [12]. Актуальной задачей мясного скотоводства является выработка практической стратегии поддержки, сохранения и генетического улучшения отечественных породных ресурсов с использованием молекулярно-генетических данных для повышения продуктивности животных, усилению устойчивости и эффективности отрасли [13]. Критическую важность эта задача приобретает в условиях реализации программы импортозамещения в агропромышленном комплексе России.

Цель исследования – сравнительный анализ генетической структуры и разнообразия герефордской и казахской белоголовой пород по микросателлитным локусам ДНК.

Материал и методы. Объектом исследования являлось поголовье герефордской ($n = 153$; I группа) из племенного завода ООО «Агрофирма Калининская» Челябинской области и казахской белоголовой ($n = 75$; II группа) пород из племрепродуктора ООО «Омеко-труд» Оренбургской области. В качестве биоматериала у животных отбиралась кровь из яремной вены с использованием вакуумных пробирок с антикоагулянтом (ЭДТА). Генотипирование по STR-локусам проведено набором COrDIS Cattle (ООО «Гордиз», Россия) по 10 микросателлитным локусам (BM1818, BM1824, BM2113, ETH10, SPS115, TGLA122, TGLA126, TGLA227, TGLA53 и INRA023), рекомендованным Международными организациями для контроля происхождения крупного рогатого скота. ДНК-исследования выполнялись на оборудовании ООО «Уралплемсервис» (г. Екатеринбург) в Лаборатории молекулярно-генетической экспертизы ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста (свидетельство о государственной регистрации ПЖ 77 №010366, регистрационный номер 5251280300).

Статистический анализ данных проведен с использованием программы GenAlEx 6.5 [14]. Определяли общее количество аллелей (N_a), число эффективных аллелей (N_e), фактическую гетерозиготность (H_o), ожидаемую гетерозиготность (H_e), индекс Шеннона (I), индекс фиксации (F). Мэру информационного полиморфизма (PIC) рассчитывали согласно рекомендации Чеснокова Ю. В. и Артемьевой А. М. [15]. Соответствие наблюдаемых и ожидаемых генотипов генному равновесию проверяли методом хи-квадрат (χ^2).

Результаты и обсуждение. Генотипирование герефордской породы по 10 локусам BM1818, BM1824, BM2113, TGLA227, ETH10, TGLA122, TGLA126, SPS115, TGLA53, INRA023 позволило идентифицировать 89 аллелей (N), размер которых варьировал от 69 до 294 пар нуклеотидов (таблица 1). В казахской белоголовой породе в тех же локусах выявлено на 23 аллеля меньше, длина которых составляла 81-270 п.н. Породные особенности также обнаруживались в количестве аллелей в изучаемых локусах, которое колебалось по I группе в диапазоне 6-12 ед. и в среднем составляло $8,9 \pm 0,69$ аллелей на локус, а во II группе – 4-10 ед. и $6,6 \pm 0,65$ соответственно. Аллелофонд герефордов был шире в 9 участках на 1-4 ед. Лишь в локусе BM1818 количество аллелей у казахской белоголовой породы превышало на 1 ед. В исследуемых популяциях наиболее информативным являлся TGLA53-локус, в котором выявлено 12 и 10 аллелей соответственно у герефордской и казахской белоголовой пород. Наименьшая полиморфность по I и II группам отмечалась на участке ETH10, где фиксировалось 6 и 4 аллелей.

Таблица 1 – Генетическая структура герефордской и казахской белоголовой пород по микросателлитным локусам

Table 1 – Genetic structure of the Hereford and Kazakh White-Headed breeds by microsatellite loci

Локус / Loci	Аллель / Allele	Группа / Group		Локус / Loci	Аллель / Allele	Группа / Group	
		I	II			I	II
BM1818	254	-	0,020	ETH10	213	0,003	-
	260	0,053	0,040		215	0,105	0,040
	262	0,209	0,360		217	0,271	0,320
	264	0,056	0,040		219	0,242	0,480
	266	0,646	0,380		221	0,376	0,160
	268	0,017	0,060		225	0,003	-
	270	0,020	0,100		139	-	0,020
BM1824	176	0,013	0,000	TGLA122	141	0,066	-
	178	0,177	0,460		143	0,457	0,320
	180	0,083	0,160		147	0,033	0,020
	182	0,477	0,180		149	0,076	-
	184	0,010	-		151	0,106	0,320
	186	0,017	-		153	0,013	0,020
	188	0,180	0,180		161	0,099	0,220
BM2113	190	0,043	0,020		163	0,007	-
	121	-	0,040	TGLA126	165	0,007	-
	125	0,020	0,060		169	0,050	-
	127	0,017	0,060		179	0,003	-
	129	0,036	-		183	0,083	0,080
	131	0,050	0,060		107	0,030	-
	133	0,103	0,260		113	0,003	-
	135	0,278	0,080		115	0,418	0,475
	137	0,076	0,100		117	0,431	0,450
	139	0,291	0,120		119	0,003	-
	141	0,109	0,220		121	0,066	0,050
	143	0,017	-		123	0,046	0,025
TGLA227	162	0,003	-		126	0,003	-
	69	0,003	-	SPS115	244	0,003	-
	79	0,003	-		246	0,010	-
	81	0,085	0,088		248	0,248	0,320
	83	0,065	0,059		252	0,156	0,100
	85	-	0,059		254	0,083	0,020
	87	0,127	0,147		256	0,126	0,060
	89	0,294	0,294		258	0,007	-
	91	0,275	0,147		260	0,368	0,500
	93	0,069	0,176				
TGLA53	97	0,078	0,029	INRA023	194	-	0,060
	154	0,010	0,040		200	0,016	0,040
	158	0,026	-		202	0,003	-
	160	0,230	0,220		206	0,158	0,180
	162	0,329	0,280		208	0,115	0,120
	164	0,020	0,100		210	0,003	0,040
	166	0,049	0,020		212	0,010	-
	168	0,076	0,020		214	0,688	0,540
	170	0,026	0,080		216	0,003	0,020
	172	0,099	0,200		294	0,003	-
	176	0,118	0,020				
	178	0,013	-				
	184	0,003	-				
	186	-	0,020				

При существенном превосходстве в количестве наблюдаемых аллелей в генофонде герефордского стада ранг распределения пород по числу эффективных аллелей (N_e) менялся. Наибольший параметр N_e фиксировался у казахского белоголовой скота на уровне 38,608 аллелей, что на 1,621 ед. выше аналогов из I группы. Снижение активно действующих аллелей относительно фактически идентифицированных у герефордов составляло 52,013 ед., тогда как у казахской белоголовой породы лишь 27,392 ед. В среднем на локус приходилось $3,70 \pm 0,373$ и $3,86 \pm 0,443$ аллелей соответственно в I и II группах, что значительно ниже по сравнению с их наблюдаемым (N_a) количеством (рисунок 1). С уменьшением числа эффективных аллелей, снижается генетическое разнообразие популяции. Число активно действующих аллелей по изученным микросателлитам колебалось у герефордов от 1,956 в локусе INRA023 до 5,123 в локусе TGLA53, у казахской белоголовой от 2,319 в локусе TGLA126 до 6,281 в локусе BM2113.

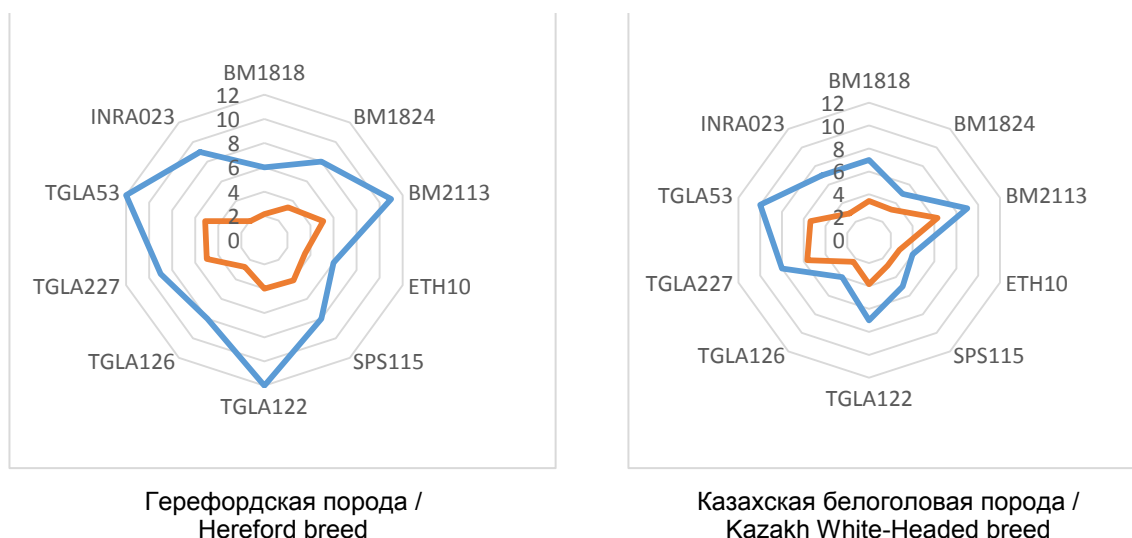


Рисунок 1 – Динамика числа аллелей в исследованных микросателлитах в герефордской и казахской белоголовой породах (N_a – число аллелей; N_e – число эффективных аллелей)

Figure 1 – Dynamics of the number of alleles in the studied microsatellites in the Hereford and Kazakh White-Headed breeds (N_a is the number of alleles; N_e is the number of effective alleles)

Общей для двух пород является 214-аллель локуса INRA023, встречаемость которой у герефордов была 0,688, а у казахской белоголовой – 0,540. Также с высокой частотой в изучаемых популяциях встречались аллели 115 ($p = 0,418-0,475$) и 117 ($p = 0,431-0,450$) локуса TGLA126. Специфичными для герефордского стада аллелями, которые встречались у более 45 % поголовья, являются 266-аллель локуса BM1818 с частотой 0,646, а также аллели 182 и 143, которые выявлены у 47,7 % и 45,7 % животных в локусах BM1824 и TGLA122 соответственно. Специфичными для казахской белоголовой породы являлись аллели 260 ($p = 0,500$) локуса SPS115, 178 ($p = 0,460$) в BM1824, 219 ($p = 0,480$) в ETH10. В остальных локусах аллели распределены более равномерно, а в среднем количество аллелей с частотой более 5 % было равным для обеих популяций и составляло 4,6 на локус.

Генетическое разнообразие популяции во многом зависит как от частоты полиморфных локусов, так и от числа аллелей в них входящих. Локусы считаются полиморфными, когда число вариантов, входящих в него аллелей больше или равно двум, а частота наиболее распространенных аллелей не превышает предела – 0,95. При этом локусы могут принадлежать как к гомозиготным, так и гетерозиготным генотипам.

Доля гомозиготных генотипов значительно варьирует в разрезе отдельных локусов от 16,3 до 53,3 %, соответственно на ETH10 и INRA023 участках, а в среднем доля гомозиготности по герефордскому стаду составляет $30,4 \pm 3,55$ %, что указывает на довольно невысокий уровень гомозиготности изучаемой популяции (таблица 2). В казахской белоголовой породе наблюдались следующие показатели гомозиготности: по отдельным локусам колебания составляли от 8,0 до 60,0 % в локусах BM2113 и TGLA126, а в среднем по стаду $25,8 \pm 4,27$ %. Более высокий процент гомозиготности указывает на снижение генетического и

фенотипического разнообразия и повышение однородности герефордской популяции, ее генетической идентичности. В этой связи поголовье казахской белоголовой породы отличается относительно большим резервом генетического разнообразия, что подтверждает отрицательное значение коэффициента инбридинга особей в популяции ($F_{is} = -0,042 \pm 0,051$), тогда как у герефордов данный параметр составлял $0,000 \pm 0,026$.

Таблица 2 – Характеристика популяций герефордской и казахской белоголовой пород по гомозиготности и гетерозиготности

Table 2 – Characteristics of Hereford and Kazakh White-Headed populations by homozygosity and heterozygosity

Локус / Loci	Уровень гомозиготности (Ca), % / Level of homozygotisy (Ca), %		Наблюдаемая гетерозиготность (Ho) / Observed heterozygosity (Ho)		Ожидаемая гетерозиготность (He) / Expected heterozygosity (He)		Значение P для χ^2 – критерия по уравнению Харди-Вайнберга / P-value for χ^2 – criterion according to the Hardy-Weinberg equation	
	I группа / I group	II группа / II group	I группа / I group	II группа / II group	I группа / I group	II группа / II group	I группа / I group	II группа / II group
BM1818	44,4	24,0	0,556	0,760	0,533	0,709	0,024*	0,965
BM1824	32,0	24,0	0,680	0,760	0,700	0,698	0,000***	0,546
BM2113	27,2	8,0	0,728	0,920	0,805	0,841	0,113	0,846
ETH10	16,3	20,0	0,837	0,800	0,716	0,640	0,146	0,330
SPS115	24,5	24,0	0,755	0,760	0,756	0,634	0,232	0,028*
TGLA122	22,5	32,0	0,775	0,680	0,749	0,739	0,767	0,590
TGLA126	33,6	60,0	0,664	0,400	0,632	0,569	0,039*	0,357
TGLA227	20,9	17,6	0,791	0,824	0,800	0,824	0,248	0,461
TGLA53	28,9	24,0	0,711	0,760	0,805	0,814	0,004**	0,406
INRA023	53,3	24,0	0,467	0,760	0,489	0,654	0,000***	0,713
В среднем / Average	30,4 ± 3,55	25,8 ± 4,27	0,696 ± 0,035	0,742 ± 0,043	0,698 ± 0,036	0,712 ± 0,029	-	-

Наблюдаемая гетерозиготность (H_o) в исследуемых популяциях оказалась довольно высокой 0,696-0,742. Однако доля гетерозиготных генотипов в стаде казахской белоголовой породы превышала герефордов на 4,6 %. Среди отдельных локусов фактическая гетерозиготность в I группе варьировала в диапазоне от 0,467 (INRA023) до 0,837 (ETH10). Тогда как во II группе изменчивость анализируемого параметра наблюдалась в более широкой амплитуде от 0,400 (TGLA126) до 0,920 (BM2113).

В популяции герефордов из 10 исследуемых микросателлитных локусов в 4 случаях фактическая гетерозиготность превосходила ожидаемый показатель, а именно в локусах BM1818, ETH10, TGLA122 и TGLA126. В стаде казахской белоголовой породы преимущество наблюдаемой величины регистрировалось уже на 6 участках: BM1818, BM1824, BM2113, ETH10, SPS115 и INRA023.

В шести STR-маркерах герефордской породы и в четырех у стада казахского белоголового скота наблюдался дефицит гетерозиготности ($H_e > H_o$). Если наблюдаемая и ожидаемая гетерозиготности достоверно не различаются между собой, то скрещивание в популяции происходит практически случайно. Более низкое значение ожидаемой гетерозиготности указывает на инбредность популяции, а превышение наблюдаемой гетерозиготности над ожидаемой указывает на преобладание случайного скрещивания над инбридингом.

Достоверные различия между ожидаемыми и наблюдаемыми частотами в популяции герефордов отмечались по локусам BM1818 ($P < 0,05$), BM1824 ($P < 0,001$), TGLA126 ($P < 0,05$), TGLA53 ($P < 0,01$) и INRA023 ($P < 0,001$), а разница между средними величинами составляла 0,002 ($P > 0,05$) в пользу ожидаемого коэффициента. В группе казахской белоголовой породы значительные различия установлены лишь на участке SPS115 ($P < 0,05$). Следовательно, скрещивание в популяции герефордов происходит неслучайно, и наблюдается незначительная инбредность в стаде, обусловленная искусственным отбором животных. Напротив, подбор родительских пар в группе казахского белоголового скота происходит без четкого селекционного плана. Высокие значения показателей наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности указывают, на использование открытой системы разведения данной популяции и низкого уровня инбридинга в ней.

Одним из наиболее часто используемых инструментов для характеристики популяционного разнообразия является информационный индекс Шеннона. Более высокое значение индекса показывает на повышенный уровень разнообразия локуса. В герефордской породе информационный индекс Шеннона отличался умеренной вариабельностью от 0,986 в локусе INRA023 до 1,919 в локусе TGLA53, а в среднем по стаду составлял $1,506 \pm 0,109$ (таблица 3). В популяции казахского белоголового скота индекс Шеннона изменялся в пределах от 0,955 на участке TGLA126 до 2,005 в локусе BM2113. Полученные данные свидетельствуют о существенной генетической неоднородности изучаемых популяций.

Таблица 3 – Показатели генетического разнообразия герефордской и казахской белоголовой пород по микросателлитным локусам

Table 3 – Indicators of the genetic diversity of the Hereford and Kazakh White-Headed breeds by microsatellite loci

Локус / Loci	Индекс Шеннона (I) / Shannon Index (I)		Мера информационного полиморфизма (PIC) / Polymorphism information content (PIC)		Индекс фиксации (F) / Fixation index (F)	
	I группа / I group	II группа / II group	I группа / I group	II группа / II group	I группа / I group	II группа / II group
BM1818	1,073	1,470	0,533	0,709	-0,044	-0,072
BM1824	1,483	1,346	0,700	0,698	0,028	-0,089
BM2113	1,889	2,005	0,805	0,841	0,095	-0,094
ETH10	1,339	1,139	0,716	0,670	-0,169	-0,250
SPS115	1,568	1,188	0,756	0,634	0,002	-0,199
TGLA122	1,812	1,499	0,749	0,739	-0,034	0,080
TGLA126	1,209	0,955	0,632	0,569	-0,051	0,297
TGLA227	1,786	1,881	0,800	0,824	0,011	0,000
TGLA53	1,919	1,885	0,805	0,814	0,117	0,066
INRA023	0,986	1,400	0,489	0,654	0,044	-0,161
В среднем / Average	$1,506 \pm 0,109$	$1,477 \pm 0,111$	$0,699 \pm 0,036$	$0,715 \pm 0,028$	$0,000 \pm 0,026$	$-0,042 \pm 0,051$

Средние значения меры информационного полиморфизма (PIC) оказались довольно высокими в изучаемых популяциях и варьировали в пределах 0,699-0,715, с преимуществом у казахской белоголовой породы на 0,016. Причем в обеих группах наиболее высокий уровень полиморфизма зафиксирован для локуса BM2113 (PIC = 0,805-0,841).

Основываясь на данных индекса фиксации (F) отечественная популяция казахского белоголового скота демонстрируют отрицательные значения F, что указывает на условия аутбридинга. Популяции со значениями $F < 0$ классифицируются как подверженные аутбридингу, что указывает на увеличение генетического разнообразия и снижение родства между особями. Напротив, в популяции герефордской породы со значениями $F = 0$ отмечается равновесие между инбридингом и аутбридингом, что отражает более высокое внутрипородное генетическое сходство. Таким образом, общее среднее значение индекса фиксации внутри популяции казахского белоголового скота составило $F = -0,042$, что свидетельствует о существенном избытке гетерозигот.

Одним из результатов исследований был расчет степени отличия пород друг от друга, и очень широко используемой мерой для этой генетической дифференциации была статистика Fst. Значения Fst от 0,05 до 0,15 характеризуют умеренную дифференциацию между популяциями, от 0,15 до 0,25 – высокую, а более 0,25 – очень высокую дифференциацию. Наши данные свидетельствуют о пороговом значении умеренной дифференциации ($F_{st} = 0,048$; $P = 0,001$) между герефордской и казахской белоголовой породами. Таким образом, две породы различаются в достаточной степени, чтобы считаться отдельными породами. Это оправдывает политику сохранения генофонда отечественной мясной породы скота. Кроме того, генетическая дистанция по Нею между исследуемыми популяциями составляла 0,133, а сходство 0,876.

Заключение. Характеристика генофонда популяций герефордской и казахской белоголовой пород на Южном Урале на основе 10 STR-локусов ДНК свидетельствует о значительном генетическом разнообразии изучаемых стад мясного скота, что подтверждается уровнем фактической гетерозиготности 0,696-0,742 и количеством эффективных аллелей 3,699-3,861. Избы-

ток гетерозигот выявлен в популяции казахского белоголового скота ($F = -0,042$), тогда как у герефордов отмечалось равновесие между инбридингом и аутбридингом со значением $F = 0$, что отражает более высокое внутривидовое генетическое сходство. Между герефордской и казахской белоголовой породами установлена умеренная дифференциация ($F_{st} = 0,048$; $P = 0,001$). Генетическая дистанция по Нею между исследуемыми популяциями составляла 0,133, а сходство 0,876. Таким образом, две породы различаются в достаточной степени, чтобы считаться отдельными породами. Это оправдывает политику сохранения идентичности генофонда отечественных мясных пород скота.

Conclusions. The characteristics of the gene pool in the Hereford and Kazakh White-Headed populations on the Southern Urals, based on 10 STR loci of DNA, indicate a significant genetic diversity among the studied herds of beef cattle. This is confirmed by the level of observed heterozygosity, which ranges from 0.696 to 0.742, and the number of effective alleles, which varies from 3.699 to 3.861. An excess of heterozygotes was found in the population of Kazakh White-Headed cattle ($F = -0,042$). On the other hand, the Herefords showed a balance between inbreeding and outbreeding, with a value of $F=0$, reflecting a higher level of genetic similarity. There is a moderate degree of differentiation between the two breeds ($F_{st}=0,048$; $P=0,001$). The genetic distance between them is 0.133, while the similarity is 0.876, indicating that the two breeds are sufficiently different to be considered as separate breeds. These findings support the policy of maintaining the identity of the domestic beef cattle gene pool.

Библиографический список

1. Часовщикова М. А., Шевелева О. М. Генетическая характеристика крупного рогатого скота герефордской породы Тюменской области с использованием микросателлитных ДНК-маркеров. Вестник ИрГСХА. 2018. № 88. С. 141-150.
2. Hall S. J. G. Genetic Differentiation among Livestock Breeds-Values for Fst. Animals (Basel). 2022. Vol. 12 (9). Art. 1115.
3. Авадани Д. А., Гончаренко Г. М., Хорошилова Т. С. и др. Генетическая характеристика крупного рогатого скота разных пород Западной Сибири по STR-маркерам. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2025. № 5. С. 97-110.
4. Олейник С. А., Лесняк А. В. Оценка генетических параметров в субпопуляции скота джерсейской породы на основе изучения STR-маркеров и их потенциального влияния на изменчивость показателей развития животных. Сельскохозяйственная биология. 2025. Т. 60. № 2. С. 271-286.
5. Гладырь Е. А., Гончаренко Г. М., Горелов П. В. и др. Изучение изменчивости микросателлитов при создании нового типа мясного скота Сибири. Достижения науки и техники АПК. 2011. № 10. С. 30-32.
6. Хайнацкий В. Ю. Характеристика одной из субпопуляций скота казахской белоголовой породы по микросателлитным локусам. Пермский аграрный вестник. 2024. № 3 (47). С. 146-154.
7. Седых Т. А., Гладырь Е. А., Долматова И. Ю. и др. Полиморфизм микросателлитных локусов крупного рогатого скота герефордской породы различных эколого-генетических генераций. Вестник АПК Ставрополя. 2014. № 3(15). С. 121-128.
8. Дубовскова М. П., Шевхужев А. Ф., Погодаев В. А. Резервы генетической изменчивости по STR-локусам в селекции скота герефордской породы, разводимого на Северном Кавказе. Достижения науки и техники АПК. 2025. Т. 39. № 6. С. 42-47.
9. Sheveleva O. M., Bakharev A. A., Chasovshchikova M. A., Krivonogova A. S., Koshchayev A. G., Dunin I. M., Plemyashov K. V. Characterization of the genetic structure of a Hereford breed herd based on STR loci. Amazonia Investigation. 2019. Vol. 8. No. 23. Pp. 278-285.
10. Барсукова М. А., Петров А. Ф., Нарожных К. Н. Оценка генетического разнообразия скота породы герефорд на основе микросателлитных маркеров. Достижения науки и техники АПК. 2025. Т. 39. № 2. С. 52-57.
11. Хайнацкий В. Ю. Генетическая структура стада казахской белоголовой породы по микросателлитным локусам. Пермский аграрный вестник. 2023. № 3(43). С. 118-125.
12. Svishcheva G., Babayan O., Lkhasaranov B., Tsendsuren A., Abdurasulov A., Stolpovsky Y. Microsatellite Diversity and Phylogenetic Relationships among East Eurasian Bos taurus Breeds with an Emphasis on Rare and Ancient Local Cattle. Animals (Basel). 2020. Vol. 10 (9). Art. 1493.
13. Шевелева О. М., Часовщикова М. А. Характеристика генетической структуры стада герефордской породы по STR-локусам. Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 4. С. 71-78.
14. Peakall R., Smouse P. E. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research – an update. Bioinformatics. 2012. Vol. 28. Pp. 2537-2539.
15. Чесноков Ю. В., Артемьева А. М. Оценка меры информационного полиморфизма генетического разнообразия. Сельскохозяйственная биология. 2015. Т. 50. № 5. С. 571-578.

References

1. Chasovshchikova M. A., Sheveleva O. M. Genetic characteristics of the cattle of the Hereford breed of the Tyumen region using microsatellite DNA markers. News of IrGSHA. 2018. Vol. 88. Pp. 141-150.
2. Hall S. J. G. Genetic Differentiation among Livestock Breeds-Values for Fst. Animals (Basel). 2022. Vol. 12 (9). Art. 1115.
3. Avadani D., Goncharenko G. M., Khoroshilova T. S., Grishina N. B., Khalina O. L., Zaboriskikh E. Yu., Kondrashkova I. S. Genetic characteristics of cattle breeds in Western Siberia using STR markers. News of the Timiryazev Agricultural Academy. 2025. Vol. 1 (5). Pp. 97-110.
4. Oleinik S. A., Lesnyak A. V. Assessment of genetic parameters in a subpopulation of Jersey cattle based on the study of STR markers and their potential impact on the variability of animal development indicators. Agricultural Biology. 2025. Vol. 60. No. 2. Pp. 271-286.

5. Gladyr E. A., Goncharenko G. M., Gorelov P. V., Goryacheva T. S., Soloshenko V. A., Khramtsova I. A., Zinovieva N. A. The study of microsatellite variability during creation of new Syberian type of beef cattle. Achievements of science and technology in agro-industrial complex. 2011. Vol. 10. Pp. 30-32.
6. Khaynatskiy V. Yu. Characteristics of one of the subpopulations of Kazakh White-Headed cattle by microsatellite loci. Perm Agrarian Journal. 2024. Vol. 3 (47). Pp. 146-154.
7. Sedih T. A., Gladir E. A., Dolmatova I. Yu., Volkova V. V., Gizatullin R. S., Zinov'eva N. A. Microsatellite polymorphism of different ecological and genetic Hereford cattle generations. Agricultural bulletin of Stavropol region. 2014. Vol. 3 (15). Pp. 121-128.
8. Dubovskova M. P., Shevkhuzhev A. F., Pogodaev V. A. Genetic variability reserves for STR loci in the breeding of Hereford cattle bred in the North Caucasus. Achievements of science and technology in agro-industrial complex. 2025. Vol. 39 (6). Pp. 42-47.
9. Sheveleva O. M., Bakharev A. A., Chasovshchikova M. A., Krivonogova A. S., Koshchaev A. G., Dunin I. M., Plemyashov K. V. Characterization of the genetic structure of a Hereford breed herd based on STR loci. Amazonia Investiga. 2019. Vol. 8. No. 23. Pp. 278-285.
10. Barsukova M. A., Petrov A. F., Narodnykh K. N. Assessment of genetic diversity of Hereford cattle based on microsatellite markers. Achievements of science and technology in agro-industrial complex. 2025. Vol. 39 (2). Pp. 52-57.
11. Khaynatskiy V. Yu. Genetic structure of the herd of Kazakh White-Headed breed by microsatellite loci. Perm Agrarian Journal. 2023. Vol. 3 (43). Pp. 118-125.
12. Svishcheva G., Babayan O., Lkhasaranov B., Tsendsuren A., Abdurasulov A., Stolpovsky Y. Microsatellite Diversity and Phylogenetic Relationships among East Eurasian Bos taurus Breeds with an Emphasis on Rare and Ancient Local Cattle. Animals (Basel). 2020. Vol. 10 (9). Art. 1493.
13. Shevelyova O. M., Chasovshchikova M. A. Characteristics of the genetic structure of the Herford herd according to STR loci. Animal husbandry and fodder production. 2018. Vol. 101 (4). Pp. 71-78.
14. Peakall R., Smouse P. E. GenAIEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research – an update. Bioinformatics. 2012. Vol. 28. Pp. 2537-2539.
15. Chesnokov Yu. V., Artemeva A. M. Evaluation of the measure of polymorphism information of genetic diversity. Agricultural Biology. 2015. Vol. 50. No. 5. Pp. 571-578.

Информация об авторах

Герасимов Николай Павлович, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29), e-mail: nick.gerasimov@rambler.ru

Джуламанов Киниспай Мурзагулович, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий селекционно-генетическим центром по мясным породам скота, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29), e-mail: kinispai.d@yandex.ru

Елемесов Бауыржан Кенесович, аспирант, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29), e-mail: elemesovb@inbox.ru

Исхаков Дамир Шамильевич, аспирант, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29), e-mail: Damir_is@mail.ru

Authors' Information

Gerasimov Nikolay Pavlovich, Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher, Federal Research Centre of Biological Systems and Agricultural technologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460000, Orenburg, 9 Yanvarya Str., 29), e-mail: nick.gerasimov@rambler.ru

Dzhulamanov Kinispay Murzagulovich, Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Breeding and Genetic Center for Beef Cattle, Federal Research Centre of Biological Systems and Agricultural technologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460000, Orenburg, 9 Yanvarya Str., 29), e-mail: kinispai.d@yandex.ru

Elemesov Bauyrzhan Kenesovich, postgraduate student, Federal Research Centre of Biological Systems and Agricultural technologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460000, Orenburg, 9 Yanvarya Str., 29), e-mail: elemesovb@inbox.ru

Iskhakov Damir Shamil'evich, postgraduate student, Federal Research Centre of Biological Systems and Agricultural technologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460000, Orenburg, 9 Yanvarya Str., 29), e-mail: Damir_is@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-40

THE STUDY OF THE MANYCHSKY MERINO SHEEP BREED *FSHR* GENE POLYMORPHISM AND STRUCTURAL FEATURES^{1,2}Krivoruchko A. Y., ^{1,2}Safaryan E. Y., ^{1,2}Skorykh L. N., ²Khubaeva F. A.¹North Caucasian Federal National Research Center
Mikhailovsk, Stavropol region, Russian Federation²North Caucasus Federal University
Stavropol, Russian Federation

Corresponding author E-mail: telegina.helen@yandex.ru

Received 28.10.2025

Submitted 19.02.2026

The work was carried out with the financial support of grant No. 25-16-20051 dated April 17, 2025, from the Russian Science Foundation.**Summary**

The article presents the results of a study of the polymorphism and structural characteristics of the *FSHR* gene in sheep of the Manychsky Merino breed. Using whole-genome sequencing data, a high level of polymorphism was revealed: 2065 variants were identified, of which 1607 were located in intronic areas. Key

polymorphisms in the 5'UTR, 3'UTR, and exonic areas, including synonymous and non-synonymous substitutions, are described. The identified genetic features create a basis for the development of molecular genetic markers for breeding.

Abstract

Introduction. Studying the genetic polymorphism of candidate genes in agricultural animals is a relevant direction of modern genetics. The *FSHR* gene plays a key role in regulating reproductive function and can be associated with economically valuable traits. **Object.** The object of the research was sheep of the Manychsky Merino breed (n=20). **Materials and methods.** The studies were conducted at the laboratories of the All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding and the North Caucasus Federal University. Genomic DNA was isolated from the animals' blood. Whole-genome sequencing was performed on the Illumina NovaSeq 6000 platform. Genomic DNA was isolated from blood samples. Polymorphisms were identified relative to the reference genome *Ovis aries* ARS-UI_Ramb_v2.0. **Results and conclusion.** A total of 2065 polymorphisms were identified in the *FSHR* gene. In the 5'UTR region, 9 SNPs were found, in the 3'UTR – 4 SNPs, including the unique c.*308C>A variant. Six polymorphisms were identified in the coding areas, with 83 % being transitions and 17 % transversions. Three synonymous (c.692A>G, c.696T>C, c.1113T>C) and three non-synonymous (c.783T>G, p.Phe261Leu; c.854C>T, p.Thr285Ile; c.28G>A, p.Ala10Thr) substitutions were described. The identified polymorphisms are promising for further research into their association with reproductive and productive traits of sheep.

Keywords: sheep breeds, sheep farming, Manychsky Merino, *FSHR* gene, SNP, genotypes, breeding.

Citation. Krivoruchko A. Yu., Safaryan E. Yu., Skorykh L. N., Khubaeva F. A. The study of the Manychsky Merino sheep breed *FSHR* gene polymorphism and structural features. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 374-382 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-40.

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 636.3:575.113

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМОРФИЗМА И СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГЕНА *FSHR* У ОВЕЦ ПОРОДЫ МАНЫЧСКИЙ МЕРИНОС

^{1,2}Криворучко А. Ю., доктор биологических наук, главный научный сотрудник

^{1,2}Сафарян Е. Ю., кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

^{1,2}Скорых Л. Н., доктор биологических наук, доцент, главный научный сотрудник

²Хубаева Ф. А., студент

¹ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»

г. Михайловск, Шаповский район, Ставропольский край, Российская Федерация

²ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

г. Ставрополь, Российская Федерация

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта № 25-16-20051 от 17.04.2025 г. за счет средств Российского научного фонда.

Актуальность. Изучение генетического полиморфизма генов-кандидатов у сельскохозяйственных животных является актуальным направлением современной генетики, открывающим новые возможности для совершенствования селекционных программ. Особый интерес представляет ген *FSHR* (рецептор фолликулостимулирующего гормона), играющий ключевую роль в регуляции репродуктивной функции. Выявление полиморфных вариантов этого гена и их ассоциаций с хозяйственно-ценными признаками может значительно повысить эффективность селекции. **Объект.** Объектом исследований являются овцы породы манычский меринос. **Материалы и методы.** Исследования проводились на базе лабораторий Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства и Северо-Кавказского федерального университета. Геномная ДНК выделялась из крови животных. Полногеномное секвенирование выполнено на платформе Illumina NovaSeq 6000. Анализ полиморфизма проведен относительно референсного генома *Ovis aries* ARS-UI_Ramb_v2.0. **Результаты и выводы.** В гене *FSHR* выявлено 2065 SNP, из них 1607 локализованы в интронных участках. В 5'-UTR области идентифицировано 9 SNP, в 3'-UTR – 4 SNP, включая уникальный вариант c.*308C>A. В кодирующих областях обнаружено 6 полиморфизмов: 3 синонимичных (c.692A>G, c.696T>C, c.1113T>C) и 3 несинонимичных (c.783T>G, p.Phe261Leu; c.854C>T, p.Thr285Ile; c.28G>A, p.Ala10Thr). Выявленные генетические особенности создают основу для разработки ДНК-маркеров для селекции овец на улучшение репродуктивных качеств.

Ключевые слова: породы овец, овцеводство, манычский меринос, ген *FSHR*, SNP, генотипы, селекция.

Цитирование. Криворучко А. Ю., Сафарян Е. Ю., Скорых Л. Н., Хубаева Ф. А. Исследование полиморфизма и структурных особенностей гена *FSHR* у овец породы маньчский меринос. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 374-382. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-40.

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. Одним из актуальных направлений современной генетики является изучение генетического полиморфизма у сельскохозяйственных животных, открывающее новые возможности для совершенствования селекционных программ. Особый интерес представляют исследования ассоциаций полиморфных вариантов генов-кандидатов с хозяйственно-ценными признаками. Маркер-ассоциированная селекция (MAS) на основе выявленных ДНК-маркеров позволяет проводить ранний отбор животных с желаемым генотипом, что значительно повышает эффективность селекционного процесса [1].

Маньчский меринос как объект селекции представляет собой отечественную тонкорунную породу мясо-шерстного направления. Ключевой особенностью породообразования стало сложное воспроизводительное скрещивание маток ставропольской породы с австралийскими мериносами, что позволило сочетать высокие показатели настрига и качества шерсти с хорошими мясными формами и адаптацией к засушливому климату региона [2].

В связи с этим углубленное изучение его генома, в частности генов-кандидатов, ассоциированных с продуктивностью, является высокоактуальной задачей. Особый интерес представляет исследование гена *FSHR* у овец тонкорунных пород, таких как маньчский меринос. Полиморфизм в этом гене может изменять активность рецептора, что отражается на скорости роста, мышечной массе и эффективности откорма животных. Учитывая, что маньчский меринос отличается хорошей скороспелостью и средней мясной продуктивностью, выявление ассоциаций *FSHR* с хозяйственно-полезными признаками может способствовать совершенствованию селекционных программ. Ген *FSHR* (рецептора фолликулостимулирующего гормона) играет важную роль в регуляции репродуктивной функции у животных, является ключевым регулятором процесса фолликулогенеза, определяющего количество и качество яйцеклеток. Он также влияет на репродуктивную производительность овец, например, на многоплодие [3].

Ген *FSHR* у овец расположен на 3 хромосоме (75364065 – 75557720 п.н., 193.656 п.н.) и содержит 10 экзонов и 9 интронов. У других видов этот ген также сохраняет консервативную структуру: у крупного рогатого скота он находится на 11 хромосоме (~77 500 000 – 79 400 000 п.н.), у свиней – на 2 хромосоме (~135 200 000 – 137 100 000 п.н.), сохраняя сходную организацию из 10 экзонов, хотя длина интронных участков и регуляторных областей может варьировать между видами (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) [4, 5].

В последние годы изучение полиморфизма этого гена приобрело особую актуальность в генетике сельскохозяйственных животных, поскольку его вариации могут оказывать влияние не только на воспроизводительные качества, но и на продуктивность, в том числе мясные характеристики. Так, например, в исследовании, учеными был выявлен полиморфизм g.80789180 T>G в гене *FSHR*, значительно влияющий на размер приплода у овец пород дуоланг, саффолк и Ху [6]. У овец оссиими обнаружено 6 SNP у высокоплодных и 10 SNP у низкоплодных особей, однако эти варианты не оказывали значимого влияния на размер помёта [7], тогда как у овец белуджистан мутация с.-278A>G в *FSHR* может повышать репродуктивную эффективность. У KPC промотор *FSHR* обладает видовыми особенностями [4] и уникальными полиморфизмами [3], влияющими на репродукцию. Мутация с.-278A>G гена *FSHR* в 5'-области [5] связаны с фертильностью и суперовуляцией у коров. Учитывая важность генетических факторов в регуляции плодовитости овец, особый интерес представляет изучение полиморфизмов гена *FSHR* у отечественных пород, таких как маньчский меринос [8].

Маньчский меринос – тонкорунная порода овец мясо-шёрстного направления, созданная в Ставропольском крае путём скрещивания австралийских мериносов с матками ставропольской породы (1971-1983). Овцы средней величины, сухой крепкой конституции, с пропорциональным туловищем. Шерсть длинная (22-25 мкм у маток, 25-27 мкм у баранов) [8]. Животные этой породы отличаются высокой адаптацией к засушливым условиям, крупными размерами и улучшенными показателями продуктивности. По сравнению с забайкальской тонкорунной породой, маньчские мериносы превосходят их по настригу мы-

той шерсти на 8,7 %, длине и качеству шерсти, а также демонстрируют более высокую живую массу молодняка на 14,5 % в 4-месячном возрасте. Порода эффективно используется для скрещивания с целью повышения шерстной и мясной продуктивности овец в условиях Забайкалья и других регионов с аналогичным климатом [2].

В связи с этим целью нашего исследования явилось изучение структурных характеристик и выявление полиморфизма в гене *FSHR* у овец породы маньчский меринос.

Материалы и методы. Исследования проводились на базе лабораторий Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства (ВНИИОК) – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» и Северо-Кавказского федерального университета. Объектом исследования служили 30 баранчиков в возрасте одного года породы маньчский меринос. Животные отобраны методом случайной выборки, являлись клинически здоровыми.

Геномная ДНК выделялась из образцов крови, полученных из яремной вены в асептических условиях. Пробы крови отбирали в пробирки Vacutainer® со стабилизатором ЭДТА («Becton Dickinson International», США). ДНК выделяли из 0,1 мл крови с использованием набора для экстракции нуклеиновых кислот «МагноПрайм ВЕТ» («НекстБио», Россия), согласно инструкции производителя. Концентрацию ДНК в растворе измеряли на флуориметре «Qubit 4.0» («Invitrogen/Life Technologies», США). Контроль качества (OD260/280) проводили на спектрофотометре NanoDrop OneC («Thermo-Fisher Scientific, Inc.», США). Подготовка библиотеки осуществлялась с использованием наборов Accel-NGS 2S Plus DNA Library Kit (IDT) for Illumina Platforms («Swift Biosciences, Inc.», США) и TruSeq DNA Nano Library Prep kit («Illumina, Inc.», США), согласно инструкции производителя. Секвенирование проводили с использованием геномного секвенатора NovaSeq 6000 («Illumina, Inc.» США). Было получено два файла FASTQ для каждого образца, соответствующих прямому и обратному считыванию. Общая длина сырых прочтений составила 71-158 Gb. Контроль качества чтений проводился с использованием программного обеспечения FastQC на Illumina's DRAGEN Bio-IT Platform (v. 4.2.4). Q30 значение секвенирования составило > 90,2 %. Длина более 95 % прямых и обратных ридов находилась в пределах 150-151 п.н.

В результате секвенирования полученные фрагменты картировали на референсный геном *Ovis aries* сборка ARS-UI_Ramb_v2.0 (National Center for Biotechnology Information (NCBI). Genome. *Ovis aries*. (2022). Величина покрытия генома (genome coverage) 27-60 кратная. Содержание CG в среднем составляет 44 %. Из геномов были извлечены полные нуклеотидные последовательности генов мясной продуктивности овец (*FSHR*), для дальнейшего поиска генетических вариантов. Участки последовательности включали нуклеотидную позицию гена (начало-конец), номер хромосомы. Были использованы следующие координаты: 3:75364065-75554348 для гена *FSHR*. Для описания обнаруженных однонуклеотидных замен (SNP) использовалась номенклатура HGVS (Human Genome Variation Society). Для каждого полиморфизма вычислялась частота встречаемости аллельных вариантов и генотипов.

Результаты и обсуждение. В ходе исследований было выявлено, что ген *FSHR* у овец содержит ряд SNP, локализованных в ключевых участках ДНК (функциональных доменах). Полногеномное секвенирование показало, что в гене *FSHR* у овец породы маньчский меринос было идентифицировано 2065 полиморфизма. В интронах обнаружено 1607 полиморфизма (рисунок 1). Наибольшее количество мутаций обнаружено в интронах 1 (639 SNP) и 2 (484 SNP), что может быть связано с их крупным размером или наличием регуляторных элементов, тогда как интроны 3 (4 SNP), 5 (6 SNP) и 6 (41 SNP) демонстрируют минимальную изменчивость, что говорит об их высокой стабильности. Данные участки не анализировались детально, так как вариации не изменяют аминокислотную последовательность белка, снижая их функциональную значимость, в дальнейшем исследования будут продолжены. Основное внимание было уделено экзонным и регуляторным участкам с более предсказуемым функциональным воздействием.

В 5'-нетранслируемой области (5'UTR) гена *FSHR* у овец маньчского мериноса было идентифицировано 9 SNP, расположенных в диапазоне от -105 до -20 относительно старта транскрипции (таблица 1). Все обнаруженные SNP имеют подтвержденные идентификаторы в базе данных NCBI dbSNP, что свидетельствует об их достоверном статусе. Анализ распределения аллелей выявил значительное преобладание референсного аллеля

ля для вариантов с.-105C>T (частота аллеля G=0,9) и с.-43T>C (частота аллеля A=0,8). Остальные полиморфизмы (с.-100T>C, с.-81G>C, с.-44G>T и др.) демонстрировали более сбалансированное распределение с частотой референсного аллеля 0,6-0,7 и минорного аллеля 0,4-0,3.

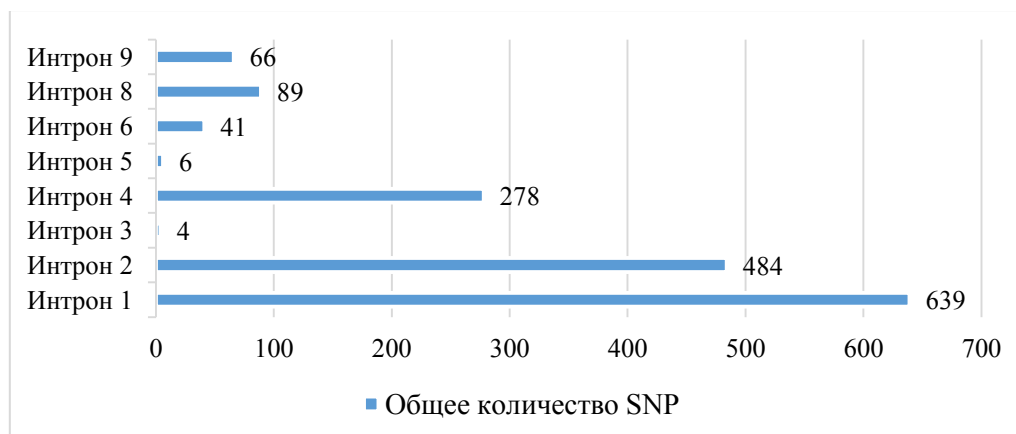


Рисунок 1 – Мутации в гене *FSHR* у овец маньчжского мериноса в интронах

Figure 1 – Mutations in the *FSHR* gene in Manychsky Merino sheep in introns

Особый научный интерес представляет полиморфизм с.-43T>C (rs604593956), для которого в исследованной популяции не было обнаружено гомозиготных особей по минорному аллелю (GG), однако присутствовали гетерозиготные особи (AG) с частотой 0,4.

Таблица 1 – Мутации в гене *FSHR* у овец маньчжского мериноса в 5' нетранслируемой области

Table 1 – Mutations in the *FSHR* gene in Manychsky Merino sheep in the 5' untranslated area

№	Наименование SNP по номенклатуре HGVS / The name of the SNP according to the HGVS nomenclature	Идентификатор в базе NCBI / ID in the NCBI database	Позиция на хромосоме / Position on the chromosome	Аллель / The allele		Генотип / The genotype		
				G	A	GG	GA	AA
1.	с.-105C>T	rs1094009966	75364080	0,9	0,1	0,8	0,1	0,1
2.	с.-100T>C	rs430475377	75364085	A	G	AA	AG	GG
				0,6	0,4	0,3	0,5	0,2
3.	с.-81G>C	rs406567226	75364104	C	G	CC	CG	GG
				0,7	0,3	0,5	0,4	0,1
4.	с.-44G>T	rs429299193	75364141	C	A	CC	CA	AA
				0,6	0,4	0,4	0,4	0,2
5.	с.-43T>C	rs604593956	75364142	A	G	AA	AG	GG
				0,8	0,2	0,6	0,4	0,0
6.	с.-42G>C	rs409868917	75364143	C	G	CC	CG	GG
				0,6	0,4	0,4	0,4	0,2
7.	с.-33A>G	rs418439243	75364152	T	C	TT	TC	CC
				0,6	0,4	0,4	0,4	0,2
8.	с.-22G>T	rs598785565	75364163	C	A	CC	CA	AA
				0,6	0,4	0,3	0,5	0,2
9.	с.-20A>G	rs592044730	75364165	T	C	TT	TC	CC
				0,6	0,4	0,3	0,5	0,2

В 3'-нетранслируемой области гена *FSHR* обнаружено 4 SNP, потенциально влияющих на посттранскрипционную регуляцию. Наиболее распространёнными оказались транзиции C>A (с.*148C>A, с.*308C>A) и трансверсия T>G (с.*149T>G), что предполагает их возможное функциональное значение. Полиморфизм с.*308C>A отсутствует в базе данных NCBI и нами выявлен впервые, что подчеркивает его уникальность для изучаемой популяции (таблица 2). Наибольший контраст в частоте аллелей отмечен для полиморфизма с.*78A>G – основной аллель T встречается в 90 % случаев, тогда как гомозиготная форма

СС не обнаружена. Другие изученные варианты (с.*148С>А, с.149Т>G и с.308С>А) показывают менее выраженное, но стабильное преобладание основных аллелей (70-80 % случаев) при сохранении генетического разнообразия за счет гетерозиготных форм (20-40 %).

Таблица 2 – Мутации в гене *FSHR* у овец маньчжского мериноса в 3' нетранслируемой области
Table 2 – Mutations in the *FSHR* gene in Manychsky Merino sheep in the 3' untranslated area

№	Наименование SNP по номенклатуре HGVS / The name of the SNP according to the HGVS nomenclature	Идентификатор в базе NCBI / ID in the NCBI database	Позиция на хромосоме / Position on the chromosome	Аллель / The allele		Генотип / The genotype		
				T	C	TT	TC	CC
1.	c.*78A>G	rs399757911	75554203	0,9	0,1	0,8	0,2	0,00
2.	c.*148C>A	rs602874696	75554273	G	T	GG	GT	TT
				0,7	0,3	0,5	0,4	0,1
3.	c.*149T>G	rs598354385	75554274	A	C	AA	AC	CC
				0,7	0,3	0,5	0,4	0,1
4.	c.*308C>A	Нет в базе	75557709	G	T	GG	GT	TT
				0,8	0,2	0,7	0,2	0,1

Для дальнейших исследований были отобраны полиморфизмы, локализованные в кодирующих областях гена *FSHR*. В трех экзонах гена выявлено 6 вариантов полиморфизмов (таблица 3), среди которых 83 % составляют транзиции и 17 % – трансверсии. Наибольшее число SNP (4) обнаружено в 9 экзоне, кодирующем функционально значимые домены белка.

Среди выявленных вариантов выделяются три синонимичные замены: с.692A>G (p.Arg231Arg) и с.696T>C (p.Ser232Ser) в 9 экзоне, демонстрирующие сбалансированное распределение аллелей (0,5:0,5) и высокую частоту гетерозигот (50 %), что характерно для нейтральных мутаций, а также с.1113T>C (p.Phe371Phe) в 10 экзоне – транзиция, локализованная в консервативном участке гена.

Особый интерес представляют три несинонимичные замены: с.783T>G (p.Phe261Leu) и с.854C>T (p.Thr285Ile) в 9 экзоне, а также с.28G>A (p.Ala10Thr) в 1 экзоне. Эти мутации показывают выраженное доминирование основных аллелей (0,8-0,9) с редким появлением минорных вариантов (0,1-0,2). Замена с.783T>G (p.Phe261Leu), приводящая к изменению гидрофобной аминокислоты, может существенно влиять на третичную структуру белка. В свою очередь, полиморфизм с.28G>A (p.Ala10Thr), несмотря на синонимичный характер, требует особого внимания, так как расположен в регионе сигнального пептида и потенциально может влиять на эффективность трансляции.

Таблица 3 – Мутации в гене *FSHR* у овец маньчжского мериноса в кодирующих областях
Table 3 – Mutations in the *FSHR* gene in Manychsky Merino sheep in the coding areas

№	Экзон	Наименование SNP по номенклатуре HGVS / The name of the SNP according to the HGVS nomenclature	Идентификатор в базе NCBI / ID in the NCBI database	Позиция на хромосоме / Position on the chromosome	Аминокислота / Amino Acid	Аллель / The allele		Генотип / The genotype		
						T	C	TT	TC	CC
1.	9	c.692A>G	rs399612350	75547574	p.Arg231Arg	0,5	0,5	0,3	0,5	0,2
2.	9	c.696T>C	rs412817989	75547578	p.Ser232Ser	A	G	AA	AG	GG
						0,5	0,5	0,3	0,5	0,2
3.	10	c.1113T>C	rs416291965	75553150	p.Phe371Phe	A	G	AA	AG	GG
						0,9	0,1	0,8	0,2	0,0
4.	9	c.783T>G	rs422112895	75547665	p.Phe261Leu	A	C	AA	AC	CC
						0,9	0,1	0,8	0,2	0,0
5.	9	c.854C>T	rs398233545	75547736	p.Thr285Ile	G	A	GG	GA	AA
						0,9	0,1	0,8	0,2	0,0
6.	1	c.28G>A	rs399253678	75364212	p.Ala10Thr	C	T	CC	CT	TT
						0,8	0,2	0,6	0,4	0,0

Результаты исследования генетического полиморфизма гена *FSHR* у овец породы маньчжский меринос подтверждают данные Зуева Р. В. и соавторов [8] о взаимосвязи вариаций данного гена с репродуктивными характеристиками. Особого внимания заслуживает полиморфный маркер rs398315636, обнаруженный на хромосоме 3 в интронной области гена *FSHR*, который демонстрирует значимую ассоциацию с показателями плодовитости и многоплодия. Ключевая роль *FSHR* в регуляции фолликулогенеза и овуляторных процессов у сельскохозяйственных животных, позволяют рассматривать данный ген как важный генетический маркер, определяющий воспроизводительные качества. Как показал проведенный анализ, нуклеотидные замены в промоторных и кодирующих участках гена могут существенно влиять на его функциональные характеристики. Эти данные согласуются с результатами Су и соавторов [10], продемонстрировавших возрастные изменения экспрессии *FSHR* в тканях репродуктивной системы. Для дальнейших исследований особое внимание заслуживают несинонимичные мутации с.783T>G (p.Phe261Leu) и с.854C>T (p.Thr285Ile), потенциально способные изменять пространственную структуру рецептора и его гормон-связывающие свойства.

Согласно данным Конга и соавторов [11], а также исследователя Утами [9], полиморфизм гена *FSHR* может оказывать множественное влияние на различные хозяйственно-полезные признаки. В международной базе данных Ensembl представлены данные о частоте встречаемости SNP в гене *FSHR* у овец иранских и марокканских пород, которые можно сопоставить с частотами аллелей, выявленными у овец маньчжского мериноса. Для синонимичной замены rs399612350 (с.692A>G, p.Arg231Arg) у маньчжского мериноса частота аллеля Т составляет 50 %, что значительно ниже, чем у иранских (93 %) и марокканских (89 %) овец. Аллель С встречается с частотой 50 %, тогда как в международной базе его частота составляет 7 % у иранских и 11 % у марокканских овец. Мутация rs416291965 (с.1113T>C, p.Phe371Phe) у маньчжского мериноса характеризуется преобладанием аллеля А (90 %), в то время как у иранских овец этот аллель встречается с частотой 95 %, у марокканских – 88 %. Частота аллеля G составляет 10 % у маньчжского мериноса против 5 % у иранских и 12 % у марокканских овец. Несинонимичная замена rs422112895 (с.783T>G, p.Phe261Leu) демонстрирует у маньчжского мериноса частоту аллеля А 90 %, что близко к значениям для иранских (88 %) и марокканских (87 %) овец. Для SNP rs398233545 (с.854C>T, p.Thr285Ile) у маньчжского мериноса зарегистрирована частота аллеля G 90 %, что соответствует 88 % у иранских и 86 % у марокканских овец. Частота аллеля А составляет 10 %, что несколько выше, чем в международной базе (12 % и 14 %). Мутация rs399253678 (с.28G>A, p.Ala10Thr) у маньчжского мериноса имеет частоту аллеля С 80 %, тогда как в базе данных Ensembl для этого SNP у иранских овец частота аллеля С составляет 65 %, у марокканских – 60 %. Частота аллеля Т (20 %) соответственно ниже, чем у иранских (35 %) и марокканских (40 %) овец. Таким образом, наибольшие расхождения наблюдаются для синонимичных замен, что может отражать породные особенности овец породы маньчжский меринос (<https://www.ensembl.org/index.html>).

Сравнительный анализ выявил как общие для разных пород закономерности, так и уникальные для маньчжских мериносов генетические особенности. В частности, обнаруженный вариант с.*308C>A в 3'-нетранслируемой области, отсутствующий в международных базах данных, может отражать специфическую адаптацию данной породы к условиям содержания.

Заключение. В ходе полногеномного секвенирования нами было выявлено, что ген *FSHR* у овец породы маньчжский меринос, расположенный на 3 хромосоме в регионе 75364065-75557720 п.н., характеризуется высоким уровнем полиморфизма. Всего было идентифицировано 2065 замен, из которых подавляющее большинство 77,8 %, приходятся на интронные участки, что коррелирует с их общей долей в структуре гена. В регуляторных областях обнаружено 9 SNP в 5'-UTR и 4 SNP в 3'-UTR, включая уникальный вариант с.*308C>A, отсутствующий в международных базах данных NCBI и, возможно, специфичный для данной породы.

Анализ кодирующих регионов выявил 6 мутаций в экзонных областях. Из них 83 % составили транзиции, и 17 % – трансверсии. Наибольшее число замен (4 SNP) обнаружено в 9 экзоне, кодирующем функционально важные домены белка. Среди них выявлены 3 синонимичные замены (с.692A>G, с.696T>C, с.1113T>C) с частотой гетерозигот до 50 %, а также 3 несинонимичные мутации, включая с.783T>G (p.Phe261Leu) и с.28G>A (p.Ala10Thr) в сигнальном пептиде, с частотой минорного аллеля 10-20 %.

Выявленные генетические особенности подтверждают уникальность породы маньчжский меринос и создают основу для разработки молекулярно-генетических маркеров селекции. Особую перспективу представляют дальнейшие исследования функционального значения обнаруженного полиморфизма, особенно в регуляторных областях и несинонимичных заменах, а также их возможных ассоциаций с репродуктивными и продуктивными характеристиками животных.

Conclusion. Whole-genome sequencing revealed that the *FSHR* gene in Manychsky Merino sheep, located on chromosome 3 (region 75364065-75557720 bp), is characterized by a high level of polymorphism. A total of 2065 substitutions were identified, with the vast majority, 1607 (77.8 %), located in intronic areas, which correlates with their overall proportion in the gene's structure. In the regulatory regions, 9 SNPs were found in the 5'-UTR and 4 SNPs in the 3'-UTR, including the unique c.*308C>A variant, which is absent from international NCBI databases and is potentially specific to this breed.

Analysis of the coding regions identified 6 mutations in exonic areas. Transitions accounted for 83 % of these, and transversions for 17 %. The highest number of polymorphisms (4 SNPs) was found in exon 9, which codes for functionally important protein domains. Among them, three synonymous substitutions (c.692A>G, c.696T>C, c.1113T>C) with a heterozygosity frequency of up to 50 % were identified, as well as three non-synonymous mutations, including c.783T>G (p.Phe261Leu) and c.28G>A (p.Ala10Thr) in the signal peptide, with a minor allele frequency of 10-20 %.

The identified genetic features confirm the uniqueness of the Manychsky Merino breed and provide a basis for developing molecular genetic markers for breeding. Further research into the functional significance of the discovered polymorphisms, especially those in regulatory regions and non-synonymous substitutions, as well as their potential associations with reproductive and productive traits in animals, is of particular promise.

Библиографический список

1. Tao M., Li Z., Liu M., Ma H., Liu W. Association analysis of polymorphisms in *SLK*, *ARHGEF9*, *WWC2*, *GAB3*, and *FSHR* genes with reproductive traits in different sheep breeds. *Front Genet.* 2024. V. 15. Art. 1371872.
2. Волков И. В., Хамируев Т. Н. Использование генофонда маньчжского мериноса в овцеводстве Забайкалья. *Вестник АПК Ставрополя.* 2013. № 1 (9). С. 45-48.
3. Abdel-Rahman S., Mustafa Y., Abd Errasool H., Heikal H., Elmaghraby A. *Fshr* (exon 10) gene polymorphisms and its association with fertility trait in Egyptian Ossimi sheep. *Biotechnology in Animal Husbandry.* 2019. Vol. 35. № 2. Pp. 127-140.
4. Gromoll J., Dankbar B., Gudermann T. Characterization of the 5' flanking region of the human follicle-stimulating hormone receptor gene. *Mol Cell Endocrinol.* 1994. No102 (1-2). Pp. 93-102.
5. Yang W.-C., Li S.-J., Tang K.-Q., Hua G.-H., Zhang C.-Y., Yu J.-N., Han L., Yang L.-G. Polymorphisms in the 5' upstream region of the *FSH* receptor gene, and their association with superovulation traits in Chinese Holstein cows. *Anim. Reprod. Sci.* 2010. No 119. Pp. 172-177.
6. Du X., Guo J., Cao Q. Y., Yao W., Li Q. F. A haplotype variant of Hu sheep follicle-stimulating hormone receptor promoter region decreases transcriptional activity. *Anim Genet.* 2019. No 50 (4). Pp. 407-411.
7. Sharifiyazdi H., Mirzaei A., Ghanaatian Z. Characterization of polymorphism in the *FSH* receptor gene and its impact on some reproductive indices in dairy cows. *Anim Reprod Sci.* 2018. No 188. Pp. 45-50.
8. Зуев Р. В., Криворучко А. Ю., Лиховид Н. Г., Криворучко О. Н. Полногеномный поиск ассоциаций одонуклеотидных полиморфизмов с шириной груди у овец Северокавказской мясо-шерстной породы. *Вестник Пермского университета. Серия Биология.* 2024. Вып. 3. С. 318-326.
9. Utami A. M., Halfwerk J. B. G., de Boer O. J., Mackaaij C., Pabitte D. R., van der Horst C. M. A. M., Meijer-Jorna L. B., van der Wal A. C. Relative expression of hormone receptors by endothelial and smooth muscle cells in proliferative and non-proliferative areas of congenital arteriovenous malformations. *European Journal of Medical Research.* 2023. Vol. 28. Art. 449.
10. Su J., Song Y., Yang Y., Li Z., Zhao F., Mao F., Wang D., Cao G. Study on the changes of *LHR*, *FSHR* and *AR* with the development of testis cells in Hu sheep. *Animal Reproduction Science.* 2023. Vol. 256. Art. 107306.
11. Kong D., Guan Q., Li G., Xin W., Qi X., Guo Y., Zhao J., Xu J., Sun S., Gao L. Expression of *FSHR* in chondrocytes and the effect of *FSH* on chondrocytes. *Biochemical and Biophysical Research Communications.* 2018. Vol. 495. Pp. 587-593.

References

1. Tao M., Li Z., Liu M., Ma H., Liu W. Association analysis of polymorphisms in *SLK*, *ARHGEF9*, *WWC2*, *GAB3*, and *FSHR* genes with reproductive traits in different sheep breeds. *Front Genet.* 2024. V. 15. Art. 1371872.
2. Volkov I. V., Khamiruev T. N. Use of the Manych Merino gene pool in sheep breeding in Transbaikalia. *Bulletin of the Agro-industrial Complex of Stavropol.* 2013. No 1 (9). Pp. 45-48.
3. Abdel-Rahman S., Mustafa Y., Abd Errasool H., Heikal H., Elmaghraby A. *Fshr* (exon 10) gene polymorphisms and its association with fertility trait in Egyptian Ossimi sheep. *Biotechnology in Animal Husbandry.* 2019. Vol. 35. № 2. Pp. 127-140.
4. Gromoll J., Dankbar B., Gudermann T. Characterization of the 5' flanking region of the human follicle-stimulating hormone receptor gene. *Mol Cell Endocrinol.* 1994. No102 (1-2). Pp. 93-102.
5. Yang W.-C., Li S.-J., Tang K.-Q., Hua G.-H., Zhang C.-Y., Yu J.-N., Han L., Yang L.-G. Polymorphisms in the 5' upstream region of the *FSH* receptor gene, and their association with superovulation traits in Chinese Holstein cows. *Anim. Reprod. Sci.* 2010. No 119. Pp. 172-177.
6. Du X., Guo J., Cao Q. Y., Yao W., Li Q. F. A haplotype variant of Hu sheep follicle-stimulating hormone receptor promoter region decreases transcriptional activity. *Anim Genet.* 2019. No 50 (4). Pp. 407-411.

7. Sharifiyazdi H., Mirzaei A., Ghanaatian Z. Characterization of polymorphism in the FSH receptor gene and its impact on some reproductive indices in dairy cows. *Anim Reprod Sci.* 2018. No 188. Pp. 45-50.
8. Zuev R. V., Krivoruchko A. Yu., Likhovid N. G., Krivoruchko O. N. Genome-wide association study of single nucleotide polymorphisms with chest width in sheep of the North Caucasian meat-wool breed. *Bulletin of Perm University. Biology.* 2024. No. 3. Pp. 318-326.
9. Utami A. M., Halfwerk J. B. G., de Boer O. J., Mackaaij C., Pabittei D. R., van der Horst C. M. A. M., Meijer-Jorna L. B., van der Wal A. C. Relative expression of hormone receptors by endothelial and smooth muscle cells in proliferative and non-proliferative areas of congenital arteriovenous malformations. *European Journal of Medical Research.* 2023. Vol. 28. Art. 449.
10. Su J., Song Y., Yang Y., Li Z., Zhao F., Mao F., Wang D., Cao G. Study on the changes of LHR, FSHR and AR with the development of testis cells in Hu sheep. *Animal Reproduction Science.* 2023. Vol. 256. Art. 107306.
11. Kong D., Guan Q., Li G., Xin W., Qi X., Guo Y., Zhao J., Xu J., Sun S., Gao L. Expression of FSHR in chondrocytes and the effect of FSH on chondrocytes. *Biochemical and Biophysical Research Communications.* 2018. Vol. 495. Pp. 587-593.

Информация об авторах

Криворучко Александр Юрьевич, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, ВНИИОК – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» (Российская Федерация, 356241, Ставропольский край, Шпаковский р-н, г. Михайловск, ул. Никонова, 49); и.о. заведующего базовой кафедрой, ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» (Российская Федерация, 355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1), <https://orcid.org/0000-0003-4536-1814>, SPIN-код: 9353-1475, Scopus ID: 23474242900, Researcher ID: B-9960-2015, e-mail: rcvm@yandex.ru

Сафарян Елена Юрьевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории геномной селекции и репродуктивной криобиологии в животноводстве, ВНИИОК – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» (Российская Федерация, 356241, Ставропольский край, Шпаковский р-н, г. Михайловск, ул. Никонова, 49); доцент базовой кафедры, ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» (Российская Федерация, 355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1), <https://orcid.org/0000-0002-2049-842X>, SPIN-код: 3869-3088, Scopus ID: 57189598317, Researcher ID: Q-6612-2018, e-mail: telegina.helen@yandex.ru

Скорых Лариса Николаевна, доктор биологических наук, доцент, главный научный сотрудник, ВНИИОК – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» (Российская Федерация, 356241, Ставропольский край, Шпаковский р-н, г. Михайловск, ул. Никонова, 49); профессор базовой кафедры, ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» (Российская Федерация, 355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1), <https://orcid.org/0000-0002-6090-4453>, SPIN-код: 8979-4755, Scopus ID: 57191168636, Researcher ID: O-7832-2016, e-mail: lara02.76@mail.ru

Хубаева Фатима Алановна, студент, ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» (Российская Федерация, 355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1), <https://orcid.org/0009-0004-8881-5710>, e-mail: hubaevafatima369@gmail.com

Authors' Information

Krivoruchko Aleksandr Yurievich, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, North Caucasian Federal National Research Center – the branch of the North Caucasian Federal National Scientific Center (Russian Federation, 356241, Stavropol Region, Shpakovsky District, Mikhailovsk, Nikonova Str., 49); Acting Head of the Basic Department, North Caucasus Federal University (Russian Federation, 355017, Stavropol, Pushkina Str., 1), <https://orcid.org/0000-0003-4536-1814>, SPIN: 9353-1475, Scopus ID: 23474242900, Researcher ID: B-9960-2015, e-mail: rcvm@yandex.ru

Safaryan Elena Yurievna, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, North Caucasian Federal National Research Center – the branch of the North Caucasian Federal National Scientific Center (Russian Federation, 356241, Stavropol Region, Shpakovsky District, Mikhailovsk, Nikonova Str., 49); Associate Professor of the Basic Department, North Caucasus Federal University (Russian Federation, 355017, Stavropol, Pushkina Str., 1), <https://orcid.org/0000-0002-2049-842X>, SPIN: 3869-3088, Scopus ID: 57189598317, Researcher ID: Q-6612-2018, e-mail: telegina.helen@yandex.ru

Skorykh Larisa Nikolaevna, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Chief Researcher, North Caucasian Federal National Research Center – the branch of the North Caucasian Federal National Scientific Center (Russian Federation, 356241, Stavropol Region, Shpakovsky District, Mikhailovsk, Nikonova Str., 49); Professor of the Basic Department, North Caucasus Federal University (Russian Federation, 355017, Stavropol, Pushkina Str., 1), <https://orcid.org/0000-0002-6090-4453>, SPIN: 8979-4755, Scopus ID: 57191168636, Researcher ID: O-7832-2016, e-mail: lara02.76@mail.ru

Khubaeva Fatima Alanovna, Student, North Caucasus Federal University (Russian Federation, 355017, Stavropol, Pushkina Str., 1), <https://orcid.org/0009-0004-8881-5710>, e-mail: hubaevafatima369@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-41

THE STUDY OF THE ANIMALS' BLOOD MORPHOLOGICAL AND BIOCHEMICAL COMPOSITION WHEN USING THE ENERGY-PROTEIN ADDITIVE^{1,2}Mironova I. V., ¹Mahmudov D. S., ^{1,2}Safronov M. A., ³Blagov D. A., ¹Slinkin A. A.¹Bashkir State Agrarian University²Ufa State Petroleum Technological University
Ufa, Russian Federation³Federal Scientific Agro engineering Center VIM
Moscow, Russian Federation

Corresponding author E-mail: s-artemk@yandex.ru

Received 22.01.2026

Submitted 10.03.2026

Abstract

Introduction. This study assesses the impact of extruded rapeseed cake on the biochemical parameters and blood composition of animals, a topic of current interest given the need to improve the efficiency and environmental safety of livestock farming. The use of domestically produced high-energy compound feeds is a sustainable factor in the development of the livestock industry in the Republic of Bashkortostan. Their

nutritional value must be increased to ensure increased livestock production. Due to the increasing demand for natural feed additives in livestock farming, their impact on animal productivity and health is of particular importance. An analysis of seasonal changes in blood parameters allows us to determine the optimal period of administration and the appropriate dosage. The study results provide insight into the metabolism of the animals studied when using extruded rapeseed cake. **Materials and methods.** A scientific and economic experiment was conducted in 2024-2025 at the Tulguz agricultural cooperative in Bashkortostan. Eight groups of animals participated: four groups of dairy cows and four groups of 10 calves each, adjusted for age and physiological characteristics. The animals were kept under identical conditions and fed stall-fed, with the calves on deep bedding. During the experiment, the beef and dairy groups received supplemental feeding with varying doses of extruded rapeseed cake (5 %, 10 %, and 15 %). Blood was collected for morphological and biochemical analysis using automated analyzers, and the results were statistically processed. Differences were considered significant at $P \leq 0.05$. **Results and conclusion.** It has been established that the introduction of extruded rapeseed cake into the diet of bulls and cows has a positive effect on blood morphological and biochemical parameters, with a noticeable seasonal effect. In the experimental groups, red blood cell and hemoglobin levels increased by 5-8 %, white blood cell levels decreased by 6-8 %, and total protein and albumin levels increased by 3-5 % in the spring. These parameters remain within normal limits, confirming the safety and effectiveness of the feed additive.

Keywords: extruded rapeseed cake, cattle feeding, cattle rations, cattle blood parameters, protein feed additives, energy-protein feed additives.

Citation. Mironova I. V., Makhmudov D. S., Safronov M. A., Blagov D. A., Slinkin A. A. The study of the animals' blood morphological and biochemical composition when using the energy-protein additive. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 382-388 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-41.

Authors' contribution. All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

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

УДК 636.2.087:612.11/.12

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО И БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА КРОВИ ЖИВОТНЫХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭНЕРГО-ПРОТЕИНОВОЙ ДОБАВКИ

^{1,2}Миронова И. В., профессор, доктор биологических наук

¹Махмудов Д. С., аспирант

^{1,2}Сафронов М. А., аспирант

³Благов Д. А., кандидат биологических наук

¹Слинкин А. А., кандидат биологических наук

¹Башкирский государственный аграрный университет,

²Уфимский государственный нефтяной технический университет

г. Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация

³Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ

г. Москва, Российская Федерация

Актуальность. Исследование посвящено оценке влияния экструдированного рапсового жмыха на биохимические показатели и состав крови животных, что является актуальной темой в свете необходимости повышения эффективности и экологической безопасности животноводства. Устойчивым фактором развития животноводческой отрасли Республики Башкортостан является применение отечественных высокоэнергетических комбикормов, питательную ценность которых необходимо повышать для обеспечения роста производства продукции животноводства. В связи с увеличением спроса на натуральные кормовые добавки в скотоводстве, важным является вопрос их влияния на продуктивность и здоровье животных. Анализ сезонных изменений показателей крови позволяет выявить оптимальный период применения и корректность подобранной дозировки. Результаты исследований дают представление об обмене веществ в организме исследуемых животных при использовании экструдированного рапсового жмыха. **Материалы и методы.** Научно-хозяйственный опыт проведён в 2024-2025 годах в условиях сельскохозяйственного кооператива «Тулгуз», Башкортостан. В нём участвовали восемь групп животных – по четыре группы дойных коров и бычков, по 10 голов в каждой, с учетом возраста и физиологических особенностей. Животные содержались в одинаковых условиях, кормление – стойлово-выгульное, бычки – на глубокой подстилке. В эксперименте дополнительное кормление получали мясные и молочные группы с разными дозами экструдированного рапсового жмыха (5 %, 10 %, 15 %). Кровь отбирали для исследования морфологических и биохимических показателей с помощью автоматических анализаторов, результаты статистически обрабатывали. Достоверной считали разницу при $P \leq 0.05$. **Результаты и заключение.** Установлено, что введение экструдированного рапсового жмыха в рацион бычков и коров положительно влияет на морфологические и биохимические показатели крови с заметным сезонным эффектом. У опытных групп отмечается рост эритроцитов и гемоглобина на 5-8 %, снижение лейкоцитов на 6-8 %, а общий белок и альбумины увеличиваются на 3-5 % в весенний период. Показатели остаются в норме, подтверждая безопасность и эффективность кормовой добавки.

Ключевые слова: экструдированный рапсовый жмых, кормление КРС, рационы КРС, показатели крови КРС, протеиновые кормовые добавки, энерго-протеиновые кормовые добавки.

Цитирование. Миронова И. В., Махмудов Д. С., Сафронов М. А., Благов Д. А., Слинкин А. А. Исследование морфологического и биохимического состава крови животных при использовании энерго-протеиновой добавки. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 382-388. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-41.

Авторский вклад. Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Современные условия сельского хозяйства требуют постоянного совершенствования рационов питания животных, направленных на повышение удоев, улучшение качества продукции и снижение затрат кормов [1]. Одним из перспективных направлений оптимизации кормления крупного рогатого скота выступает использование альтернативных белковых добавок растительного происхождения, таких как рапсовый жмых [2].

Экструдированный рапсовый жмых представляет собой высокобелковый компонент корма, полученный путем прессования семян рапса с последующей обработкой методом экструзии [7].

Процесс экструзии рапсового жмыха заключается в воздействии высокой температурой, давлением и механическим перемешиванием растительной массы, что создает ряд преимуществ, благодаря которым корм становится более эффективным и привлекательным для животных [8]. Экструзия разрушает оболочки клеток растений, облегчая ферментам доступ к находящимся внутри углеводам, жирам и белкам, что улучшает степень их всасывания организмом животных [9]. В ходе обработки снижается концентрация неблагоприятных соединений (например, глюкозинолатов и эруковой кислоты), потенциально оказывающих отрицательное влияние на здоровье и продуктивность животных [10]. Воздействие температуры и давления вызывает образование полезных органических соединений, таких как пропионовая кислота, благотворно влияющая на кишечную флору и иммунную защиту организма [3, 4]. За счёт процессов карамелизации повышается привлекательность корма для животных, улучшается его вкусовое восприятие и увеличивается энергетическая ценность [5, 6]. Экструзия уничтожает бактерии и грибки, предотвращая порчу корма и гарантируя его сохранность на длительный срок. Таким образом, процесс экструзии радикально преобразует рапсовый жмых, делая его высокоэффективным компонентом рационов животных, способствующим росту производительности и снижению затрат на выращивание [9, 10].

Кровь характеризует состояние гомеостаза внутренней среды организма, который обеспечивает жизнедеятельность клеток и тканей, является одним из важнейших критериев для оценки состояния организма [11]. Процессы, происходящие в организме, в той или иной степени отражаются на ее морфологическом и биохимическом составе [11]. Кровь и нервная система осуществляют связь между отдельными частями организма, гормональную регуляцию. Кроме того, кровь доставляет к тканям кислород и питательные вещества, участвует в регуляции водно-солевого обмена и кислотно-щелочного равновесия в организме, поддержании постоянной температуры тела [12]. Благодаря способности лейкоцитов поглощать микроорганизмы, а также присутствию в крови антител и антитоксинов, она выполняет защитную функцию. Отличаясь относительным постоянством состава у здорового животного, кровь реагирует на любые изменения в организме [12].

Цель настоящей работы заключается в изучении влияния введения экструдированного рапсового жмыха в рацион бычков и лактирующих коров на показатели крови. Исследование направлено на выявление оптимальных дозировок добавки, обеспечивающих максимальную экономическую эффективность при сохранении высокого уровня здоровья животных.

Материал и методы. Научно-хозяйственный опыт проведен в условиях хозяйств Республики Башкортостан в 2024-2025 гг. В опыте участвовали четыре группы дойных коров и четыре группы бычков по 10 голов в каждой, подобранных с учетом возраста, физиологического состояния, живой массы. Условия содержания коров были одинаковыми – стойлово-выгульные, так же, как и кормление. Бычки на протяжении опыта находились в помещении беспривязно на глубокой несменяемой подстилке. Разница заключалась в том, что животные II (опытной) группы дополнительно получали экструдированный рапсовый жмых в дозе 5 % от сухого вещества рациона, III (опытной) – 10 % и IV (опытной) – 15 %. Отбор проб крови для изучения морфологического и биохимического состава осуществляли в утренние часы за 1 час до дачи кормов и воды от трех здоровых животных из каждой группы из яремной вены. Исследования проводили на гематологическом анализаторе марки ГЕМА 8-01-«Астра» (Производитель: ООО «Научно-производственный центр «АСТРА»», г. Уфа) и биохимическом автоматическом анализаторе DIRUI CS-T240 (Dirui, Китай). Полученные результаты обрабатывали методом вариационной статистики. Достоверной считали разницу при $P \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение. В таблице 1 приведены данные о морфологическом составе крови животных контрольной и опытной групп.

Таблица 1 – Морфологический состав крови коров
Table 1 – Morphological composition of cow blood

Показатель / Indicator	Сезон года / Season of the year	Норма / Norm	Группа / Group			
			контроль- ная / control	опытная / experimental		
				I	II	III
Эритроциты, 10 ¹² л / Red blood cells, 10 ¹² l	весна / spring	5,0-10,1	5,88 ± 0,04	6,21 ± 0,04**	6,33 ± 0,01***	6,34 ± 0,05**
	осень / autumn		5,53 ± 0,04	5,84 ± 0,03**	6,01 ± 0,03***	6,05 ± 0,01***
Лейкоциты, 10 ⁹ л / Leukocytes, 10 ⁹ l	весна / spring	5,0-16,0	8,24 ± 0,01	7,78 ± 0,01***	7,60 ± 0,01***	7,54 ± 0,03***
	осень / autumn		9,13 ± 0,09	8,86 ± 0,08	8,39 ± 0,06**	8,39 ± 0,06**
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	весна / spring	90-139	112,84 ± 0,45	119,67 ± 0,33***	121,79 ± 0,41***	121,36 ± 0,42***
	осень / autumn		102,80 ±0 ,40	108,26 ± 0,21***	112,93 ± 0,07***	113,14 ± 0,59***

Примечание: здесь и далее * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$.

Note: here and below, * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$.

Как видно из данных, представленных в таблице 1, число эритроцитов выросло в весенний период у коров опытных групп на $0,33-0,45 \times 10^{12}$ /л (5,61-7,65 %) по сравнению с контрольной группой. Рост гемоглобина в этих группах составил 6,83-8,95 г/л (5,85-7,77 %). Уровень лейкоцитов снизился на $0,46-0,74 \times 10^9$ /л, или на 6,05-7,94 % по сравнению с контролем. В осенний период увеличение эритроцитов составило 5,61-8,68 %, гемоглобина – 5,31-9,85 %, а снижение лейкоцитов – 2,96-8,1 %. Изменения в морфологическом составе крови могут свидетельствовать об адаптивных реакциях организма исследуемых животных. Уровень каждого показателя в каждой группе оставался в пределах нормы.

Показатели белкового состава сыворотки крови коров представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели белкового состава сыворотки крови коров, г/л
Table 2 – Protein composition of cow blood serum, g/l, ($X \pm Sx$), $n=3$

Показатель / Indicator	Сезон года / Season	Группа / Group			
		контрольная / control	опытная / experimental		
		I	II	III	IV
Общий белок, в т. ч.: / Total protein, incl.	весна / spring	79,3 5±0,28	81,78 ± 0,24**	82,51 ± 0,25***	82,55 ± 0,25***
	осень / autumn	73,95 ± 0,16	74,27 ± 0,05	74,80 ± 0,19*	74,83 ± 0,13**
альбумины / albumins	весна / spring	44,25 ± 0,16	45,96 ± 0,02***	46,45 ± 0,19***	46,47 ±0,23***
	осень / autumn	40,96± 0,49	41,22 ± 0,12	41,53 ± 0,10	41,57 ± 0,10
глобулины, в т. ч.: / globulins, incl.	весна / spring	35,10 ± 0,44	35,82 ± 0,26	36,06 ± 0,14	36,08 ± 0,45
	осень / autumn	32,99 ± 0,33	33,05 ± 0,09	33,27 ± 0,28	33,26 ± 0,12
α-глобулины / α-globulins	весна / spring	9,19± 0,19	9,61 ± 0,02	9,71 ± 0,03*	9,71 ±0,12
	осень / autumn	8,07 ± 0,07	8,31 ± 0,09	8,59 ± 0,09**	8,59 ± 0,01**
β-глобулины / β-globulins	весна / spring	10,31 ± 0,15	10,82±0,09*	10,95 ± 0,03**	10,95 ± 0,17*
	осень / autumn	9,74 ±0,18	10,19 ± 0,10*	10,32 ± 0,11*	10,36 ± 0,08*
γ-глобулины / γ-globulins	весна / spring	15,60± 0,21	15,39 ± 0,37	15,40 ± 0,17	15,42 ± 0,18
	осень / autumn	15,18 ± 0,17	14,55 ± 0,13*	14,36 ± 0,23*	14,31 ± 0,14*
Альбуминово-глобулиновый коэффициент / Albumin-globulin ratio	весна / spring	1,261	1,283	1,288	1,289
	осень / autumn	1,242	1,247	1,249	1,250

В весенний сезон у исследуемых животных опытных групп наблюдался значительный рост общего белка на 2,43-3,20 г/л (3,06-4,03 %), альбуминов – на 1,71-2,22 г/л (3,86-5,02 %), при этом глобулины увеличились на 0,72-0,98 г/л (2,05-2,79 %). В осенний сезон рост общего белка составлял около 0,32-0,88 г/л (0,43-1,19 %), альбуминов – на 0,26-0,61 г/л (0,63-1,49 %), глобулины оставались практически без изменений. Отмечается увеличение всех белковых фракций, особенно весной. Заметный рост альбуминов и глобулинов может свидетельствовать об усилении белкового обмена в организмах животных. Морфологические показатели крови бычков приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Морфологические показатели крови бычков, n = 3
Table 3 – Morphological parameters of bull blood, n=3

Группа / Group / Сезон года / Season		Эритроциты, 10^{12} / Red blood cells, 10^{12} l		Лейкоциты, 10^9 / Leukocytes, 10^9 l		Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	
		весна / spring	осень / autumn	весна / spring	осень / autumn	весна / spring	осень / autumn
контрольная / control		6,22	6,96	7,13	6,55	120,74	121,20
	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	0,09	0,03	0,09	0,08	0,13	0,44
II		6,53	7,25	7,47	6,73	121,99	123,28
	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	0,06	0,09	0,05	0,08	0,39	0,64
	P	0,05	0,05	0,05	-	0,05	0,05
III		6,88	7,72	7,81	6,97	123,79	124,35
	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	0,06	0,15	0,06	0,10	0,15	0,68
	P	0,01	0,01	0,01	0,05	0,001	0,05
IV		6,90	7,84	7,77	6,94	123,88	124,40
	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	0,10	0,09	0,05	0,11	0,06	0,32
	P	0,01	0,001	0,01	0,05	0,001	0,01

Показатели эритроцитов в контрольной группе в среднем увеличиваются с $6,22 \times 10^{12}$ /л в весенний период до $6,96 \times 10^{12}$ /л в осенний. В опытных группах II, III и IV наблюдается аналогичная динамика показателей. Показатели гемоглобина остаются стабильными во всех группах и составляют около 120-121 г/л. Уровень лейкоцитов снижается – в группе II с $7,47 \times 10^9$ /л весной до $6,73 \times 10^9$ /л осенью, (на 10 %). В целом, у исследуемых бычков наблюдается рост эритроцитов и гемоглобина на 8-12 % в осенний сезон при одновременном снижении лейкоцитов примерно на 10 %.

Белковый состав сыворотки крови бычков представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Белковый состав сыворотки крови бычков
Table 4 – Protein composition of bull blood serum

Показатель / Indicator	Сезон года / Season	Группа / Group			
		контрольная / control	опытная / experimental		
		I	II	III	IV
Общий белок, в т. ч.: / Total protein, incl.	весна / spring	75,09 ± 0,58	77,57 ± 0,23*	78,65 ± 0,51**	78,66 ± 0,18**
	осень / autumn	78,27 ± 0,63	79,69 ± 0,58	81,20 ± 0,49*	81,38 ± 0,31*
альбумины / albumins	весна / spring	34,85 ± 0,72	36,27 ± 0,47	36,77 ± 0,50	36,72 ± 0,09
	осень / autumn	36,72 ± 0,35	37,78 ± 0,50	38,33 ± 0,44*	38,38 ± 0,17*
глобулины, в т. ч.: / globulins, incl.	весна / spring	40,24 ± 0,39	41,30 ± 0,40	41,88 ± 0,09*	41,93 ± 0,23*
	осень / autumn	41,57 ± 0,32	42,27 ± 0,37	42,87 ± 0,07*	43,00 ± 0,15*
α-глобулины / α-globulins	весна / spring	9,93 ± 0,02	10,23 ± 0,04**	10,58 ± 0,07***	10,57 ± 0,08***
	осень / autumn	10,23 ± 0,15	10,31 ± 0,09	10,52 ± 0,14	10,54 ± 0,12
β-глобулины / β-globulins	весна / spring	11,52 ± 0,12	11,91 ± 0,09	12,07 ± 0,18	12,15 ± 0,08
	осень / autumn	12,10 ± 0,38	12,55 ± 0,07	12,75 ± 0,18	12,80 ± 0,23
γ-глобулины / γ-globulins	весна / spring	18,79 ± 0,35	19,16 ± 0,42	19,23 ± 0,16	19,21 ± 0,24
	осень / autumn	19,23 ± 0,65	19,41 ± 0,35	19,60 ± 0,20	19,66 ± 0,36
Альбуминово- глобулиновый коэффициент / Albumin-globulin ratio	весна / spring	0,87	0,88	0,88	0,88
	осень / autumn	0,88	0,89	0,89	0,89

У бычков обеих групп наблюдается увеличение общего белка в период с весны до осени: в контрольной группе с 75,09 до 78,27 г/л (на 4,2 %), в опытной – с 77,57 до 79,69 г/л (на 2,8 %). В экспериментальных группах отмечается рост белка, например, в группе III – с 78,65 до 81,20 г/л (3,2 %), в группе IV – с 78,66 до 81,38 г/л (3,6 %). Уровень альбуминов увеличивается у всех групп на 4-6 %, достигнув максимума в осенний сезон (в группе III с 36,77 до 38,33 г/л). Глобулины также демонстрируют рост с весны до осени на 3-4 %. В частности, α -глобулины в экспериментальных группах увеличиваются на 6-7 %. Альбумино-глобулиновый коэффициент остается практически стабильным (0,87-0,89) во всех группах во все сезоны, что указывает на баланс между альбуминами и глобулинами.

Заключение. В результате исследования выявлено, что введение экструдированного рапсового жмыха в рацион бычков и лактирующих коров оказывает положительное влияние на морфологические и биохимические показатели крови со значительным сезонным эффектом. Так, у опытных групп отмечается увеличение числа эритроцитов и уровня гемоглобина на 5-8 %, что свидетельствует об улучшении кровообращения и усилении обменных процессов. В то же время зафиксировано снижение лейкоцитов примерно на 6-8 %, что может указывать на снижение воспалительных реакций или стресса при корректной дозировке. Рост общего белка и альбуминов в опытных группах в весенний сезон достигает 3-5 %, что свидетельствует о стимулировании белкового обмена и адаптации организма. Показатели крови остаются в пределах нормы, что подтверждает безопасность и эффективность применения добавки. Таким образом, применение экструдированного рапсового жмыха способствует улучшению показателей крови животных, обеспечивая положительный эффект без отрицательных последствий. Эти результаты подтверждают целесообразность дальнейших исследований для определения оптимальных дозировок и условий использования добавки.

Conclusions. The study revealed that adding extruded rapeseed cake to the diet of young bulls and lactating cows has a positive effect on biochemical parameters and blood counts, with a significant seasonal effect. In the experimental groups, a 5-8 % increase in red blood cell counts and hemoglobin levels was observed, indicating improved circulation and enhanced metabolic processes. At the same time, a decrease in white blood cell counts of approximately 6-8 % was recorded, which may indicate a reduction in inflammatory reactions or stress when administered correctly. Total protein and albumin levels in the experimental groups increased by 3-5 % in the spring, indicating stimulation of protein metabolism and body adaptation. These parameters remained within normal limits, confirming the safety and efficacy of the supplement. Thus, the use of extruded rapeseed cake improves blood-forming and protein parameters in animals, providing a positive effect without any negative consequences. These results support the need for further research to determine optimal dosages and conditions of use.

Библиографический список

1. Губайдуллин Н. М., Миронова И. В., Исламгулова И. Н. Влияние скармливания алюмосиликатов бычкам-кастратам на пищевую и энергетическую ценность мясной продукции. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2010. № 1 (25). С. 198-200.
2. Козина Е. А. Нормированное кормление животных и птицы. Кормление жвачных животных: учеб. пособие. Красноярск, 2012. Ч. I. 250 с.
3. Долженкова Г. М., Миронова И. В., Тагиров Х. Х. Интенсификация производства высококачественной продукции животноводства. Санкт-Петербург, 2017. 296 с.
4. Бесараб Г. В. и др. Эффективность кормовой добавки из вторичных продуктов перерабатывающей промышленности в кормлении коров. Инновационный путь развития отраслей животноводства. 2022. С. 82-86.
5. Радчикова Г. Н. и др. Продуктивность молодняка крупного рогатого скота, выращенного на заменителе сухого обезжиренного молока и заменителе цельного молока в послемолочный период. Зоотехническая наука Беларуси. 2021. № 2 (56). С. 3-13.
6. Подшивалова Е. В. и др. Рапсовый жмых - перспективный источник липолитических ферментов. Вестник КрасГАУ. 2024. № 4 (205). С. 247-253.
7. Пристач Н. В. Использование рапсового жмыха в кормлении животных. Вестник биотехнологии. 2017. № 3 (13). С. 8.
8. Благов Д. А. и др. Экструдеры и экспандеры: обзор технологий и технических средств. Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2020. № 11 (184). С. 68-76.
9. Холодильникова Т. Н. и др. Экструзионная обработка как фактор, определяющий аминокислотный состав различных компонентов корма для цыплят-бройлеров. Животноводство и кормопроизводство. 2022. № 1 (105). С. 74-81.
10. Сайфуллин А. С. и др. Влияние термообработки кормов на продуктивность дойных коров. Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2021. № 3 (247). С. 227-231.
11. Иванов А. И. Результаты исследования морфологических показателей крови бычков при баланопостите. Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2025. № 1 (73). С. 76-79.
12. Фархутдинова А. Р., Шарифьянов Б. Г. Роль скармливания нетрадиционных кормовых культур, заготовленных с применением заквасок, в изменении морфобиохимических показателей ремонтных телок. Достижения науки и техники АПК. 2022. № 9 (36). С. 80-83.

References

1. Gubaydullin N. M., Mironova I. V., Islamgulova I. N. The Effect of Feeding Aluminosilicates to Castrated Bulls on the Nutritional and Energy Value of Meat Products. Bulletin of the Orenburg State Agrarian University. 2010. No 1 (25). Pp. 198-200.

2. Kozina E. A. Standardized Feeding of Animals and Poultry. Feeding Ruminants: the Manual. Krasnoyarsk, 2012. Part I. 250 p.
3. Dolzhenkova G. M., Mironova I. V., Tagirov H. H. Intensification of Production of High-Quality Livestock Products. St. Petersburg, 2017. 296 p.
4. Besarab G. V. et al. Efficiency of a feed additive from secondary products of the processing industry in feeding cows. Innovative path of development of livestock industries. 2022. Pp. 82-86.
5. Radchikova G. N. et al. Productivity of young cattle raised on dry skim milk replacer and whole milk replacer in the post-milk period. Zootechnical science of Belarus. 2021. No 2 (56). Pp. 3-13.
6. Podshivalova E. V., Sverdlova O. P., Sharova N. Y., Belova D. D. Rapeseed cake – a promising source of lipolytic enzymes. Bulletin of KSAU. 2024. No 4. Pp. 247-253.
7. Pristach N. V. Use of rapeseed cake in animal feed. Bulletin of Biotechnology. 2017. No 3 (13). P. 8.
8. Blagov D. A. et al. Extruders and expanders: a review of technologies and technical means. Feeding of Agricultural Animals and Feed Production. 2020. No 11. Pp. 68-76.
9. Kholodilina T. N. et al. Extrusion processing as factor determining the amino acid composition of various feed components for broiler chickens. Animal Husbandry and Fodder Production. 2022. V. 105. Pp. 74-81.
10. Saifullin A. S. et al. The Effect of Heat Treatment of Feed on the Productivity of Dairy Cows. Scientific Notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman. 2021. No 3 (247). Pp. 227-231.
11. Ivanov A. I. Results of the study of morphological indicators of blood of bulls with balanoposthitis. Bulletin of the Bashkir State Agrarian University. 2025. No 1 (73). Pp. 76-79.
12. Farkhutdinova A. R., Sharifyanov B. G. The role of feeding non-traditional fodder crops harvested using starter cultures in changing the morpho-biochemical parameters of replacement heifers. Achievements of science and technology AIC. 2022. No 36 (9). Pp. 80-83.

Информация об авторах

Миронова Ирина Валерьевна, заведующий кафедрой, доктор биологических наук, профессор, Башкирский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34); Уфимский государственный нефтяной технический университет (Российская Федерация, 450064, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1), <https://orcid.org/0000-0002-5948-9563>, e-mail: mironova_irina-v@mail.ru

Махмудов Дарвеш Саиджамолович, аспирант, Башкирский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34), <https://orcid.org/0000-0002-5948-9563>, e-mail: darvesh1126@mail.ru

Сафронов Марк Александрович, аспирант, Башкирский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34); ассистент, Уфимский государственный нефтяной технический университет (Российская Федерация, 450064, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1), <https://orcid.org/0009-0004-2801-4794>, e-mail: m.safrono2013@yandex.ru

Благов Дмитрий Андреевич, кандидат биологических наук, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (Российская Федерация, 109428, г. Москва, Институтский проезд, 5, стр. 1), <https://orcid.org/0000-0001-7826-5197>, e-mail: aspirantya2013@gmail.com

Слинкин Артем Андреевич, кандидат биологических наук, Башкирский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34), <https://orcid.org/0009-0007-1717-3177>, e-mail: s-artemk@yandex.ru

Authors' Information

Mironova Irina Valerievna, Head of Department, Doctor of Biological Sciences, Professor, Bashkir State Agrarian University (Russian Federation, 450001, Republic of Bashkortostan, Ufa, 50-letiya Oktyabrya Str., 34), Ufa State Petroleum Technological University (Russian Federation, 450064, Republic of Bashkortostan, Ufa, Kosmonavtov Str., 1), <https://orcid.org/0000-0002-5948-9563>, e-mail: mironova_irina-v@mail.ru

Makhmudov Darvesh Saidzhamolovich, postgraduate student, Bashkir State Agrarian University (Russian Federation, 450001, Republic of Bashkortostan, Ufa, 50-letiya Oktyabrya Str., 34), <https://orcid.org/0009-0000-4440-9375>, e-mail: darvesh1126@mail.ru

Safronov Mark Aleksandrovich, postgraduate student, Bashkir State Agrarian University (Russian Federation, 450001, Republic of Bashkortostan, Ufa, 50-letiya Oktyabrya Str., 34), Assistant, Ufa State Petroleum Technological University (Russian Federation, 450064, Republic of Bashkortostan, Ufa, Kosmonavtov Str., 1), <https://orcid.org/0009-0004-2801-4794>, e-mail: m.safrono2013@yandex.ru

Blagov Dmitry Andreevich, Candidate of Biological Sciences, Federal Scientific Agro engineering Center VIM (Russian Federation, 109428, Moscow, Institutsky proezd, 5/1), <https://orcid.org/0000-0001-7826-5197>, e-mail: aspirantya2013@gmail.com

Slinkin Artem Andreevich, Candidate of Biological Sciences, Bashkir State Agrarian University (Russian Federation, 450001, Republic of Bashkortostan, Ufa, 50th Anniversary of October Str., 34), <https://orcid.org/0009-0007-1717-3177>, e-mail: s-artemk@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-42

THE BREEDING ANIMAL HUSBANDRY PUBLIC ADMINISTRATION AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT¹Grashin A. A., ²Bokova A. A., ¹Mescherov Sh. R., ³Grashin V. A.¹All-Russian Research Institute of Breeding
Moscow, Russian Federation²Samara State Agrarian University
Kinel, Russian Federation³Samara Hydro-Industrial Company
Samara, Russian FederationCorresponding author E-mail: grashin.aleksey@mail.ru

Received 15.01.2026

Submitted 27.03.2026

Summary

This article presents an analysis of standards and regulations in livestock breeding, resulting in a list of mandatory breeding and biotechnological methods. The method of custom mating for producing sires is specifically considered. The practice of applying selection using intra-line breeding or line crosses, in which

breeders utilize valuable families within the herd, is examined. An analysis of the 2023 bull evaluation results is presented, with bull breeding value (EBV) ranked from highest to lowest by milk yield, and their relationship to the characteristics of the dam families of bulls in domestically bred Holstein genealogical complexes, depending on average productivity, growth, and development.

Abstract

Introduction. In the field of livestock breeding, a list of selection and biotechnological methods is needed for their updating, improvement, conducting scientific research, testing their effectiveness, organizing the process of training specialists. The list of methods or technologies can and should be a priority in the field of livestock breeding for public administration, production, and in the educational process. This issue has not been studied in the scientific literature. **Object.** The object of the study is regulatory and legal acts in the field of livestock breeding. Practical application in production. **Materials and methods.** The research materials are regulatory and legal acts of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation, analytical materials. Information on productivity was obtained for Holstein cows of the domestic selection from the information and analytical system IAS "SELEKS – Dairy Cattle". Information on the pedigrees of stud bulls was analyzed based on data from breeding enterprises. **Results and conclusion.** A critical analysis, a summary of the practical application of the methods from the list of Requirements for Breeding Farms, or an analysis of the practice of new types of state support in the field of livestock breeding are the contributions that scientists and industry practitioners can make to livestock breeding and solve what may be one of the most difficult tasks in public administration: updating and improving methods and identifying best practices that can become a protocol for their mandatory application. The approval of minimum requirements that industry participants must meet, or the gradual increase in the "number of criteria" for implementing a specific methodology, is the primary focus of public administration. The selection of a methodology is a priority for public administration and falls under the authority of the unified scientific and technical policy within the framework of the Federal Law "On Livestock Breeding." The method of ordered mating discussed above is the most common in cattle breeding and may merit the provisions of a separate regulatory legal act. At the same time, for example, marking the semen of sires by lineage reveals a general approach to breeding. Marking the method by which the sire was produced, whether through interline crosses or intra-line breeding, could be a new step in the breeding of dams of sires and serve to fully inform buyers. Family marking could be a continuation of this approach.

Keywords: *breeding livestock farming technologies, breeding livestock farming state support, management of breeding livestock farming.*

Citation. Grashin A. A., Bokova A. A., Meshcherov Sh. R., Grashin V. A. The breeding animal husbandry public administration and technology development. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 388-398 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-42.

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 636.082.1

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УПРАВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ В ПЛЕМЕННОМ ЖИВОТНОВОДСТВЕ

¹Грашин А. А., кандидат биологических наук

²Бокова А. А., аспирант

¹Мещеров Ш. Р., кандидат сельскохозяйственных наук

³Грашин В. А., кандидат сельскохозяйственных наук

¹ФГБНУ ВНИИ племенного дела

г. Пушкино, Московская область, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Самарский ГАУ

г. Кинель, Самарская область, Российская Федерация

³ООО «СГПК»

г. Самара, Российская Федерация

Актуальность. В сфере племенного животноводства перечень селекционных и биотехнологических методов нужен для их актуализации, совершенствования, проведения научных исследований, проверки их эффективности, организации процесса обучения специалистов. Перечень методов или технологий может и должен быть приоритетом в сфере племенного животноводства для государственного управления, производства, а также в образовательном процессе. В научной литературе данный вопрос не изучен. **Объект.** Объектом исследований являются нормативно-правовые акты в сфере племенного животноводства. Практика применения в производстве. **Материалы и методы.** Материалами исследования являются нормативно-правовые акты Министерства сельского хозяйства РФ, аналитические материалы. Информация о продуктивности получена по коровам голштинской породы отечественной селекции из информационно-аналитической системы ИАС «СЕЛЭКС» – Молочный

скот. Информация о родословных быков-производителей исследована по данным племенных предпрятий. **Результаты и выводы.** Критический анализ, обобщение практики применения методик из списка требований к племенным хозяйствам или анализ практики новых видов господдержки в сфере племенного животноводства – это тот вклад ученых и практиков отрасли, который они могут внести в развитие животноводства при разведении сельскохозяйственных животных, чтобы решить одну из самых трудных задач государственного управления по актуализации и совершенствованию методик и выявлению передовых способов, которые могут стать протоколом их обязательного применения. Утверждение минимальных требований, которые необходимо исполнять участникам отрасли, или постепенное повышение «количества критериев» при выполнении конкретной методики, основное направление деятельности госуправления. Выбор методики, является приоритетом для госуправления и относится к полномочиям проведения единой научно-технической политики в рамках Федерального закона «О племенном животноводстве». Рассмотренный метод заказных спариваний является наиболее распространенным в племенном животноводстве при разведении крупного рогатого скота и может заслужить положение отдельного нормативного правового акта. В то же время, например, маркировка семени быков-производителей по принадлежности к линии раскрывает общий подход к селекции. Маркировка по способу получения быка-производителя в результате межлинейного кросса или внутрилинейного разведения может быть новым этапом при разведении матерей быков-производителей и служить для полного информирования покупателей. Продолжением такого направления может стать маркировка семейств.

Ключевые слова: технологии племенного животноводства, государственная поддержка племенного животноводства, управление племенным животноводством.

Цитирование. Грашин А. А., Бокова А. А., Мещеров Ш. Р., Грашин В. А. Государственное управление и развитие технологий в племенном животноводстве. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 388-398. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-42.

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. Cole J. B. и др. отмечают, что эффективное управление популяцией требует надёжных систем для отчёта о новых дефектах, выявления причинных механизмов и разработки коммерчески доступных тестов. США и Канада зависят от неформального сотрудничества между многими группами, включая фермеров, ассоциации чистопородного скота, генетические компании и исследователей, например, для выявления новых дефектов [1]. Национальная ассоциация заводчиков животных (NAAB; <https://www.naab-css.org/>) является официальной торговой организацией американской индустрии разведения крупного рогатого скота и представляет американских налогоплательщиков, занимающихся искусственным осеменением крупного рогатого и другого скота. Организации-члены объединяются, чтобы предложить единый подход к улучшению крупного рогатого скота. В совокупности члены NAAB составляют около 95 % спермы молочного скота в США, производимой, продаваемой и экспортируемой США. Цель Национальной ассоциации заводчиков животных, определенная её Уставом – «...объединить тех лиц и организаций, занимающихся искусственным оплодотворением крупного рогатого скота и другого скота, в аффилированную федерацию, действующую по само установленным стандартам исполнения, а также проводить и продвигать взаимные интересы и идеалы своих членов». Установление стандартов, это одна из целей NAAB – некоммерческой организации, основанной в 1946 году (<https://www.naab-css.org/>). Наряду с ассоциациями, действующими по самоустановленным стандартам (протоколам) глобальным поставщиком рекомендаций, стандартов и сертификации по идентификации, регистрации и оценке животных выступает Международный комитет по записи животных (ICAR; Нидерланды). Международная служба оценки быков (Interbull; Швеция) – это постоянный подкомитет ICAR, который сосредоточен на конвертации международных генетических оценок экономически значимых признаков молочного скота для поддержки достоверных сравнений генетических прогнозов между странами. Interbull использует их коды и номенклатуру для генетических тестов при обмене информацией.

Государственному управлению племенным животноводством в Российской Федерации более ста лет [2]. В настоящее время в Федеральном законе «О племенном животноводстве» одним из основных направлений госуправления остается единая научно-техническая политика, а также определение условий применения селекционных и биотехнологических методов в соответствующей сфере, утверждение норм и правил в области племенного животноводства, утверждение методик проверки и оценки племенных животных и т. д.

Для специалистов отрасли под селекционными и биотехнологическими методами понимаются, прежде всего, методики, связанные с получением и использованием семени, эмбрионов и племенных животных. В научной литературе селекция животных – это наука о методах создания и совершенствования пород сельскохозяйственных животных. Классические методы – отбор и подбор животных. Более широкое значение имеет термин биотехнология – совокупность промышленных приемов и методов, использующих живые организмы и биотехнологические процессы. Охватывает широкий круг проблем, связанных с методами конструирования живых организмов. Основа биотехнологии для животноводства – генная инженерия, искусственное осеменение животных, долговременное хранение спермы в жидком азоте, трансплантация ранних эмбрионов с целью увеличения числа потомков от выдающихся по продуктивности предков [3].

С учетом статьи 28 Федерального закона «О племенном животноводстве» деятельность в области племенного животноводства должна основываться на принципе повышения эффективности и конкурентоспособности животноводства. Таким образом, селекционные и биотехнологические методы при использовании семени, эмбрионов и племенных животных должны являться объектом постоянных исследований, по их эффективности и совершенствованию. В данном случае, если рассматривать термин конкурентоспособности, необходимо изучить, как отечественный, так и зарубежный опыт в этой сфере.

Целью наших исследований является актуализация перечня селекционных и биотехнологических методов для их совершенствования, проведения научных исследований, проверки их эффективности и организации процесса обучения специалистов. Перечень методов или технологий может и должен быть приоритетом в сфере племенного животноводства для госуправления, производства, а также в образовательном процессе. В научной литературе данный вопрос не изучен.

Материалы и методы. Материалами исследования являются нормативно-правовые акты Министерства сельского хозяйства РФ, аналитические материалы. Информация по удою, содержанию жира и белка за 305 дней 1-й лактации, высоте в холке, косой длине туловища, обхвату груди за лопатками, живой массе в 10 и 18 месяцев, а также за 1-ю и 2-ю лактации получена по коровам голштинской породы отечественной селекции из информационно-аналитической системы ИАС «СЕЛЭКС» – Молочный скот. Информация о родословных быков-производителей исследована по данным племенного предприятия.

Результаты и обсуждение. Стратегией развития на уровне государства к 2030 году поставлена задача увеличить до 72,1 % производство отечественного племенного крупного рогатого скота молочных пород [4]. Для реализации поставленных планов осуществляется господдержка содержания маточного племполовья, а также приобретение молодняка в племхозах [5].

В настоящее время, для специалистов отрасли и госуправления главным документом, регулирующим отношения в сфере племенного животноводства, где есть и реализация племенных животных, а также применения селекционных и биотехнологических методов является требование к видам племенных хозяйств (далее – Требования к племенным хозяйствам) [6].

В целом, если говорить о племенном животноводстве, это является центральным документом, выполнение требований которого гарантирует организации получение или продление статуса племенного хозяйства. Статус племенной организации дает возможность реализации племенной продукции.

В Требованиях к племенным хозяйствам нас интересуют технологии или методы, применение которых утверждено на государственном уровне. Их применение может и должно контролироваться при получении статуса племенной организации и/или при подтверждении статуса (таблица 1).

Рассмотрим наиболее распространенный метод заказных спариваний [6]. Требования к видам племенных хозяйств закрепляют реализацию крупного рогатого скота молочных пород, содержащегося в племенном заводе или племенном репродукторе, а также племенных бычков в организации по искусственному осеменению. Для организации по искусственному осеменению сельскохозяйственных животных (для молочного скотоводства) нормируется наличие племенных животных-производителей, полученных методом заказных спариваний.

Таблица 1 – Перечень селекционных и биотехнологических методов
Table 1 – List of breeding and biotechnological methods

№	Наименование методики / Name of the methodology	Требования к видам племенных хозяйств / Requirements for types of breeding farms
1	мечение (индивидуальное или групповое) племенных животных (кроме рыб, за исключением осетровых) / marking (individual or group) of breeding animals (except for fish, except for sturgeon)	Пункт / Point 1. / [6].
2	учет племенных и продуктивных качеств племенного животного / recording the breeding and productive qualities of a breeding animal	Пункт / Point 1. / [7].
3	оценка качества продукции / product quality assessment	Пункт / Point 1. / [6].
4	оценка по качеству потомства и (или) собственной продуктивности живых племенных животных производителей / assessment of the quality of offspring and (or) the productivity of live breeding animals	Таблицы / Tables 1, 4, 6, 7, 9, 10. / [7, 8, 9, 10].
5	генетическая экспертиза на достоверность происхождения и отсутствие генетических аномалий (генетическая экспертиза линий на наличие специфических генов) / genetic examination for the authenticity of origin and the absence of genetic abnormalities (genetic examination of lines for the presence of specific genes)	Таблицы / Tables 1, 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 22. / [6].
6	искусственное осеменение: коров и телок; овец и коз / artificial insemination: cows and heifers; sheep and goats	Таблицы / Tables 4, 6, 9, 11. / [11]
7	метод заказных спариваний / the method of custom animal mating	Пункт / Point 6. / [6].
8	метод клонирования, генетического редактирования спермопродукции, разделенной по половому признаку / method of cloning and genetic editing of sex-separated sperm production	Пункт / Point 6. / [6].
9	метод контрольного выращивания свиней / the method of control rearing of pigs	Таблицы / Tables 1, 8, 22. / [6]
10	метод контрольного откорма свиней / the method of control fattening of pigs	Таблица / Table 1. / [6].
11	трансплантация эмбрионов (работы по получению, обработке, контролю качества эмбрионов племенных животных, трансплантации и (или) передаче эмбрионов племенных животных другим сельскохозяйственным товаропроизводителям)* / embryo transplantation (work on obtaining, processing, quality control of embryos of breeding animals, transplantation and (or) transfer of embryos of breeding animals to other agricultural producers)*	Пункт / Point 7 Таблица / Table 24. / [6].

Примечание: *указана формулировка, изложенная в статье 34 Федерального закона от 3 августа 1995 г. № 123-ФЗ «О племенном животноводстве».

Note: *This is the wording specified in Article 34 of Federal Law No. 123-FZ dated August 3, 1995, "On Breeding Livestock".

Частично метод заказного спаривания описан в Требованиях к племенным хозяйствам, через требования к маточному поголовью (для молочного скотоводства): средняя продуктивность матерей быков-производителей на наивысшей лактации, не менее: 150 %, содержание жира в молоке не менее 0,2 %, содержание белка в молоке не менее 0,05 %, генетическая экспертиза на достоверность происхождения и отсутствие генетических аномалий у матерей быков-производителей. По результатам бонитировки племенного крупного рогатого скота молочного и молочно-мясного направлений продуктивности с учетом индивидуальных особенностей коров распределяют в группу потенциальных матерей быков-производителей [7].

Непосредственно на производстве, хотя в методике ничего не говорится о способе подбора при заказном спаривании, селекционеры выделяют принцип наличия ценных семейств в стаде. По мнению многих ученых, наличие семейств характеризует степень отселекционированности стада и уровень племенной работы в нём, независимо от того является хозяйство племенным или товарным.

Таблица 2 – Характеристика семейств матерей быков по показателям средней продуктивности, росту и развитию коров
Table 2 – Characteristics of bulls' mothers' families based on average productivity, growth, and development of cows

Бык-производитель / Bull-producer	Семейство матерей / Mother's family, number	Средняя продуктивность / Average productivity				Развитие живой массы, кг / Development of live weight, kg				Рост, см / Height, cm		
		Удой, кг / Milk yield, kg	Жир, % / Fat, %	Белок, % / Protein, %	10 месяцев / 10 months	18 месяцев / 18 months	1-я лактация / the first lactation	2-я лактация / the second lactation	Высота в холке / Height at the withers	Косая длина туловища / Oblique body length	Обхват груди за лопатками / Chest circumference behind shoulder blades	
Викинг / Viking	Волна 1054/20 / Volna 1054/20	14532±227	3,91±0,02	3,22±0,01	288±2,42	472±2,68	612±2,48	634±3,16	144±0,78	175±1,06	205±2,05	
Черномор / Chernomor	Черкеска 4247/7 / Cherkaska 4247/7	14496±473	3,97±0,19	3,38±0,08	302±9,32	516±10,8	665±6,80	701±9,9	144±1,21	158±1,88	209±0,96	
Зюйд / Zuid	Зазноба 837/14 / Zaznoba 837/14	14487±341	3,67±0,09	3,36±0,03	300±5,31	502±5,50	665±5,66	699±6,03	142±0,49	156±0,67	209±0,78	
Помпей / Pompey	Прибава 1272/8	14378±269	3,72±0,10	3,34±0,07	286±9,15	502±12,9	655±7,89	681±13,8	142±0,47	156±1,31	208±1,07	
Посейдон / Poseidon	Пора 336/9 / Poru 336/9	14288±463	3,85±0,13	3,38±0,06	293±8,28	502±8,97	658±4,73	698±7,21	143±0,93	158±1,01	208±0,65	
Арамис / Aramis	Аврора 293/5 / Avroga 293/5	14246±487	3,92±0,01	3,21±0,02	280±5,77	473±9,62	608±5,84	633±7,86	145±0,67	173±1,20	205±1,33	
Аскет / Asket	Аза 1569/10 / Aza 1569/10	14215±460	3,86±0,03	3,23±0,01	284±3,45	479±4,60	623±2,50	640±7,39	145±0,65	176±1,46	206±2,61	
Баян / Baian	Яуза 4178/16 / Yauza 4178/16	14164±241	3,88±0,02	3,23±0,01	287±2,06	474±3,30	616±5,00	635±7,35	145±0,94	175±1,14	207±1,97	
Уран / Uran	Улитка 4037/8 / Ulitka 4037/8	14143±201	3,65±0,07	3,41±0,09	298±12,0	513±15,2	661±12,5	698±8,52	143±0,70	156±0,95	208±1,70	
Урмас / Urmas	Улитка 4037/8 / Ulitka 4037/8	14143±201	3,65±0,07	3,41±0,09	298±12,0	513±15,2	661±12,5	698±8,52	143±0,70	156±0,95	208±1,70	
Водолей / Vodoley	Ванна 1717/7 / Vanna 1717/7	14097±405	3,87±0,08	3,38±0,05	281±10,4	493±14,5	665±4,31	687±13,3	142±0,53	158±1,30	209±0,59	
Брамс / Brams	Бабетта 1567/40 / Babetta 1567/40	14016±192	3,90±0,01	3,22±0,00	286±1,71	473±1,91	617±2,10	637±3,58	146±0,52	175±0,82	208±1,41	
Чардаш / Chardash	Чинара 4401/19 / Chinara 4401/19	13946±360	3,67±0,06	3,37±0,04	278±9,80	506±13,9	671±10,6	690±14,9	142±0,67	155±1,42	210±1,44	
Сидней / Sidney	Стерлядь 177/3 / Sterliad 177/3	13716±580	3,48±0,02	3,26±0,04	283±15,7	474±6,94	658±21,9	701±0,00	141±0,58	157±1,86	208±3,06	
Луксор / Lukxor	Луговина 763/10 / Lugovina 763/10	13716±1103	4,02±0,10	3,46±0,07	280±5,65	506±8,60	665±8,94	691±14,4	143±0,73	157±1,10	209±1,24	
Геракл / Gerakl	Груша 2209/8 / Grusha 2209/8	13325±764	3,93±0,16	3,40±0,06	300±9,04	515±8,11	668±10,3	685±12,6	142±0,38	157±0,94	209±1,43	

Исследованию семейств их особенностей посвящены множество работ. Так, Фураева и др. (2015) отмечают, что 25 маточных семейств из трех основных племзаводов Ярославской области оказали влияние на развитие ярославской породы через быков-производителей, являющихся улучшателями по удою и/или содержанию жира в молоке. Одним из самых больших и ценных является семейство Сайки 138, от представительниц которого получены от заказных спариваний семь быков, широко используемых в сети искусственного осеменения. Исключительно препотентной получилась корова из этого семейства Сигнализация 3493. От неё было получено четыре быка-производителя, трем из которых при оценке по качеству потомства были присвоены племенные категории: Старт 207 – Б1, Сазан 495 – Б1, Снежный 85 – А3 [12].

Казаровец Н. В. и др. отмечают, что коровы-рекордистки и высокопродуктивные коровы получены в основном от голштинских быков зарубежной селекции. От одних быков-производителей получен целый ряд выдающихся по продуктивности коров, от других – их или нет совсем, или встречаются единицы. В большинстве своем дочери коров-рекордисток не достигают уровня удоев своих матерей, тем не менее, средний удой дочерей превышает средний удой их сверстниц на 5,1-7,1 % [13].

Прожерин В. П. и др. сообщают, что в холмогорской породе размножение маточных семейств должно быть организовано преимущественно при внутрилинейном разведении с применением инбридинга в умеренных степенях. Исследования были выполнены на массиве животных 62 семейств племзаводов. Установлено, что преобладающее большинство потомков (67,7 %) было получено в кроссах линий, из них 6,6 % в кроссах линий с умеренным инбридингом и только 16,8 % коров являются потомками от внутрилинейного подбора родителей. В пределах изучаемых семейств, показатели удою и жирномолочности животных от разных типов спаривания различаются. Установлено, что продуктивность по наивысшей лактации потомков, полученных путём кроссов линий с тесным инбридингом, достоверно превосходит потомство от внутрилинейного подбора без инбридинга по удою на 760 кг молока (при $P < 0,001$) и по выходу молочного жира на 30 кг (при $P < 0,001$) [14].

Коваленко Г. и др. отмечают, что генетическое улучшение продуктивности в молочном скотоводстве на 33 % зависит от отбора по продуктивности матерей. В предыдущие 10-15 лет в целенаправленном генетическом улучшении отечественных молочных пород данное звено практически не было задействовано. Отбор, оценка и использование коров-рекордисток по их основному назначению, то есть для получения от них ремонтных бычков, не проводится. Анализ селекционных программ разных стран показал, что в качестве критериев оценки коров-матерей во всех программах учитываются продуктивные и функциональные признаки. Массово используется трансплантация эмбрионов. Во всех селекционных программах разных стран используются комплексные селекционные индексы и учитываются экономически значимые признаки [15].

В таблице 2 представлена характеристика семейств матерей быков по показателям средней продуктивности, росту и развитию коров генеалогических комплексов голштинской породы отечественной селекции.

В большинстве случаев свое развитие семейства получают за счет межлинейного кросса Рефлексн Соверинг 198998 и Вис Бэк Айдиал 1013415. Удой коров в семействах составляет от 13 325 кг до 14 532 кг, содержание жира от 3,48 % до 4,02 %, белка от 3,21 % до 3,46 %. Рост в семействах составляет: высота в холке от 141 до 146 см, косая длина туловища от 155 до 176 см, обхват груди за лопатками от 205 до 210 см. Живая масса в 10 месяцев от 278 до 302 кг, в 18 месяцев от 472 до 516 кг, в период 1-й лактации от 608 до 671 кг, 2-й лактации от 633 до 701 кг.

В таблице 3 представлены результаты оценки быков за 2023 год с ранжированной племенной ценностью быка (EBV) от максимального к минимальному по удою. На первом месте бык-производитель Посейдон 2756, далее Аскет 14277, Геракл 2819 все они показали снижение в молоке жира у дочерей на 0,03-0,13 % и белка на 0,05-0,1 %.

Так, по данным за 2023 год на их дочерях, например, быки-производители: Посейдон прибавка молока составила + 2063 кг, Геракл + 1793 кг, Луксор + 1491 кг, Арамис + 1438 кг, Водолей +1226 кг.

Также следует отметить, что коровы перспективных семейств: Черкеска 230, Груша 9594, Волна 4497, Ванна 9848 и Чинара 35 получены в результате внутрилинейного метода разведения.

Таблица 3 – Результаты племенной ценности быка (EBV) за 2023 год (по данным ВНИИПлем, 2024 г.)
Table 3 – Results of the bull's breeding value (EBV) for 2023 (according to VNIIPlem, 2024)

Кличка быка, инвентарный номер / Bull's name and inventory number	Количество / Number		Установленная племенная ценность быка (EBV) за 2023 год / Estimated breeding value of the bull (EBV) for 2023				
	стадценки быка / bull ratings	дочерей быка / the daughters of the bull	удю / milk yield	МДЖ	кг жира / fat kg	МДБ	кг белка / protein kg
Посейдон 2756 / Poseidon 2756	14	124	2063	-0,1	75,4	-0,05	62,2
Аскет 14277 / Asket 14277	20	110	1986	-0,13	66,9	-0,1	55,3
Геракл 2819 / Gerakl 2819	8	94	1793	-0,03	72,2	-0,06	51,8
Викинг 14366 / Viking 14366	7	68	1551	-0,16	48,5	0,05	55,1
Луксор 4945 / Lukzor 4945	26	405	1491	-0,06	54,8	-0,07	41,4
Арамис 14382 / Aramis 14382	9	63	1438	-0,02	58,2	-0,01	47,1
Черномор 4833 / Chernomor 4833	25	427	1375	-0,1	45,7	-0,05	39,7
Уран 2885 / Uran 2885	16	104	1296	-0,13	39,3	-0,06	35,3
Зюйд 1401 / Zuid 1401	15	251	1286	-0,01	51,7	-0,02	40,5
Водолей 4101 / Vodoley 4101	21	241	1226	-0,01	48,3	-0,12	27,6
Брамс 14485 / Brams 14485	11	23	1147	-0,16	31	-0,07	32,6
Сидней 1851 / Sidney 1851	10	94	980	0,1	51,3	0,09	39,1
Чардаш 4026 / Chardash 4026	31	500	828	0,02	34,4	0	27,6
Помпей 3263 / Pompey 3263	22	320	773	-0,09	21,2	0,08	33,9
Урмас 4793 / Urmas 4793	19	224	635	-0,02	25,1	-0,07	13,1
Баян 125 / Baian 125	25	404	483	0,03	22,3	-0,01	15,1

Заключение. Анализ практики применения метода заказных спариваний при получении быков-производителей показывает следующее, что селекционеры используют наличие ценных семейств в стаде. Способы подбора, также показывают наличие способа внутрилинейного разведения, так и применение кросса линий, что важно для специалистов. Анализ импортных быков-производителей показывает, что такой подход используется и в других странах. Отличительной особенностью получения импортных быков-производителей является использование метода получения эмбрионов для получения быков-производителей, что создает базу максимального получения эмбрионов от заказного спаривания.

Отметим, что в методике заказного спаривания нет ограничений по использованию семейств, а также способа получения и применения метода трансплантации эмбрионов для получения быков-производителей или их процентного соотношения.

Анализ норм и правил в области племенного животноводства выявил обязательное применение следующих селекционных и биотехнологических методов: мечение, учет племенных и продуктивных качеств, оценка качества продукции, оценка по качеству потомства и (или) собственной продуктивности, генетическая экспертиза на достоверность происхождения и отсутствие генетических аномалий, искусственное осеменение, метод заказных спариваний, метод клонирования, генетического редактирования, спермопродукции, разделенной по половому признаку, метод контрольного выращивания свиней, метод контрольного откорма свиней, методика по трансплантации эмбрионов.

Совершенно новым направлением для отрасли племенного животноводства стало субсидирование затрат на проведение молекулярной генетической экспертизы племенного молодняк КРС отобранные для воспроизводства стада. Таким образом, наряду к требованиям к видам племенных хозяйств, господдержка может способствовать утверждению методик ведение учета генетических аномалий, заболеваний, а также локусов генома, ассоциированных с продуктивными признаками [16].

Критический анализ, обобщение практики применения методик из списка требований к племенным хозяйствам или анализ практики новых видов господдержки в сфере племенного животноводства – это тот вклад ученых и практиков отрасли, который они могут внести в развитие животноводства при разведении сельскохозяйственных животных, чтобы решить одну из самых трудных задач государственного управления по актуализации и совершенствованию методик и выявлению передовых способов, которые могут стать протоколом их обязательного применения. Утверждение минимальных требований, которые необходимо исполнять участникам отрасли, или постепенное повышение «количества критериев» при выполнении конкретной методики, основное направление деятельности госуправления. Выбор методики, является приоритетом для госуправления и относится к полномочиям проведения единой научно-технической политики в рамках Федерального закона «О племенном животноводстве». Рассмотренный метод заказных спариваний, является наиболее распространенным в племенном животноводстве при разведении крупного рогатого скота и может заслужить положения отдельного нормативного правового акта. В тоже время, например, маркировка семени быков-производителей по принадлежности к линии раскрывает общий подход к селекции. Маркировка по способу получения быка-производителя, в результате межлинейного кросса или внутрилинейного разведения может быть новым этапом при разведении матерей быков-производителей и служить для полного информирования покупателей. Продолжением такого направления может стать маркировка семейств.

Conclusion. An analysis of the practice of using contract mating to produce stud bulls shows that breeders utilize the presence of valuable families in the herd. Selection methods also demonstrate the use of intra-line breeding and line crosses, which is important for specialists. An analysis of imported stud bulls shows that this approach is also used in other countries. A distinctive feature of producing imported stud bulls is the use of embryo production to produce stud bulls, which creates the basis for maximizing embryo yield from contract mating.

It should be noted that contract mating methods have no restrictions on the use of families, the method of obtaining and using embryo transfer to produce stud bulls, or their percentage. An analysis of standards and regulations in livestock breeding revealed the mandatory use of the following selection and biotechnological methods: tagging, recording of breeding and productive traits, product quality assessment, offspring quality and/or performance assessment, genetic testing for authenticity of origin and the absence of genetic abnormalities, artificial insemination, contract mating, cloning, genetic editing, sex-separated sperm production, control pig rearing, control pig fattening, and embryo transfer.

A completely new direction for the livestock breeding industry has become the subsidization of costs for molecular genetic testing of young cattle selected for herd reproduction. Thus, in addition to requirements for breeding farms, state support can facilitate the approval of methods for recording genetic abnormalities, diseases, and genomic loci associated with productive traits [16].

A critical analysis, a summary of the practical application of the methods listed in the Requirements for Breeding Farms, or an analysis of the practice of new types of state support in the field of livestock breeding are contributions that scientists and industry practitioners can make to livestock breeding. This could solve what may be one of the most difficult challenges in public administration: updating and improving methods and identifying best practices that can become mandatory protocols for their application. Approving minimum requirements that must be met by industry participants or gradually increasing the "number of criteria" for implementing a specific method is within the scope of the unified scientific and technical policy within the framework of the Federal Law "On Livestock Breeding." The method of contract mating discussed above is the most common in cattle breeding and may merit the provisions of a separate regulatory act. At the same time, for example, marking the semen of breeding bulls by lineage reveals a general approach to selection. Marking the sire's ancestry, whether through interline crossbreeding or intra-line breeding could be a new step in the breeding of dams of sires and serve to fully inform buyers. Family marking could be a further development in this area.

Библиографический список

1. Cole J. B. et al. Invited review: Management of genetic defects in dairy cattle populations. Journal of Dairy Science. 2025.
2. Полянская Н. В., Грашин В. А., Грашин А. А. Племенное животноводство. Прогрессивная экономика. 2024. №. 4. С. 93-107.

3. Дунин И. М. и др. Справочник пород и типов сельскохозяйственных животных, разводимых в Российской Федерации; словарь терминов по разведению, генетике, селекции и биотехнологии размножения сельскохозяйственных животных: перечень российских и международных организаций в сфере животноводства. ФГБНУ ВНИИПлем, 2013. С. 367-484.

4. Об утверждении Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 8 сентября 2022 года № 2567-р.

5. О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия: постановление Правительства Российской Федерации от 14 июля 2012 года № 717.

6. Об утверждении требований к видам племенных хозяйств: приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 2 июня 2022 года № 336.

7. Об утверждении Порядка и условий проведения бонитировки племенного крупного рогатого скота молочного и молочно-мясного направлений продуктивности: приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 28 октября 2010 года № 379.

8. Об утверждении Порядка и условий проведения бонитировки племенного крупного рогатого скота мясного направления продуктивности и внесении изменений в приказ Минсельхоза России от 19.10.2006 № 402: Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 2 августа 2010 года № 270.

9. Об утверждении Порядка и условий проведения бонитировки племенных свиней и внесении изменений в приказ Минсельхоза России от 19.10.2006 № 402: Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 7 мая 2009 года № 179.

10. Об утверждении порядков и условий проведения бонитировки племенных овец тонкорунных пород, полутонкорунных пород и пород мясного направления продуктивности: Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 21 декабря 2021 года № 860.

11. Об утверждении условий применения биотехнологических методов искусственного осеменения племенных коров и телок (Зарегистрировано в Минюсте РФ 21.07.2016 № 42932): Приказ Минсельхоза РФ от 18.03.2016 № 102.

12. Фураева Н. С., Воробьева С. С., Зверева Е. А. Влияние маточных семейств на эффективность селекционно-племенной работы с ярославской породой крупного рогатого скота. Вестник АПК Верхневолжья. 2015. № 1. С. 38-43.

13. Казаровец Н. В. и др. Результаты использования быков-производителей разных генотипов и маточных семейств с разным уровнем продуктивности. Ученые записки учреждения образования "Витебская ордена "Знак Почета" государственная академия ветеринарной медицины". 2017. Т. 53. Вып. 4. С. 106-110.

14. Прожерин В. П. и др. Маточные семейства холмогорской породы скота архангельской популяции. Farm Animals. 2013. №. 3-4. С. 60-66.

15. Коваленко Г. и др. Критерии оценки коров-матерей быков в селекционных программах разных стран. Инновации в зоотехнике и безопасности производства животных – реализация и перспектива. 2021. С. 337-343.

16. О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 14 июля 2012 г. № 717: постановление Правительства Российской Федерации от 01.08.2025 № 1147.

References

1. Cole J. B. et al. Invited review: Management of genetic defects in dairy cattle populations. Journal of Dairy Science. 2025.

2. Polyanskova N. V., Grashin V. A., Grashin A. A. Breeding Animal Husbandry. Progressive Economy. 2024. No. 4. Pp. 93-107.

3. Dunin I. M. et al. Handbook of Breeds and Types of Farm Animals Raised in the Russian Federation: Dictionary of Terms in Breeding, Genetics, Selection, and Biotechnology of Reproduction of Farm Animals: List of Russian and International Organizations in the Field of Animal Husbandry. 2013. Pp. 367-484.

4. On approval of the Strategy of development of the agriculture and fisheries of the Russian Federation for the period up to 2030: the government of the Russian Federation dated September 8, 2022 No. 2567-R.

5. On State program of development of agriculture and regulation of markets of agricultural products, raw materials and food: regulation of the Government of the Russian Federation of July 14, 2012 No. 717.

6. On approval of requirements for the types of breeding farms: the order of the ministries of agriculture of the Russian Federation from June 2, 2022 № 336.

7. On approval of the Procedure and conditions for the valuation of breeding cattle dairy and dairy-beef productive activity: the order of the Ministry of agriculture of the Russian Federation of October 28, 2010 No. 379.

8. On approval of the Procedure and conditions for the valuation of breeding cattle for meat productivity and changes in the order of the Ministry of agriculture of Russia dated 19.10.2006 No. 402: the order of the Ministry of agriculture of the Russian Federation of August 2, 2010 No. 270.

9. On approval of the Procedure and conditions for the valuation of breeding pigs and amendments in the order of the Ministry of agriculture of Russia dated 19.10.2006 No. 402: the order of the Ministry of agriculture of the Russian Federation of May 7, 2009 No. 179.

10. On approval of the rules and conditions of conduct of the appraisal breeding sheep breeds fine, semi-fine breeds and breeds for meat productivity: the order of the Ministry of agriculture of the Russian Federation of December 21, 2021 № 860.

11. On approval of the terms of use of biotechnological methods in artificial insemination breeding cows and heifers (Registered in the Ministry of justice 21.07.2016 No. 42932): the Order of the Ministry of agriculture of the Russian Federation dated 18.03.2016 No. 102.

12. Furaeva N. S., Vorobyeva S. S., Zvereva E. A. Influence of uterine families on the efficiency of breeding work with the Yaroslavl breed of cattle. Vestnik AIC Verkhnevolzhya. 2015. No 1. Pp. 38-43.

13. Kazarovets N. V. et al. Results of using bulls of different genotypes and uterine families with different levels of productivity. Scientific Notes of the Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine. 2017. Vol. 53. Issue 4. Pp. 106-110.

14. Prozerin V. P. et al. The uterine families of the Kholmogory cattle breed in the Arkhangelsk population. *Farm Animals*. 2013. No 3-4. Pp. 60-66.
15. Kovalenko G. et al. Criteria for evaluating bull-mother cows in breeding programs in different countries. *Innovations in animal husbandry and animal production safety – implementation and prospects*. 2021. Pp. 337-343.
16. On amendments to the Decree of the Government of the Russian Federation dated July 14, 2012, No. 717: Decree of the Government of the Russian Federation dated August 1, 2025, No. 1147.

Информация об авторах

Грашин Алексей Александрович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела (Российская Федерация, 141212, Московская область, г. Пушкино, ул. Ленина, 13), ORCID: 0000-0003-0243-7786, e-mail: grashin.aleksey@mail.ru

Бокова Анна Алексеевна, аспирант, ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 446442, Самарская область, г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2), ORCID: 0000-0002-5193-364X, e-mail: anuta1998b@mail.ru

Мещеров Шамиль Равильевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела (Российская Федерация, 141212, Московская область, г. Пушкино, ул. Ленина, 13), ORCID: 0000-0001-5500-8753, e-mail: sh.meshchero@vniiplem.ru

Грашин Валерий Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора, ООО «Самарская гидропромышленная компания» (Российская Федерация, 443099, г. Самара, ул. Водников, 119), ORCID: 0000-0003-2976-8585, e-mail: 3106684@mail.ru

Authors' Information

Grashin Aleksey Aleksandrovich, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, All-Russian Research Institute for Breeding (Russian Federation, 141212, Moscow Region, Pushkino, Lenin Str., 13), ORCID: 0000-0003-0243-7786, e-mail: grashin.aleksey@mail.ru

Bokova Anna Alekseevna, Postgraduate Student, Samara State Agrarian University (Russian Federation, 446442, Samara Region, Kinel, Ust-Kinelsky, Uchebnaya Str., 2), ORCID: 0000-0002-5193-364X, e-mail: anuta1998b@mail.ru

Meshchero Shamil Ravilevich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Head of the Laboratory, All-Russian Research Institute of Breeding (Russian Federation, 141212, Moscow region, Pushkino, Lenin Str., 13), ORCID: 0000-0001-5500-8753, e-mail: sh.meshchero@vniiplem.ru

Grashin Valery Aleksandrovich, Candidate of Agricultural Sciences, Deputy Director, Limited Liability Company Samara Hydro-Industrial Company (Russian Federation, 443099, Samara, Vodnikov Str., 119), ORCID: 0000-0003-2976-8585, e-mail: 3106684@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-43

THE POLYMORPHISM OF THE B-LACTOGLOBULIN GENE OF THE RED STEPPE BREED COWS WITH THE DIFFERENT HOLSTEIN INHERITANCE

Divenko O. V.

*Omsk Agrarian Scientific Center
Omsk, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: perminova@anc55.ru

Received 26.12.2025

Submitted 10.03.2026

The research was conducted within the framework of the state-approved research topic «Improving the genetic potential of red steppe cattle taking into account the bloodline of improving breeds of Russian selection» (FNUN-2024-0006) of the subprogram «Improving the genetic potential of dairy cattle» within the framework of the implementation of the federal project «Agrarian science – a step into the future development of the agro-industrial complex» of the state program of the Russian Federation «Scientific and technological development of the Russian Federation».

Summary

The article defines the features of beta-lactoglobulin gene polymorphism in red steppe cows with different bloodlines according to the Holstein breed, and also examines the main indicators of dairy productivity of cows with genotypes AA, AB and BB. The largest number of animals with the desired BB genotype was found among low-blooded (up to 50 %) Holstein cows. It has been established that an increase in blood supply for the Holstein breed leads to a decrease in the frequency of carriage of the beta-lactoglobulin BB gene genotype to 17-20 %. High-blooded Holstein individuals have a high frequency of occurrence of the heterozygous AB genotype – 70%. In full-aged cows, the BB genotype was associated with high milk yields, lactation stability, and a lactation coefficient. The advantage of the main qualitative characteristics of milk (the content of the mass fraction of protein, lactose, SOMO, milk density) in cows carrying the homozygous AA gene has been revealed. The increased content of the mass fraction of fat and dry matter was associated with the carrier of the AB genotype. The biological value of the milk produced was better in cows carrying the AA genotype.

Abstract

Introduction. The article defines the features of beta-lactoglobulin gene polymorphism in red steppe cows with different bloodlines according to the Holstein breed, and also examines the main indicators of dairy productivity of cows with genotypes AA, AB and BB. The largest number of animals with the desired BB

genotype was found among low-blooded (up to 50 %) Holstein cows. It has been established that an increase in blood supply for the Holstein breed leads to a decrease in the carrier genotype of the beta-lactoglobulin gene to 17-20 %. High-blooded Holstein individuals have a high frequency of occurrence of the heterozygous AB genotype – 70 %. In full-aged cows, the BB genotype was associated with high milk yields, lactation stability, and a lactation coefficient. The advantage of the main qualitative characteristics of milk (the content of the mass fraction of protein, lactose, SOMO, milk density) in cows carrying the homozygous AA gene has been revealed. The increased content of the mass fraction of fat and dry matter was associated with the carrier of the AB genotype. The biological value of the milk produced was better in cows carrying the AA genotype. Relevance. Obtaining low-allergenic milk by reducing the content of beta-lactoglobulin protein becomes possible when identifying cows carrying the BB genotype of the beta-lactoglobulin gene, in which the synthesis of this protein is reduced. When carrying out breeding work with cattle of the red steppe breed, the identification of animals carrying a valuable BB genotype will speed up the process of obtaining hypoallergenic milk with high quality and technological characteristics. **Object.** The object of research is the breeding stock of the red steppe cattle breed with different bloodlines according to the Holstein breed. **Materials and methods.** The paper studied the indicators of dairy productivity of cows (milk yield for 305 days of 1-3 lactation, lactation stability coefficient and lactation coefficient, mass fraction of fat, protein, skimmed milk residue (SOMO), lactose and milk density), calculated the frequency of occurrence of genotypes AA, AB and BB, as well as alleles A and B in cows with different bloodlines according to the Holstein breed. **Results and conclusions.** Among the cows of the red steppe breed, the desired BB genotype was identified among low-blooded (up to 50 %) Holstein cows in the amount of 26-35 % of the total studied population. An increase in Holstein in red steppe cows leads to a decrease in the carriage of the desired BB genotype of the beta-lactoglobulin gene to 17-20 %. Among high-blooded individuals (76 % or more) According to Holsteins, carriers of the heterozygous genotype were the most common – 70 %. A high frequency of the A allele (61 %) was found in cows with a bloodline of 51-75%. In all other animals, the predominant carrier of the B allele was 53-59 %. In full-aged cows, the presence of the BB genotype was associated with high milk yields, lactation stability, and a lactation coefficient. The advantage of the main qualitative characteristics of milk (the content of the mass fraction of protein, lactose, SOMO, milk density) with the carriage of the homozygous AA gene has been revealed. The increased content of the mass fraction of fat and dry matter was associated with the carrier of the AB genotype. The biological value of the milk produced was better in cows carrying the AA genotype.

Keywords: *beta-lactoglobulin gene, alleles, red steppe cattle breed, Holstein cattle breed, milk quality indicators, dairy cow productivity.*

Citation. Divenko O. V. The polymorphism of the b-lactoglobulin gene of the Red Steppe breed cows with the different Holstein inheritance. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 398-408 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-43.

Author's contribution. The author of this research paper has equally participated personally at all stages of its implementation. The author of the present article is familiar with its contents and have approved the final version presented.

Conflict of interest. The author does not declare a conflict of interest.

УДК 636.2.082

ПОЛИМОРФИЗМ ГЕНА БЕТА-ЛАКТОГЛОБУЛИНА КОРОВ КРАСНОЙ СТЕПНОЙ ПОРОДЫ С РАЗНОЙ КРОВНОСТЬЮ ПО ГОЛШТИНАМ

Дивенко О. В., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»
г. Омск, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках утвержденной государственным заданием поисковой теме научных исследований «Совершенствование генетического потенциала скота красной степной породы с учетом кровности по улучшающим породам российской селекции» (FNUN-2024-0006) подпрограммы «Улучшение генетического потенциала крупного рогатого скота молочных пород» в рамках реализации федерального проекта «Аграрная наука – шаг в будущее развитие АПК» государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации».

Резюме. В статье определены особенности полиморфизма гена бета-лактоглобулина у коров красной степной породы с разной кровностью по голштинской породе, а также изучены основные показатели молочной продуктивности коров с генотипами AA, AB и BB. Наибольшее количество животных с желательным генотипом BB выявлено среди низокровных (до 50 %) по голштинской породе коров. Установлено, что повышение кровности по голштинской породе приводит к снижению частоты носительства генотипа BB гена бета-лактоглобулина до 17-20 %. У высококровных по голштинам особей определена высокая частота встречаемости гетерозиготного генотипа AB – 70 %. У полновозрастных коров генотип BB ассоциировался с высокими удоями, устойчивостью лактации и ко-

эффициентом молочности. Выявлено преимущество основных качественных характеристик молока (содержание массовой доли белка, лактозы, СОМО, плотности) у коров-носителей гомозиготного гена AA. Увеличенное содержание массовой доли жира и сухого вещества ассоциировалось с носительством генотипа AB. Биологическая полноценность производимого молока была лучше у коров-носителей генотипа AA.

Актуальность. Получение низкоаллергенного молока путем снижения содержания белка бета-лактоглобулина становится возможным при идентификации коров-носителей генотипа BB гена бета-лактоглобулина, у которых снижен синтез данного белка. При осуществлении селекционно-племенной работы с крупным рогатым скотом красной степной породы выявление животных-носителей ценного генотипа BB позволит ускорить процесс получения гипоаллергенного молока с высокими качественными и технологическими характеристиками. **Объект.** Объектом исследований является маточное поголовье красной степной породы крупного рогатого скота с разной кровностью по голштинской породе. **Материалы и методы.** В работе изучены показатели молочной продуктивности коров (удой за 305 дней 1-3 лактаций, коэффициент устойчивости лактации и коэффициент молочности, массовая доля жира, белка, сухого обезжиренного молочного остатка (СОМО), лактозы и плотность молока), рассчитаны частота встречаемости генотипов AA, AB и BB, а также аллелей A и B гена бета-лактоглобулина у коров с разной кровностью по голштинской породе. **Результаты и выводы.** Среди коров красной степной породы желательный генотип BB был выявлен среди низкокровных (до 50 %) по голштинской породе коров в количестве 26-35 % от общего исследуемого поголовья. Рост голштинизации у коров красной степной породы приводит к снижению носительства желательного генотипа BB гена бета-лактоглобулина до 17-20 %. Среди высококровных особей (76 % и более) по голштинам наиболее часто встречались носители гетерозиготного генотипа – 70 %. Высокая частота встречаемости аллеля A (61 %) была выявлена у коров с кровностью 51-75 %. У всех остальных животных преобладающим было носительство аллеля B – 53-59 %. У половозрелых коров наличие генотипа BB ассоциировалось с высокими удоями, устойчивостью лактации и коэффициентом молочности. Выявлено преимущество основных качественных характеристик молока (содержание массовой доли белка, лактозы, СОМО, плотности) с носительством гомозиготного гена AA. Увеличенное содержание массовой доли жира и сухого вещества ассоциировалось с носительством генотипа AB. Биологическая полноценность производимого молока была лучше у коров-носителей генотипа AA.

Ключевые слова: ген бета-лактоглобулин, аллели, красная степная порода КРС, голштинская порода КРС, качественные показатели молока коров, продуктивность молочных коров.

Цитирование. Дивенко О. В. Полиморфизм гена бета-лактоглобулина коров красной степной породы с разной кровностью по голштинам. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 398-408. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-43.

Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Генотип животного обуславливает его продуктивный потенциал при условии соблюдения оптимальных условий кормления и технологий содержания. С возникновением ДНК-маркерной селекции и её развитием стало возможным управлять процессами наследования продуктивных качеств крупного рогатого скота посредством отбора животных с желательными генотипами и закреплением их лучших сочетаний. У молочных коров выявлено определенное количество ДНК-маркеров, среди которых большое значение имеет ген бета-лактоглобулин (BLG). Синтез белка бета-лактоглобулина происходит в секреторном эпителии вымени коровы из аминокислот, поступающих с током крови в молочную железу [1]. За синтез бета-лактоглобулина у крупного рогатого скота отвечает ген бета-лактоглобулин, который локализован в 11-й хромосоме, состоит из семи экзонов и шести интронов. Генетические исследования позволили выявить четыре аллели A, B, C и D, но наиболее часто встречающимися являются A и B. При этом у животных-носителей аллельного варианта B данный белок в молоке не синтезируется, что имеет важное значение по причине того, что белок бета-лактоглобулин считается основным аллергеном молочной сыворотки. Научными исследованиями определено, что среди крупного рогатого скота европейских пород молочного направления продуктивности наблюдается высокое носительство B аллели. С генотипом BB часто ассоциируется высокое содержание жира, белка, сухого вещества в молоке коров. Но полученные к настоящему времени результаты исследований носят противоречивый характер, часто зависящий от породной принадлежности и ареала распространения животных [2].

Так, в исследованиях, проведенных на поголовье коров голштинской породы в условиях Татарстана, определены высокие показатели молочной продуктивности, кроме содержания жира в молоке, у носителей гетерозиготного генотипа АВ гена бета-лактоглобулина. Средний удой этих животных составил 6464,2 кг молока, что на 42,4 кг выше аналогичного показателя коров с гомозиготным генотипом ВВ. По содержанию белка (3,2 %) и выхода молочного белка (206,4 кг) гетерозиготные особи также были лучшими. Коровы-носители генотипа ВВ показали более высокие значения по содержанию жира в молоке – 4,5 %. У коров с гомозиготным генотипом АА выявлены минимальные показатели по удою (5981,2 кг), содержанию жира в молоке (3,97 %), содержанию белка (3,17 %) [3]. Частота встречаемости гомозиготного генотипа АА среди исследуемого поголовья составила – 22 %, гетерозиготного генотипа АВ – 38 %, гомозиготного генотипа ВВ – 40 %. Частота встречаемости аллеля А – 0,4, аллеля В – 0,6 [4].

В другой популяции татарстанского голштинского скота распределение поголовья по генотипам было следующим: коров-носителей гомозиготных генотипов АА и ВВ было 24,3 % и 28,4 % соответственно, преобладающее количество выявлено среди коров с гетерозиготным генотипом АВ – 47,3 %. Частота встречаемости аллеля А составила 0,48, аллеля В – 0,52. Гетерозиготный генотип АВ коров ассоциировался с высоким содержанием показателей белкового обмена сыворотки крови: общий белок, альбумин, АЛТ и минимальным уровнем мочевины. Кроме того, у этих животных определены лучшие показатели по массовой доле жира и белка, СОМО и сухого вещества [5].

Исследования, проведенные на голштинском поголовье импортных коров нидерландской селекции в условиях Кабардино-Балкарской Республики, выявили преимущественную частоту встречаемости особей-носителей аллеля А (0,72) в сравнении с малочисленной группой-носителей аллеля В (0,28). Количество животных с генотипом АА было на уровне 55,2 %, с генотипом АВ – 34,3 % и с ВВ – 10,5 % [6].

В условиях Краснодарского края определено, что у коров, относящихся к двум голштинским линиям В. Б. Айдиала и Р. Соверинга, частота встречаемости генотипов была схожей. Так, гомозиготный генотип ВВ у потомков линии В. Б. Айдиала был на уровне 35,2 %, генотипов АА и АВ – 32,4 %. Частота встречаемости генотипов ВВ и АВ у потомков линии М. Чифтейна составляла 35,3 %, АА – 29,4 % [7].

Белорусскими учеными было исследовано поголовье коров высокоголштинизированной белорусской черно-пестрой породы Гродненского района на предмет полиморфизма гена бета-лактоглобулина. Частота встречаемости животных с генотипом АВ была на уровне 72 %, АА – 15 % и ВВ – 13 %. Ассоциация с высокими удоями у первотелок была с генотипом АА (8408 кг), у полновозрастных коров – с генотипом АВ (9191-9503 кг). Аналогичная картина проявилась по количеству молочного жира и белка [8].

При изучении полиморфизма гена бета-лактоглобулина у голштинских коров в условиях Казахстана определилась высокая частота встречаемости гетерозиготного генотипа АВ – 54,5 % и примерно равная встречаемость животных с гомозиготными генотипами АА (20,2 %) и ВВ (25,3 %). Распределение аллелей А и В в данной популяции было практически одинаковым 0,47 и 0,53 соответственно. Гетерозиготный генотип АВ коров ассоциировался с максимальными удоями (6464,2 кг) и высоким содержанием белка (3,2 %). Гомозиготный генотип ВВ был у коров с лучшим содержанием жира в молоке (4,5 %) [9].

В исследованиях, проведенных учеными Казахстана (г. Павлодар) половина маточного поголовья красной степной породы представлена гетерозиготными формами гена бета-лактоглобулина – 51 %. Около 37 % коров относилось к гомозиготному типу ВВ – 37 % и только 12 % – к форме АА. Статистически достоверных закономерностей ассоциации с продуктивными показателями у коров-носителей разных генотипов выявлено не было, но максимальными удоями (7099 кг), высоким выходом молочного жира (284,5 кг) и белка (226,3 кг) характеризовались особи с генотипом АВ [10].

Белорусскими учеными было исследовано поголовье коров красной белорусской породной группы (г. Гродно, Республика Беларусь) на предмет полиморфизма гена бета-лактоглобулина. Частота встречаемости аллелей в данной популяции была примерно на одинаковом уровне А – 0,54, В – 0,46. Особи с гетерозиготным генотипом АВ (65 %) преобладали над количеством животных гомозиготных генотипов АА (22 %) и ВВ (13 %). Ассоциация с молочными признаками была достоверно подтверждена для генотипа ВВ – с высоким удоём (5838 кг), генотипа АА – с максимальным содержанием жира (4,2 %) и белка (3,5 %) в молоке, генотипа АВ – с высоким выходом молочного жира (238,1 кг) и белка (197,4 кг) [11].

Подобные исследования были проведены с чешским молочно-мясным крупным рогатым скотом породы Флекви, выведенной в центральной Европе в 19-м веке в результате скрещивания местного поголовья с симментальским скотом, импортированным из Швейцарии. Частота встречаемости животных-носителей аллеля А была на уровне 0,49, аллеля В – 0,51. Половина всех исследуемых животных была отнесена к гетерозиготному генотипу АВ (46,5 %), примерно одинаковое распределения было у коров гомозиготных генотипов АА (25,4 %) и ВВ (28,1 %) [12].

Среди особей румынского симментальского скота частота встречаемости аллеля А была достоверно выше (0,61) в сравнении с аллелем В (0,39). Наиболее распространенным в данной популяции был генотип АВ (58 %) в сравнении с генотипами АА (32 %) и ВВ (10 %). Ассоциация с высоким удоем была у коров-носителей генотипа АВ (5907 кг), с высоким содержанием жира в молоке у животных-носителей генотипа ВВ (4,23 %). По содержанию белка коровы разных генотипов практически не различались [13].

При исследовании малочисленного низкопродуктивного скота Латвии, на примере молочных пород бурой латвийской и голубой латвийской выяснилось, что данная популяция обладает носительством аллеля В на 92 % и 89 % соответственно. Если у коров бурой латвийской породы частота встречаемости генотипа АА была на уровне 20 %, то среди голубой латвийской такие животные отсутствовали. Самой многочисленной группой были коровы-носители генотипа ВВ соответственно 85 % и 77 %. Интересно отметить, что высокие суточные удои ассоциировались с генотипом ВВ (19,6 кг) у коров бурой латвийской породы, а у коров голубой латвийской породы с генотипом АВ (18 кг). Максимальное количество молочного жира и белка было получено от коров-носителей генотипа ВВ, независимо от породной принадлежности [14].

Популяция четырех польских пород крупного рогатого скота (голштинская польская, джерсейская, польская красная (Polish Red) и белоспинная (White-backed)) была изучена на предмет полиморфизма гена бета-лактоглобулина. Среди исследуемого поголовья джерсейской породы доминировал аллель А со значением 0,62, у коров польской бурой породы – аллель В с частотой встречаемости 0,73. Наибольшая частота встречаемости желательного генотипа ВВ была у коров польской бурой породы – 52 % в сравнении с голштинскими (30 %), белоспинными (20 %) и джерсейскими (14 %). Наиболее часто встречающимся генотипом был АВ: у голштин и джерсеев 45-48 %, у местных польских пород 42-50 %. Генотип АА ассоциировался с высокими удоями, содержанием жира, белка, лактозы и сухого вещества. Генотип ВВ был связан с выходом белка казеина [15].

Исследования, проведенные на поголовье коров молочной породы Джироландо (Girolando cattle), созданной в Бразилии путём скрещивания индийского скота Гир и голштинской породы, показали равнозначное распределение аллелей А и В в популяции 0,52 и 0,48 соответственно. Наиболее часто встречающимся оказался гетерозиготный генотип АВ – 48 %, гомозиготные генотипы АА и ВВ были равновесны 26-28 % [15].

Подводя итоги научных данных по изучению полиморфизма гена бета-лактоглобулина, полученных к настоящему времени, необходимо отметить, что только у аборигенных пород Латвии был обнаружен значительный перевес популяции по аллелю В (89-92 %). У коров голубой латвийской породы отсутствовал генотип АА, а среди коров бурой латвийской породы встречаемость этого генотипа не превысила 20 %. Что касается остальных молочных пород, независимо от ареала распространения животных, их популяция была равновесной по аллелям А и В гена бета-лактоглобулина. Частота встречаемости особей-носителей гетерозиготной формы была максимальной практически во всех научных исследованиях. Неоднозначная картина наблюдалась при проявлении молочных признаков животных.

До настоящего времени в научном сообществе не представлено сведений о взаимосвязи степени голштинизации коров с особенностями полиморфизма гена бета-лактоглобулина.

Вследствие чего, целью наших исследований стало изучение полиморфизма гена бета-лактоглобулина коров красной степной породы с разной кровностью по голштинам.

Материалы и методы. Работа по исследованию маточного поголовья красной степной породы крупного рогатого скота проводилась на базе одного из хозяйств, расположенного на территории Омской области. Данные первичного зоотехнического учета были импортированы из ИАС «Селэкс-Молочный скот» (ООО «РЦ «Плино», г. Санкт-

Петербург). Генотипирование крови 126 коров по определению полиморфизма гена бета-лактоглобулина проводилось в лаборатории агробιοтехнологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Сибирского федерального научного центра агробιοтехнологий Российской академии наук (СФНЦА РАН, г. Новосибирск). Анализ осуществлялся апробированными ПЦР–ПДРФ методиками, на основе общепринятых методов. Качественные характеристики молока: массовая доля жира (%), белка (%), лактозы (%), сухого вещества (%) и плотность молока (кг/м³) определяли в лаборатории животноводства ФГБНУ «Омский агарный научный центр» при использовании «Автоматизированного измерительного комплекса Лактан в исполнении 700» (ООО «ТД «Сибагроприбор», г. Новосибирск).

Условия содержания и кормления для исследуемых животных были одинаковыми.

Для проведения исследований поголовье коров красной степной породы было разделено на группы в зависимости от кровности по голштинской породе: в первую группу вошли коровы (46 голов) с кровностью по голштинам до 25 %, во вторую группу (52 головы) – с кровностью 26-50 %, в третью группу (18 голов) – с кровностью 51-75 %, в четвертую (10 голов) – с кровностью 76 % и более.

В процессе исследований у коров были проанализированы основные продуктивные показатели по 1, 2, 3, лактациям (удой, коэффициент устойчивости лактации, коэффициент молочности), качественные характеристики молока: массовая доля жира (%), белка (%), лактозы (%), сухого обезжиренного молочного остатка (%), сухого вещества (%), плотность молока (кг/м³). Контрольные доения коров проводили в соответствии с Рекомендациями Коллегии Евразийской экономической комиссии от 21 ноября 2023 г. № 34 «Об унифицированных подходах к учету молочной продуктивности и проведению лабораторного контроля качества молока крупного рогатого скота молочного направления продуктивности». При проведении контрольного доения коров отобраны индивидуальные пробы молока пропорционально удою.

В работе были рассчитаны следующие показатели по нижеприведенным формулам:

Частота встречаемости генотипов (P), %

$$P = \frac{n \times 100}{N} \quad (1)$$

где n – количество животных, имеющих определенный генотип; N – общее количество особей.

Частота встречаемости аллелей A (P(A)) и B (P(B)), %

$$P(A) = \frac{(2 \times n_{AA} + n_{AB}) \times 100}{2N} \quad (2)$$

$$P(B) = \frac{(2 \times n_{BB} + n_{AB}) \times 100}{2N} \quad (3)$$

где n_{AA} – число особей с генотипом AA; n_{AB} – число особей с генотипом AB; n_{BB} – число особей с генотипом BB.

Коэффициент устойчивости лактации (КУЛ), %

$$КУЛ = \frac{Y_2 \times 100}{Y_1} \quad (4)$$

где Y₁ – удой за первые 90 дней лактации, кг; Y₂ – удой за вторые 90 дней лактации, кг.

Коэффициент молочности (КМ), кг

$$КМ = \frac{Y \times 100}{M} \quad (5)$$

где Y – удой коровы за 305 дней лактации, кг; M – живая масса коровы, кг.

Соотношение белка и жира в молоке (ЖБ)

$$ЖБ = \frac{Ж}{Б} \quad (6)$$

где Ж – массовая доля жира в молоке коров, %; Б – массовая доля белка в молоке коров, %.

Коэффициент биологической эффективности коровы, % (БЭК)

$$\text{БЭК} = \frac{(Y \times \text{CB})}{M} \quad (7)$$

где Y – удой за 305 дней 1 лактации; кг; СВ – массовая доля сухого вещества в молоке, %; M – живая масса коров после 1 отела, кг.

Коэффициент биологической полноценности, % (КБП):

$$\text{КБП} = \frac{Y \times \text{СОМО}}{M} \quad (8)$$

где Y – удой за 305 дней 1 лактации, кг; СОМО – сухой обезжиренный молочный остаток, %.

Первичная информация по животным, сформированная через «Структуру картотеки» ИАС «Селэкс-Молочный скот», импортирована в программу Excel, где были проведены основные статистические расчёты во вкладках «Анализ данных» («Описательная статистика») и «Сводные таблицы». Оценка достоверности рассчитывалась по таблице значений Стьюдента (t) с учетом числа степеней свободы (n–2), где n – число парных вариантов.

Результаты и обсуждение. Полиморфизм гена бета-лактоглобулина в исследуемой популяции красного степного скота представлен двумя аллелями A и B и тремя генотипами AA, AB и BB.

Частота встречаемости генотипов имела определенную закономерность в зависимости от кровности коров по голштинской породе (рисунок 1).

Желательный генотип BB, определяющий пониженный синтез сывороточного белка бета-лактоглобулина в молоке коров, был обнаружен у 26-35 % низкокровных по голштинам животных (до 50 %) красной степной породы. С ростом голштинизации количество особей-носителей данного генотипа сокращалась до 17-20 %.

Гомозиготный генотип AA был у 39 % коров с кровностью 51-75 % по голштинской породе. У остальных животных эта величина не превышала 10-20 %.

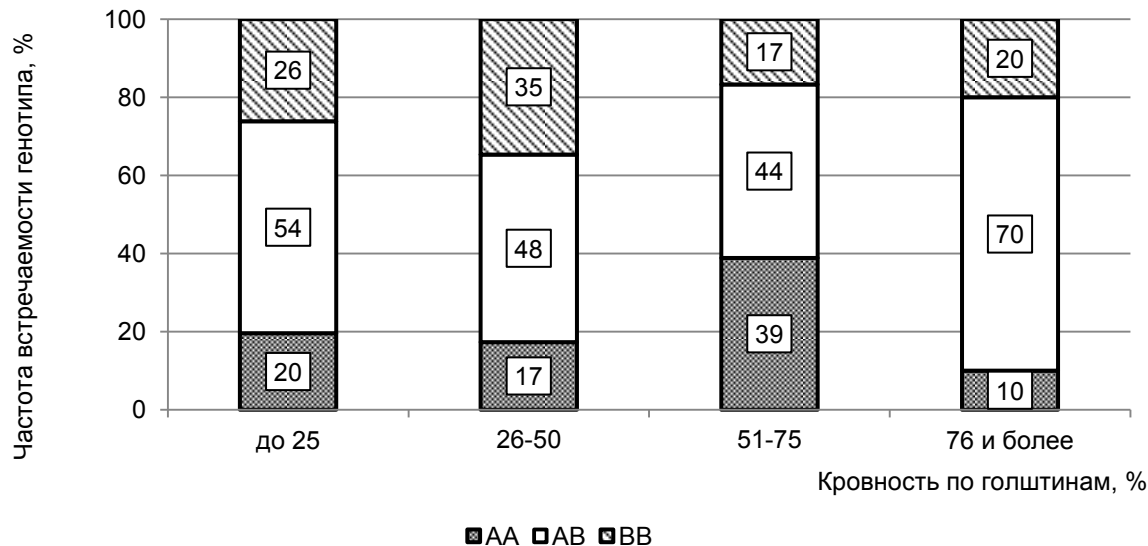


Рисунок 1 – Частота встречаемости генотипов AA, AB и BB гена бета-лактоглобулина у коров красной степной породы с разной кровностью по голштинам, %

Figure 1 – Frequency of occurrence of genotypes AA, AB and BB of beta-lactoglobulin gene in red steppe cows with different bloodlines according to Holsteins, %

Преобладающее поголовье являлось носителями гетерозиготного генотипа AB 44-70 %. При этом, у коров с кровностью до 75 % по голштинам носительство данного генотипа было у половины всего поголовья 44-54 %. Частота встречаемости носителей гетерозиготного генотипа у высококровных особей (76 % и более) была максимальной – 70 %.

Частота встречаемости аллелей A и B у коров разного уровня кровности по голштинской породе распределялась неоднозначно (рисунок 2).

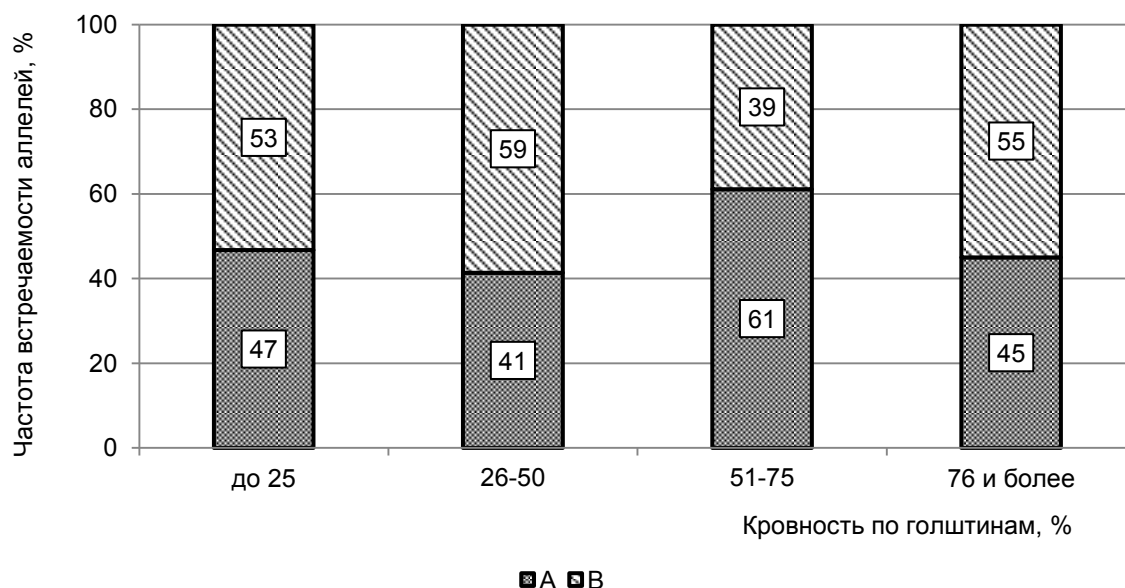


Рисунок 2 – Частота встречаемости аллелей А и В гена бета-лактоглобулина у коров красной степной породы с разной кровностью по голштинам
Figure 2 – Frequency of occurrence of beta-lactoglobulin gene alleles A and B in Red steppe cows with different Holstein bloodlines

Основное поголовье коров с кровностью 51-75 % было носителями аллеля А – 61 %. У всех остальных животных преобладающим было носительство аллеля В 53-59 %.

При изучении влияния носительства разных форм генотипа гена бета-лактоглобулина на продуктивные показатели коров статистически достоверных закономерностей установлено не было.

Максимальный удой у первотелок ассоциировался с генотипом АВ – 4994 кг (таблица 1). Разница с коровами-носителями гомозиготных генотипов составила 101-125 кг. По результатам второй и третьей лактации высокие удои 5345-5808 кг ассоциировались с генотипом ВВ. Разница с животными-носителями генотипов АА и АВ составила соответственно 51-356 кг и 108-647 кг.

Таблица 1 – Показатели молочной продуктивности коров разного генотипа гена бета-лактоглобулина
Table 1 – Indicators of dairy productivity of cows of different genotypes of beta-lactoglobulin gene

Показатель / Indicator	Генотип гена бета-лактоглобулина / The genotype of the beta-lactoglobulin gene		
	АА	АВ	ВВ
Удой за 305 дней, кг / Milk yield for 305 days, kg			
1 лактация / lactation 1	4869 ± 148,2	4994 ± 88,4	4893 ± 137,3
2 лактация / lactation 2	5294 ± 247,4	5237 ± 160,5	5345 ± 410,8
3 лактация / lactation 3	5452 ± 270,0	5161 ± 202,2	5808 ± 447,7
Коэффициент устойчивости лактации, % / Lactation stability coefficient, %			
1 лактация / lactation 1	90 ± 3,0	93 ± 1,4	91 ± 2,3
2 лактация / lactation 2	84 ± 3,2	85 ± 1,8	86 ± 3,3
3 лактация / lactation 3	80 ± 4,2	79 ± 2,6	82 ± 4,5
Коэффициент молочности, кг / The coefficient of milk content, kg			
1 лактация / lactation 1	914 ± 28,6	930 ± 18,6	911 ± 29,6
2 лактация / lactation 2	953 ± 44,0	921 ± 33,4	890 ± 95,9
3 лактация / lactation 3	962 ± 50,0	882 ± 41,6	1002 ± 77,1

У всех коров коэффициент устойчивости лактации с возрастом снижался от 93 до 79 %, при этом более равномерное снижение было у особей-носителей генотипа ВВ.

По величине коэффициента молочности наблюдалась неоднозначная картина. При пересчете этого показателя в среднем за три лактации лидерство определилось у коров-носителей генотипа АВ (943 кг) в сравнении с животными-носителями генотипа АВ (911 кг) и ВВ (934 кг).

Следующим этапом исследований стало изучение влияния полиморфизма гена бета-лактоглобулина на качественные характеристики молока коров (таблица 2).

Таблица 2 – Качественные характеристики молока коров разного генотипа гена бета-лактоглобулина
Table 1 – Qualitative characteristics of milk from cows of different genotypes of the beta-lactoglobulin gene

Показатель / Indicator	Генотип гена бета-лактоглобулина / The genotype of the beta-lactoglobulin gene		
	AA	AB	BB
Содержание массовой доли, % / The content of the mass fraction, %			
жира / fat	4,28 ± 0,19	4,36 ± 0,11	4,29 ± 0,15
белка / protein	3,64 ± 0,05	3,61 ± 0,02	3,58 ± 0,03
лактозы / lactose	5,15 ± 0,07	5,09 ± 0,03	5,05 ± 0,04
сухого обезжиренного молочного остатка / dry skimmed milk residue	9,37 ± 0,13	9,26 ± 0,06	9,19 ± 0,08
сухого вещества / dry matter	13,65 ± 0,27	13,67 ± 0,17	13,48 ± 0,21
Соотношение жира и белка / The ratio of fat and protein	1,17 ± 0,05	1,20 ± 0,03	1,20 ± 0,04
Плотность молока, кг/м ³ / Milk density, kg/m ³	1032,51 ± 0,43	1032,03 ± 0,18	1031,80 ± 0,26
Коэффициент биологической эффективности коровы, % / Cow biological efficiency coefficient, %	130 ± 6,4	128 ± 4,2	119 ± 4,0
Коэффициент биологической полноценности, % / The coefficient of biological usefulness, %	89 ± 4,2	86 ± 2,7	81 ± 2,6

Содержание жира в молоке коров с генотипом АВ было максимальным – 4,36 %, разница с животными гомозиготных генотипов АА и ВВ составила 0,07-0,08 %. По содержанию сухого вещества гетерозиготные особи также были лидерами – 13,67 %, что на 0,02-0,19 % больше в сравнении с другими животными. Остальные показатели молока были лучшими у коров с генотипом АА. Так, по содержанию белка (3,64 %) и лактозы (5,15 %) эти животные на 0,03-0,06 % и 0,06-0,1 % превосходили аналогов с генотипами АВ и ВВ. Максимальное содержание СОМО (9,37 %) также ассоциировалось с гомозиготным генотипом АА, разница с другими особями составила 0,11-0,18 %.

Соотношение жира и белка, определяющее оптимальный обмен веществ коров, у всех животных находилось в допустимом диапазоне и составило 1,17-1,20.

Наивысшей плотностью молока обладали коровы-носители гомозиготного генотипа АА – 1032,51 кг/м³, немного превышая аналогичный показатель у других коров на 0,25-0,33 единицы.

Коэффициент биологической эффективности, определяющий биологическую ценность молока, у коров-носителей гомозиготного генотипа АА был максимальным – 130 % и на 2-11 % превышал показатель у других животных.

Коэффициент биологической полноценности коров, показывающий эффективность использования животного с учетом биологической полноценности продукции, у коров с генотипом АА составил 89 %. Превышение данного показателя с животными других групп составило 3-8 %.

Выводы. Получение низкоаллергенного молока путем снижения содержания белка бета-лактоглобулина становится возможным при идентификации коров-носителей генотипа ВВ гена бета-лактоглобулина, у которых снижен синтез данного белка. Среди коров красной степной породы желательный генотип ВВ был выявлен у низокровных (до 50 %) по голштинской породе коров в количестве 26-35 % от общего исследуемого поголовья. Рост голштинизации у коров красной степной породы приводит к снижению носительства желательного генотипа ВВ гена бета-лактоглобулина до 17-20 %. Среди высококровных особей (76 % и более) по голштинам наиболее часто встречались носители гетерозиготного генотипа – 70 %. Высокая частота встречаемости аллеля А (61 %) была выявлена у коров с кровностью 51-75 %. У всех остальных животных преобладающим было носительство аллеля В – 53-59 %. У половозрелых коров наличие генотипа ВВ связано с высокими удоями, устойчивостью лактации и коэффициентом молочности. Выявлено преимущество основных качественных характеристик молока (содержание массовой доли белка, лактозы, СОМО, плотности молока) у коров-носителей гомозиготного гена АА. Увеличенное содержание массовой доли жира и сухого вещества наблюдалось у животных с носительством генотипа АВ. Биологическая полноценность производимого молока была лучше у коров-носителей генотипа АА. При осуществлении селекционно-племенной работы с крупным рогатым скотом красной степной породы выявление животных-носителей ценного генотипа ВВ позволит ускорить процесс получения гипоаллергенного молока с высокими качественными и технологическими характеристиками.

Conclusions. Obtaining low-allergenic milk by reducing the content of beta-lactoglobulin protein becomes possible when identifying cows with the BB genotype of the beta-lactoglobulin gene, which have reduced synthesis of this protein. Among Red Steppe cows, the desired BB genotype was identified among low-blooded (up to 50 %) Holstein cows, accounting for 26-35 % of the total number of cows studied. The increase in Holsteinization in Red Steppe cows leads to a decrease in the carriage of the desirable BB genotype of the beta-lactoglobulin gene to 17-20 %. Among high-blooded individuals (76 % or more) in Holstein, the carriers of the heterozygous genotype were most common – 70 %. A high frequency of occurrence of allele A (61%) was found in cows with a bloodline of 51-75 %. In all other animals, the carriage of allele B was predominant – 53-59 %. In full-aged cows, the presence of the BB genotype was associated with high milk yields, stable lactation, and milk production coefficient. The main quality characteristics of milk (protein, lactose, total solids, and milk density) were superior in cows carrying the AA homozygous gene. The increased content of fat and dry matter was associated with the presence of the AB genotype. The biological value of the milk produced was better in cows carrying the AA genotype. When carrying out breeding and selection work with red steppe cattle, identifying animals that carry the valuable BB genotype will accelerate the process of obtaining hypoallergenic milk with high quality and technological characteristics.

Библиографический список

1. Худякова Н. А., Кожевникова И. С., Ступина А. О., Классен И. А., Селькова И. В. Частота встречаемости аллелей гена бета-лактоглобулина у разных пород крупного рогатого скота. Вестник российского Университета дружбы народов. Серия: агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 3. С. 399-410.
2. Харламов А. В. Влияние генов каппа-казеина и лактоглобулина на молочную продуктивность коров и белковый состав молока (обзор)*. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 1 (81). С. 193-197.
3. Зиннатов Ф. Ф., Ахметов Т. М., Чевтаева Н. Д., Стафикопуло М. А., Горева Э. Р. Идентификация и анализ полиморфизма генов белкового обмена у коров голштинской породы. Вестник Марийского государственного университета. Серия: сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2024. Т. 10. № 1 (37). С. 17-26.
4. Зиннатов Ф. Ф., Якупов Т. Р., Зиннатова Ф. Ф., Хисамов Р. Р. Полиморфные варианты генов белкового обмена у голштинских коров. Вестник Марийского государственного университета. Серия: сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2022. Т. 8. № 1 (29). С. 25-34.
5. Фаттахова З. Ф., Сафина Н. Ю., Гайнутдинова Э. Р., Шакиров Ш. К. Ассоциация полиморфизма гена β -лактоглобулин с биохимическими показателями крови и качественным составом молока голштинского скота. Аграрный научный журнал. 2022. № 10. С. 93-96.
6. Курашев Ж. Х., Погодаев В. А., Нимбона К., Хаудов А. Б. Д. Оценка генетического разнообразия по генам PRL, CSN3 и BLG голштинского скота голландской селекции. Аграрный научный журнал. 2025. № 11. С. 81-87.
7. Пудченко А. Р., Тузов И. Н., Тузов А. И. Влияние полиморфизма генов каппа-казеина и бета-лактоглобулина на сыропригодность молока коров голштинской породы разных линий. Сельскохозяйственный журнал. 2024. № 2 (17). С. 120-129.
8. Михалюк А. Н., Танана Л. А., Епишко О. А. Влияние генов пролактина (PRL) и бета-лактоглобулина (BLG) на показатели молочной продуктивности коров высокопродуктивной белорусской черно-пестрой породы. Ученые записки учреждения образования витебская ордена знака почета государственная академия ветеринарной медицины. 2021. Т. 57. № 2. С. 122-127.
9. Зиннатов Ф. Ф., Ахметов Т. М., Якупов Т. Р., Зиннатова Ф. Ф., Чевтаева Н. Д. Оценка качества молока коров голштинской породы с разными аллельными вариантами гена бета-лактоглобулина (BLG). Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: материалы международной научно-практической конференции. Йошкар-Ола, 2024. С. 514-517.
10. Джаксыбаева Г. Г., Кочнев Н. Н. Идентификация генов, ассоциированных с молочной продуктивностью коров монгольской и красной степной пород Казахстана. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2025. № 1 (74). С. 142-150.
11. Михалюк А. Н., Танана Л. А. Влияние полиморфизма генов DGAT1, GH, PRL и BLG на показатели молочной продуктивности коров красной белорусской породной группы. Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Почета государственная академия ветеринарной медицины. 2025. Т. 61. №1. С. 53-62.
12. Kyselova J., Jecminkova K., Matejickova J., Hanus O., Kott T., Stipkova M. et al. Physiochemical characteristics and fermentation ability of milk from Czech Fleckvieh cows are related to genetic polymorphisms of B-casein, K-casein, and B-lactoglobulin. Asian-Australas J Anim Sci. 2019. No 32 (1). Pp. 14-22.
13. Neamt R. I., Saplacan S., Acatincai S., Csiszter L. T., Gavojdian D., Ilie D. E. The influence of CSN3 and LGB polymorphisms on milk production and chemical composition in Romanian Simmental cattle. Acta Biochim Pol. 2017. No 64 (3). Pp. 493-497.
14. Petrovska S., Jonkus D., Zagorska J., Ciprovica I. The influence of Kappa-Casein and Beta-Lactoglobulin genotypes on milk coagulation properties in Latvia dairy breed. Research for rural development. 2017. № 2. Pp. 74-80.
15. Wolanciuk A. The association of genetic variants of β -lactoglobulin and κ -casein with yield and chemical composition of milk obtained from four breeds of cow. Scientific Annals of Polish Society of Animal Production. 2015. Vol. 11. No 1. Pp. 21-32.
16. Severino B. P. B., Araújo Í. I. M., Martins M. F. M., Silva E. C., Jacopini L. A., Batista Â. M. V., Silva M. V. B. Genetic association of variations in the kappa-casein and β -lactoglobulin genes with milk traits in Girolando cattle. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal. 2019. No 20 (3). Pp. 1-12.

References

1. Khudyakova N. A., Kozhevnikova I. S., Stupina A. O., Klassen I. A., Selkova I. V. The frequency of occurrence of beta-lactoglobulin gene alleles in different breeds of cattle. Bulletin of the Russian University of Peoples' Friendship. Series: Agronomy and Animal Husbandry. 2023. Vol. 18. No. 3. Pp. 399-410.

2. Kharlamov A. V. Influence of kappa-casein and lactoglobulin genes on dairy productivity of cows and protein composition of milk (review)*. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2020. No. 1 (81). Pp. 193-197.
3. Zinnatov F. F., Akhmetov T. M., Chevtaeva N. D., Stafikopulo M. A., Goreva E. R. Identification and analysis of polymorphism of genes of protein metabolism in cows of the Holstein breed. Bulletin of the Mari State University. Series: Agricultural Sciences. Economic Sciences. 2024. Vol. 10. No. 1 (37). Pp. 17-26.
4. Zinnatov F. F., Yakupov T. R., Zinnatova F. F., Khisamov R. R. Polymorphic variants of genes of protein metabolism in Holstein cows. Bulletin of the Mari State University. Series: Agricultural Sciences. Economic Sciences. 2022. Vol. 8. No. 1 (29). Pp. 25-34.
5. Fattakhova Z. F., Safina N. Yu., Gainutdinova E. R., Shakirov Sh. K. Association of β -lactoglobulin gene polymorphism with biochemical blood parameters and milk quality in Holstein cattle. Agrarian Scientific Journal. 2022. No. 10. Pp. 93-96.
6. Kurashev Zh. Kh., Pogodaev V. A., Nimbona K., Khaudov A. B. D. Assessment of Genetic Diversity in PRL, CSN3, and BLG Genes of Dutch-bred Holstein Cattle. Agrarian Scientific Journal. 2025. No. 11. Pp. 81-87.
7. Pudchenko A. R., Tuzov I. N., Tuzov A. I. Influence of kappa-casein and beta-lactoglobulin gene polymorphism on the cheese-making quality of milk from Holstein cows of different lines. Agricultural Journal. 2024. No. 2 (17). Pp. 120-129.
8. Mikhalyuk A. N., Tanana L. A., Epishko O. A. Influence of the prolactin (PRL) and beta-lactoglobulin (BLG) genes on the indicators of milk productivity of cows of the high-Holsteinized Belarusian Black-and-White breed. Scientific Notes of the Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine. 2021. Vol. 57. No. 2. Pp. 122-127.
9. Zinnatov F. F., Akhmetov T. M., Yakupov T. R., Zinnatova F. F., Chevtaeva N. D. Evaluation of the quality of milk from Holstein cows with different allelic variants of the beta-lactoglobulin (BLG) gene. Actual issues of improving the technology of production and processing of agricultural products: materials of the international scientific and practical conference. Yoshkar-Ola, 2024. Pp. 514-517.
10. Dzhaksybaeva G. G., Kochnev N. N. Identification of Genes Associated with Dairy Productivity of Simmental and Red Steppe Cows in Kazakhstan. Vestnik NGAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2025. No. 1 (74). Pp. 142-150.
11. Mikhalyuk A. N., Tanana L. A. Influence of DGAT1, GH, PRL, and BLG Gene Polymorphism on Milk Productivity Indicators in Red Belarusian Cows. Scientific Notes of the Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine. 2025. Vol. 61. No. 1. Pp. 53-62.
12. Kyselova J., Jecminkova K., Matejickova J., Hanus O., Kott T., Stipkova M. et al. Physiochemical characteristics and fermentation ability of milk from Czech Fleckvieh cows are related to genetic polymorphisms of B-casein, K-casein, and B-lactoglobulin. Asian-Australas J Anim Sci. 2019. No 32 (1). Pp. 14-22.
13. Neamt R. I., Saplacan S., Acatincai S., Czisster L. T., Gavojdian D., Ilie D. E. The influence of CSN3 and LGB polymorphisms on milk production and chemical composition in Romanian Simmental cattle. Acta Biochim Pol. 2017. No 64 (3). Pp. 493-497.
14. Petrovska S., Jonkus D., Zagorska J., Ciprovica I. The influence of Kappa-Casein and Beta-Lactoglobulin genotypes on milk coagulation properties in Latvia dairy breed. Research for rural development. 2017. № 2. Pp. 74-80.
15. Wolanciuk A. The association of genetic variants of β -lactoglobulin and κ -casein with yield and chemical composition of milk obtained from four breeds of cow. Scientific Annals of Polish Society of Animal Production. 2015. Vol. 11. No 1. Pp. 21-32.
16. Severino B. P. B., Araújo Í. I. M., Martins M. F. M., Silva E. C., Jacopini L. A., Batista Â. M. V., Silva M. V. B. Genetic association of variations in the kappa-casein and β -lactoglobulin genes with milk traits in Girolando cattle. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal. 2019. No 20 (3). Pp. 1-12.

Информация об авторе

Дивенко Ольга Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» (Российская Федерация, 644001, г. Омск, ул. Лермонтова, 93), ORCID 0009-0000-4375-8768, e-mail: perminova@anc55.ru

Author's Information

Divenko Olga Vladimirovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Senior Researcher at the Laboratory, Omsk Agrarian Scientific Center (Russian Federation, 644001, Omsk, Lermontov St., 93), ORCID 0009-0000-4375-8768, e-mail: perminova@anc55.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-44

THE EFFECT OF THE FODDER ADDITIVE BASED ON THE ESSENTIAL OIL EXTRACT ON THE BROILER CHICKENS MAIN PRODUCTIVE INDICATORS

Dubrovsky A. A., Shvetsov N. N., Alifanova V. V.

*Belgorod State Agrarian University named after V. Ya. Gorin
Belgorod region, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: dubrovskiy_aa@belgau.ru

Received 15.01.2026

Submitted 23.03.2026

Summary

The scientific article describes the results of using a new feed additive called Oleostat, which is based on an essential oil extract, in the feeding of broiler chickens. The article examines the effect of the additive in different percentages per ton of feed. The results show that the use of this additive is effective. The group that received 0.05% Oleostat per ton of feed outperformed the group of broiler chickens that did not receive the additive in all zoo technical indicators.

Abstract

Introduction. The need to obtain environmentally friendly products that are free of harmful components for humans encourages feed mix manufacturers to widely use natural (clean) additives. New generation growth promoters contain mixtures of herbs and plant extracts that have flavoring, aromatic and medicinal properties known both in ancient traditional and modern medicine: some stimulate appetite, others provide antioxidant protection, others inhibit microbial growth, etc. Those plant-based antimicrobial substances whose action is fundamentally similar to that of antibiotics produced by fungi can be used as animal growth stimulants. Phytobiotic preparations based on essential oils, herbal extracts, and spices are becoming increasingly popular in modern animal husbandry. These are not only antibacterial agents that reduce the risk of gastrointestinal diseases, but also natural flavorings that stimulate feed consumption and, due to the active secretion of saliva and digestive enzymes, increase its digestibility. **Object.** This study examined the effect of Oleostat on the productive characteristics of four experimental groups of broiler chickens. **Materials and methods.** The study was conducted on the territory of the production and technological facilities of the Belgorod State Agrarian University named after V. Ya. Gorin. At the time of the experiment, this poultry facility with a floor-mounted livestock placement system already had a full set of modern technological equipment. Over the previous years, this experimental site has become the base for the scientific work of a significant number of applicants for academic degrees, five of whom have successfully completed their PhD thesis. The experimental animals were divided into four equal groups, each consisting of 40 animals. The control group was fed a standard diet without the addition of Oleostat. The three experimental groups received a basic diet with different concentrations of the supplement: the first experimental group received 0.05 % Oleostat per ton of feed, the second group received 0.1 %, and the third group received 1.15 % of the feed weight, respectively. The Belgrankorm compound feed plant, which is part of the Maysky Poultry Farm, supplied the production and technological complex with complete feed mixtures. **Results.** The use of an innovative feed additive under experimental conditions demonstrated an improvement in key production parameters. The live weight of the birds in the first experimental group increased by 5.84 % compared to the control group that did not receive Oleostat. At the same time, the survival rate in the groups that received the additive ranged from 97.0 % to 100 %. On the 41st day of the experiment, the average daily growth rate of the broilers that consumed Oleostat was 5.95 % higher than the control group. The results obtained indicate the economic feasibility of introducing this feed additive into poultry production in order to increase the profitability of meat poultry farming.

Keywords: essential oil extracts, meat productivity of broiler chickens, safety of broiler chickens, broiler chicken diets, and broiler chicken housing technologies.

Citation. Dubrovsky A. A., Shvetsov N. N., Alifanova V. V. The effect of the fodder additive based on the essential oil extract on the broiler chickens main productive indicators. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 408-417 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-44.

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 636.5.033.087.7

**СТЕПЕНЬ ВЛИЯНИЯ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ ЭКСТРАКТА ЭФИРНЫХ
МАСЕЛ НА ОСНОВНЫЕ ПРОДУКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ**

Дубровский А. А., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Швецов Н. Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Алифанова В. В., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ им. В. Я. Горина

п. Майский, Белгородская область, Российская Федерация

Актуальность. Производители кормов активно внедряют натуральные компоненты в свою продукцию, стремясь обеспечить безопасность конечного продукта для потребителя. Современные стимуляторы развития животных базируются на растительных экстрактах и травяных композициях, которые давно зарекомендовали себя как в народной, так и в научной медицине благодаря своим целебным, вкусовым и ароматическим характеристикам – одни компоненты усиливают желание принимать пищу, другие борются со свободными радикалами, третьи препятствуют размножению патогенных микроорганизмов и так далее.

В качестве ростостимулирующих веществ для сельскохозяйственных животных могут применяться растительные антимикробные соединения, механизм воздействия которых принципиально напоминает работу антибиотических препаратов грибкового происхождения.

В животноводческой отрасли растет спрос на фитобиотики, созданные из растительных экстрактов, пряностей и эфирных компонентов.

Такие добавки выполняют двойную функцию: борются с патогенной микрофлорой, защищая пищеварительную систему животных, а также работают как натуральные вкусовые добавки, которые увеличивают аппетит и улучшают усвоение питательных веществ за счет усиления выработки слюнных желез и ферментов пищеварения.

Объект. В рамках данной работы изучалось воздействие препарата «Олеостат» на продуктивные характеристики четырех экспериментальных групп бройлерных цыплят.

Материалы и методы. Исследование проводилось на территории производственно-технологических мощностей Белгородского государственного аграрного университета имени В. Я. Горина. На момент проведения эксперимента данный птицеводческий объект с напольной системой размещения поголовья уже располагал полным комплектом современного технологического оснащения. За предшествующие годы эта экспериментальная площадка стала базой для научной работы значительного числа соискателей ученых степеней, пятеро из которых успешно завершили защиту кандидатских работ.

Экспериментальное поголовье было разделено на четыре равноценные группы, численность каждой составила 40 голов. Контрольной группе давали стандартный корм без добавления препарата «Олеостат». Три опытные группы получали базовый рацион с различной концентрацией исследуемой добавки: первая опытная группа – с содержанием «Олеостата» 0,05 % в пересчете на тонну кормовой смеси, вторая – 0,1 %, третья – 1,15 % от массы комбикорма соответственно.

Комбикормовый завод «Белгранкорм», входящий в структуру «Племптицерепродуктор Майский», осуществлял снабжение производственно-технологического комплекса полнорационными кормовыми смесями.

Результаты. Применение инновационной кормовой добавки в экспериментальных условиях продемонстрировало улучшение ключевых производственных параметров. Живая масса птицы в первой опытной группе увеличилась на 5,84 % по сравнению с контролем, не получавшим препарат «Олеостат». При этом сохранность поголовья в группах, получавших добавку, составила от 97,0 % до 100 %.

На 41-й день эксперимента среднесуточные приросты бройлеров, потреблявших «Олеостат», оказались выше контрольных показателей на 5,95 %. Полученные результаты указывают на экономическую целесообразность внедрения данной кормовой добавки в птицеводческое производство для повышения рентабельности выращивания мясной птицы.

Ключевые слова: экстракты эфирных масел, мясная продуктивность цыплят-бройлеров, сохранность цыплят-бройлеров, рационы цыплят-бройлеров, технологии содержания цыплят-бройлеров.

Цитирование. Дубровский А. А., Швецов Н. Н., Алифанова В. В. Степень влияния кормовой добавки на основе экстракта эфирных масел на основные продуктивные показатели цыплят-бройлеров. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 408-417. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-44.

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. Содержание птицы позволяет получить продукцию высокого качества при минимальных затратах и достичь впечатляющих производственных результатов. В отличие от клеточной системы, которая предъявляет повышенные требования к квалификации обслуживающего персонала, поскольку обеспечить равномерное распределение температурного режима и воздухообмена по всему помещению при постоянном содержании поголовья в клетках чрезвычайно трудно.

Птицеводы используют две основные технологии разведения бройлеров: клеточную и напольную. Мясное птицеводство, специализирующееся на бройлерах, представляет собой технологически сложную, но экономически выгодную отрасль. Генетический ресурс современных мясных кроссов огромен, что открывает возможности для достижения исключительных результатов в производстве. Однако реализация этого потенциала требует комплексного учета всех условий, определяющих рост и развитие мясной птицы.

Здоровье и производительность бройлерной птицы находятся в прямой зависимости от пяти основных параметров, которые требуют постоянного мониторинга на протяжении всего периода откорма.

Высокая скорость набора массы у бройлеров в сочетании с увеличенной плотностью размещения по сравнению с обычной домашней птицей создаёт дополнительные трудности при создании оптимального микроклимата и обеспечении качественной вентиляции. Неправильная организация воздухообмена становится причиной возникновения различных инфекционных болезней, развивающихся на фоне перегрева поголовья, переохлаждения, высокой концентрации аммиачных паров в помещении и чрезмерной влажности воздуха.

Эффективность всего производственного цикла бройлерного мяса напрямую зависит от качества организации начального этапа – выращивания птицы, поэтому невозможно изолированно анализировать процесс содержания молодняка от общей технологической схемы. Грамотная постановка процесса на ранней стадии обеспечивает экономическую результативность всех дальнейших производственных операций.

Рацион питания необходимо корректировать в зависимости от возрастного периода: начальные этапы (престартовый и стартовый), период активного развития (разделённый на два этапа), завершающая стадия откорма (также состоящая из двух фаз).

Оптимальное усвоение питательных веществ достигается при применении качественных гранулированных кормов, включая корма мелкой грануляции.

Включение в рацион пернатых эфирных масел, пробиотических и пребиотических компонентов, а также ферментных препаратов способствует нормальному функционированию их пищеварительной системы.

Цель исследований – изучение эффекта применения кормовой добавки «Олеостат» в рационе бройлеров для улучшения их производственной эффективности и оптимизации процесса кормления.

Объекты, материалы и методы. В течение 41 суток жизни бройлеров проводилось научное исследование о влиянии включения кормовой добавки «Олеостат» в их диету. В эксперименте участвовали 160 молодых птиц, которые были разделены на четыре группы по 40 особей в каждой. С начала периода выращивания в их стандартные кормовые смеси добавлялся «Олеостат». Детали методологии изучения размещены в таблице 1.

Таблица 1 – Схема опыта
Table 1 – Scheme of the experiment

Период выращивания (фаза откорма) / Growing period (fattening phase)	Группа / Group			
	1-я контрольная / control 1	1-я опытная / experimental 1	2-я опытная / experimental 2	3-я опытная / experimental 3
I	OP / basic diet	OP+0,05 % «Олеостата» / basic diet +0.05 % Oleostat	OP+0,1 % «Олеостата» / basic diet +0.1 % Oleostat	OP+0,15 % «Олеостата» / basic diet +0.15 % Oleostat
II	OP / basic diet	OP+0,05 % «Олеостата» / basic diet +0.05 % Oleostat	OP+0,1 % «Олеостата» / basic diet +0.1 % Oleostat	OP+0,15 % «Олеостата» / basic diet +0.15 % Oleostat
III	OP / basic diet	OP+0,05 % «Олеостата» / basic diet +0.05 % Oleostat	OP+0,1 % «Олеостата» / basic diet +0.1 % Oleostat	OP+0,15 % «Олеостата» / basic diet +0.15 % Oleostat

Результаты и их обсуждение. Биологические свойства кормовой добавки «Олеостат» обусловлены входящим в состав растительными экстрактами и маслами, за счет которых нормализуется обмен веществ, повышаются привесы и т. д.

Состав кормовой добавки «Олеостат» из расчета на килограмм сухой массы включает следующие компоненты: масляные экстракты чеснока, кассии и гвоздики; вытяжки из имбиря, куркумы, зеленого чая, черного перца и живицы стручкового перца; в качестве наполнителей используются мука пшеничная и карбонат кальция, доводящий массу до 1000 грамм.

Группы, получавшие эту добавку, демонстрировали высокие показатели выживаемости, при этом все опытные группы (первая, вторая, третья) продемонстрировали уровень сохранности поголовья на достаточно высоком уровне – 100 %. Контрольная группа с базовым рационом без включения кормовой добавки «Олеостат» продемонстрировала уровень сохранности поголовья в пределах 97,1 % (рисунок 1).

Введение кормовой добавки оказалось весьма эффективным для повышения жизнеспособности цыплят-бройлеров.

В ходе эксперимента массу цыплят измеряли два раза: на старте и с каждой корректировкой их диеты, как указано в таблице 1. Примечательно, но в первой группе начальное уменьшение показателя происходило только в первый период, после чего показатель стабилизировался и дальше не ухудшался.



Рисунок 1 – Сохранность цыплят-бройлеров, %

Figure 1 – Survival rate of broiler chickens, %

На протяжении всего периода выращивания показатели живой массы испытуемой птицы разнились во все возрастные периоды.

На начальном этапе эксперимента показатели веса птицы в контрольной группе достигли 43,20 грамма. В сравнении с опытными группами наблюдалось превышение: относительно третьей группы разница составила 1,20 %, второй – 1,55 %, а первой – 0,85 %.

На 7 сутки выращивания живая масса цыплят-бройлеров первой опытной группы составила 183,65 гр. что на 1,32 % более чем в первой контрольной группе. Во второй опытной группе этот показатель не превосходил первую контрольную группу на 0,47 %. Показатель живой массы третьей опытной группы не превосходил показатель живой массы первой контрольной группы на 1,83 %.

К 14-суточному периоду проведения опыта наиболее высокая живая масса отмечена в первой опытной группе (619,48 г), что превышает первую опытную группу на 0,70 %, третья опытная группа по показателю живой массы оказалась ниже первой контрольной группы на 2,15 %. В четвертой опытной группе данный показатель выше, чем в первой контрольной группе на 0,22 %.

К 22-м суткам выращивания лидирующую позицию по приросту живой массы показала первая опытная группа на 0,17 % больше, чем в первой контрольной группе. Вторая и третья опытные группы уступали первой контрольной группе на 2,92 % и 1,24 соответственно.

Таблица 2 – Живая масса цыплят-бройлеров, г

Table 2 – Live weight of broiler chickens, g

Группы / Groups	Возраст, суток / Age of chickens in days						
	0	7	14	22	29	36	41
1-я контрольная / control 1	43,20 ± 0,41	180,65 ± 2,18	615,15 ± 6,16	1 180,30 ± 13,15	1 830,45 ± 23,19	2 535,70 ± 31,24	2 812,93 ± 37,51
1-я опытная / experimental 1	42,83 ± 0,51	183,05 ± 2,46	619,48 ± 7,45	1 182,35 ± 15,93*	1 815,00 ± 2 6,39*	2 453,58 ± 34,82*	2 977,28 ± 36,49*
2-я опытная / experimental 2	42,53 ± 0,47	179,80 ± 2,65	601,85 ± 8,49*	1 145,78 ± 15,56	1 814,15 ± 25,92	2 442,58 ± 30,76*	2 644,20 ± 33,04
3-я опытная / experimental 3	42,68 ± 0,50	177,33 ± 2,50	613,78 ± 6,05	1 165,55 ± 12,52	1 838,13 ± 19,02	2 484,58 ± 25,38	2 699,30 ± 30,59*

Примечание: * – $P \geq 0,95$; ** – $P \geq 0,99$; *** – $P \geq 0,999$ по сравнению с контрольной.

Note: * – $P \geq 0.95$; ** – $P \geq 0.99$; *** – $P \geq 0.999$ compared to the control.

На 29-е сутки третья опытная группа продемонстрировала максимальный весовой показатель, превысив контрольную группу номер один на 0,41 %.

Измерения на 36-й день показали следующую картину: первая опытная группа опередила первую контрольную по массе тела на 4,24 %, в то время как вторая и третья опытные группы уступили контрольной группе номер один на 3,67 % и 2,01 % соответственно. Предубойная живая масса цыплят-бройлеров (41 сутки) выращивания продемонстрировала

различия по группам. Первая опытная группа превосходила первую контрольную на 5,84 %. Вторая опытная группа не превосходила первую контрольную группу на 5,99 %, а третья на 4,03 % соответственно. Таким образом, включение «Олеостат» к основному рациону имеет положительную динамику на влияние живой массы цыплят-бройлеров в разные периоды выращивания. Показатель абсолютного прироста по группам представлен на рисунке 2. График абсолютного прироста на рисунке 2 демонстрирует различия при включении кормовой добавки «Олеостат» в различном процентном соотношении. Так на 7-е сутки выращивания абсолютный прирост первой контрольной группы составил 137,45 г/кг что на 2,09 % менее чем в первой опытной группе (0,05 % «Олеостат») к основному рациону; но абсолютный прирост первой контрольной группы на 0,12 % более чем во второй опытной группе (0,1 % «Олеостат») соответственно. В третьей опытной группе показатель абсолютного прироста составил 134,65 г/кг что в свою очередь менее контроля на 2,03 %.

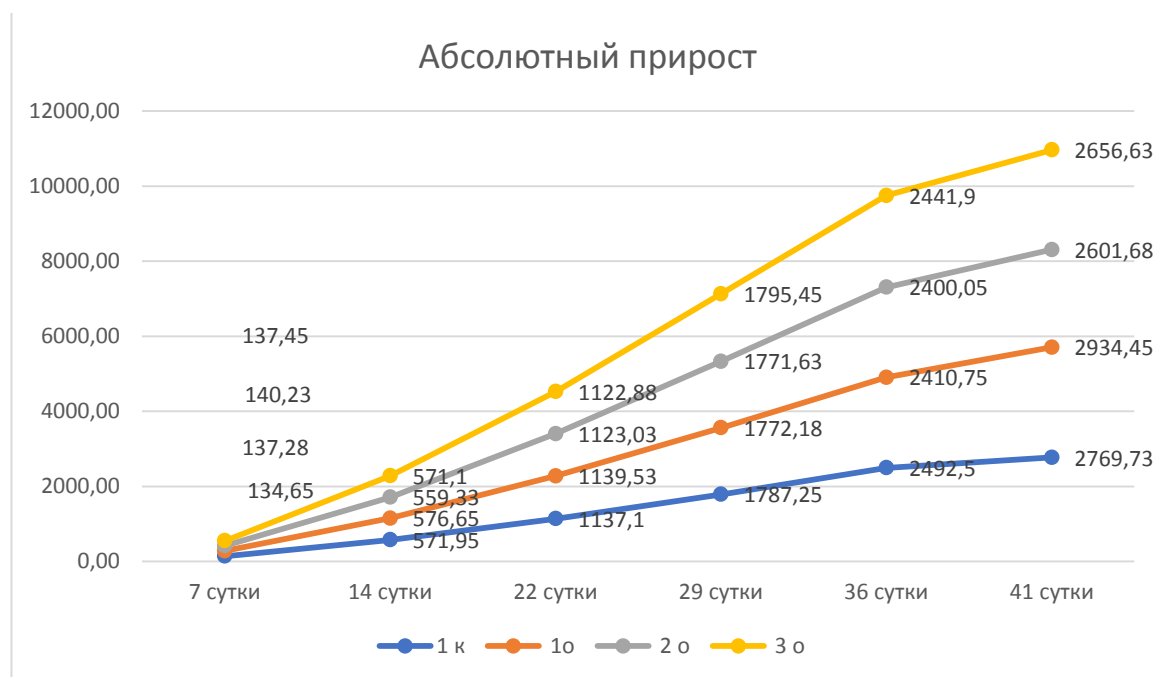


Рисунок 2 – Абсолютный прирост цыплят-бройлеров по группам
Figure 2 – Absolute growth of broiler chickens by group

На протяжении двухнедельного периода наблюдений максимальные значения абсолютного прироста зафиксированы у птицы из первой опытной группы – 576,65 г, что превысило контрольные показатели на 0,82 %. При этом во второй опытной группе результаты оказались ниже контроля на 2,20 %, а третья опытная группа отстала всего на 0,14 %.

После трёх недель эксперимента ситуация изменилась: наименьший абсолютный прирост продемонстрировала третья опытная группа, уступив контролю 1,30 %. Вторая опытная группа также показала результат на 1,23 % ниже контрольных значений. В то же время вторая опытная группа опередила контроль на 0,21 % по данному параметру.

На 29-е сутки эксперимента зафиксированы разнородные результаты абсолютного привеса во всех исследуемых выборках. Относительно первой контрольной выборки (корм без добавления «Олеостата») отмечено снижение данного параметра: в группе с дозировкой 0,05 % препарата на тонну корма – на 0,84 %, при концентрации 0,1 % добавки – на 0,87 %, а в варианте с использованием 0,15 % «Олеостата» разница составила 0,62 %. Таким образом, все три опытные группы показали меньший абсолютный прирост по сравнению с контролем, получавшим базовый рацион.

Наилучший абсолютный прирост в 41-е сутки выращивания отмечен в первой опытной группе на 5,94 % более, чем в первой контрольной группе. Вторая опытная группа по показателю абсолютного прироста уступала первой контрольной группе на 6,06 %. Третья опытная группа по показателю абсолютного прироста уступала первой контрольной группе на 4,08 %.

Анализируя рисунок 2 можно сделать вывод о том, что включение кормовой добавки «Олеостат» не оказывает отрицательного влияния на показатель абсолютного прироста цыплят-бройлеров, а наоборот способствует повышению абсолютного прироста при включении его к основному рациону в различном процентном соотношении.

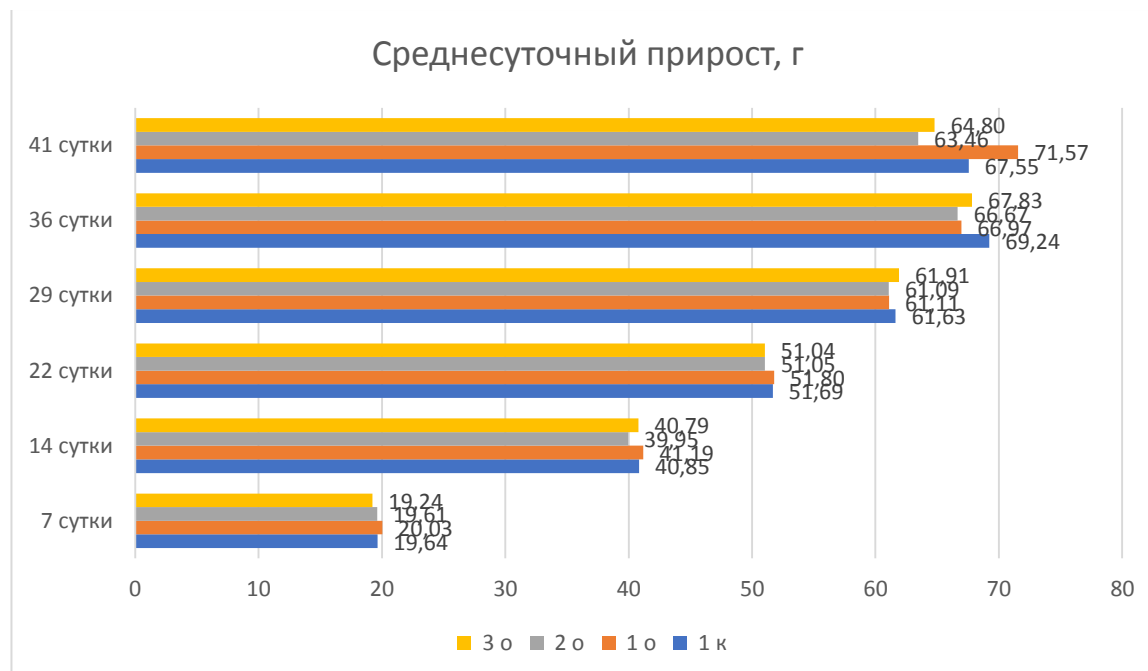


Рисунок 3 – Среднесуточный прирост цыплят-бройлеров по группам, г
Figure 3 – Average daily gain of broiler chickens by group, g

Данные по среднесуточному приросту представленные на рисунке 3 также свидетельствуют об эффективности использования кормовой добавки «Олеостат».

В семисуточном возрасте цыплята-бройлеры продемонстрировали среднесуточный прирост в пределах 19,24-20,03 г, что находится в пределах рекомендаций технологической карты выращивания для данного кросса.

Среднесуточный привес цыплят-бройлеров, не получавших добавку «Олеостат» (первая контрольная группа), к двухнедельному возрасту составил 40,85 г. Во второй опытной группе, где в комбикорм добавляли 0,1 % «Олеостата», данный показатель оказался ниже на 2,20 %. При использовании минимальной дозировки добавки – 0,05 % на тонну корма (первая опытная группа) – разница с контролем составила 1,61 % в пользу птицы, не получавшей препарат. Наименьший разрыв зафиксирован у третьей опытной группы, получавшей максимальную концентрацию «Олеостата» (0,15 %) – их среднесуточный прирост был меньше контрольного всего на 0,14 %.

К 36-м суткам выращивания влияния кормовой добавки «Олеостат» на показатели среднесуточного прироста цыплят-бройлеров не имело более выраженной положительной динамики. Показатели среднесуточного прироста по группам находились в пределах 66,67-69,24 г.

41 сутки выращивания цыплят-бройлеров продемонстрировали более выраженную степень влияния кормовой добавки «Олеостат» на показатели среднесуточного прироста цыплят-бройлеров опытных групп (0,05 %; 0,1 %; 0,15 % «Олеостата» к ОР).

Показатели ежедневного привеса во второй экспериментальной группе (при добавлении 0,1 % «Олеостата» к основному рациону) достигли 63,46 г., что оказалось ниже контрольных значений первой группы на 6,05 %. В третьей экспериментальной группе (0,05 % «Олеостата» к ОР) суточная прибавка массы была больше контрольного показателя лишь на 4,07 %. Наилучший результат продемонстрировала первая опытная группа (0,05 % «Олеостата» к ОР) с показателем среднесуточного привеса 71,57 г, превысившим контрольные данные на 5,95 %.

Таблица 3 – Показатели крови цыплят-бройлеров
Table 3 – Blood parameters of broiler chickens

Показатель / Indicator	Группа / Group			
	1-я контрольная / control 1	1-я опытная / test 1	2-я опытная / test 2	3-я опытная / test 3
Эритроциты / Red blood cells	2,53 ± 0,15	2,65 ± 0,23	2,58 ± 0,20	2,60 ± 0,29*
Гемоглобин / Hemoglobin	93,00 ± 5,51	95,33 ± 6,49*	92,33 ± 7,88	93,67 ± 4,10
Лейкоциты / White blood cells	28,33 ± 3,79	29,52 ± 2,69	29,47 ± 3,17*	27,40 ± 1,72
СОЭ / ESR	4,93 ± 0,82	4,76 ± 0,99	4,85 ± 0,58	4,90 ± 0,69

Примечание: * – $P \geq 0,95$; ** – $P \geq 0,99$; *** – $P \geq 0,999$ по сравнению с контрольной.

Note: * – $P \geq 0.95$; ** – $P \geq 0.99$; *** – $P \geq 0.999$ compared to the control.

Показатели крови цыплят-бройлеров представлены в таблице 3. Показатели концентрации эритроцитов в крови контрольной и опытных групп имеют различия.

1-я опытная группа по концентрации эритроцитов в крови превосходила первую контрольную группу на 4,74 %. Концентрация эритроцитов второй опытной группы не превосходила контроль на 1,97 %. В третьей опытной группе концентрация эритроцитов в крови цыплят-бройлеров превосходила первую контрольную группу на 2,76 %.

В сравнении с показателями первой контрольной группы бройлеров, рацион которых не содержал добавки «Олеостат», содержание гемоглобина у птицы первой опытной группы, получавшей 0,05 % данного препарата в основном рационе, оказалось выше на 2,50 %.

Во второй опытной группе (уровень гемоглобина (0,1 % «Олеостата» к ОР) не превосходил первую контрольную группу (без включения «Олеостата» к ОР) на 0,72 %. В третьей группе (0,15 % «Олеостата» к ОР) данный показатель гемоглобина превышал контрольную группу без включения «Олеостата» к ОР) на 0,72 %.

В ходе исследования установлено, что у птицы второй опытной группы, получавшей добавку «Олеостат» в концентрации 0,01 % от основного рациона, количество белых кровяных клеток оказалось выше на 4,02 % по сравнению с показателями контрольной группы. Аналогичная тенденция наблюдалась и у бройлеров первой опытной группы при использовании препарата в дозировке 0,05 % – превышение уровня лейкоцитов составило 4,20 % относительно контрольных значений.

Содержание лейкоцитов в крови цыплят-бройлеров третьей опытной группы (0,15 % «Олеостата» к ОР) было ниже содержания лейкоцитов в крови цыплят-бройлеров первой контрольной группы на 3,28 %.

Скорость оседания эритроцитов в крови цыплят-бройлеров второй опытной группы была ниже скорости оседания эритроцитов в крови цыплят-бройлеров первой контрольной группы на 1,62 %. Скорость оседания эритроцитов в крови цыплят-бройлеров первой опытной группы была ниже скорости оседания эритроцитов в крови цыплят-бройлеров первой контрольной группы на 3,44 %. Скорость оседания эритроцитов в крови цыплят-бройлеров третьей опытной группы была ниже скорости оседания эритроцитов в крови цыплят-бройлеров первой контрольной группы на 0,60 %.

Заключение. Недавние научные достижения показали значимый прогресс и предоставили новые возможности для совершенствования отрасли птицеводства. Эти быстрые изменения и нововведения позволяют профессионалам выстраивать более эффективные и продуктивные процессы в производстве, а также расширять горизонты научного понимания в области.

1. Проведенный анализ демонстрирует значительные преимущества внедрения кормовой добавки «Олеостат» в рацион птиц, когда его содержание составляет 0,05 %. Такая подкормка способствует повышению производственных результатов, особенно это заметно в первой опытной группе. Эффективность производства птицы усиливается благодаря оптимизации концентрации данной добавки, подтвержденной современными исследованиями. Открытие потенциала такого дополнения к корму открывает новые возможности для улучшения рабочих процессов.

2. Использование добавки «Олеостат» в диете цыплят-бройлеров способствовало активизации метаболических процессов и эффективному распределению питательных веществ, скармливаемых комбикормов.

Эти данные подчеркивают важность добавки в обогащении тканей организма птицы необходимыми питательными веществами.

3. В опытных группах, где корм включал добавку «Олеостат», продуктивность бройлеров значительно увеличилась, достигая показателей выживаемости до 100 %

В контрольной группе, где птицам предоставляли только стандартный корм, этот показатель составил 97,0 % на протяжении всего времени выращивания.

4. В ходе 41-дневного исследования было отмечено, что использование добавки «Олеостат» в концентрации 0,05 % на тонну комбикорма в диете бройлеров улучшает результаты по сравнению с контрольной группой. Конкретно, вес живого цыпленка увеличился на 5,84 %, а среднесуточный прирост массы – на 5,95 %.

Conclusion. Recent scientific achievements have shown significant progress and provided new opportunities for improving the poultry industry. These rapid changes and innovations allow professionals to build more efficient and productive processes in production, as well as expand the horizons of scientific understanding in the field.

1. The conducted analysis demonstrates the significant benefits of introducing the Oleostat feed additive into the poultry diet when its content is 0.05 %. This supplement contributes to improving production results, especially in the first experimental group. The efficiency of poultry production is enhanced by optimizing the concentration of this additive, which has been confirmed by modern research. The discovery of the potential of this feed additive opens up new opportunities for improving work processes.

2. The use of Oleostat in the broiler chicken diet contributed to the activation of metabolic processes and the efficient distribution of nutrients in the feed. These findings highlight the importance of the supplement in enriching the poultry's tissues with essential nutrients. 3. In the experimental groups where the feed included Oleostat, the broiler chicken's productivity significantly increased, reaching survival rates of up to 100 %. In the control group, where the birds were provided with only standard feed, this figure was 97.0 % throughout the entire growing period.

4. During the 41-day study, it was noted that the use of Oleostat at a concentration of 0.05 % per ton of feed in the broiler diet improved the results compared to the control group. Specifically, the live chicken weight increased by 5.84 %, and the average daily weight gain increased by 5.95 %.

Библиографический список

1. Alghirani M. M., Chung E. L. T., Jesse F. F. A., Sazili A. Q., Loh T. C. Could Phytobiotics replace Antibiotics as Feed Additives to Stimulate Production Performance and Health Status in Poultry? Overview. *Journal of Advanced Veterinary Research*. 2021. No 11 (4). Pp. 254-265.
2. Barszcz M., Tuśnio A., Taciak M. Poultry nutrition. *Physical Sciences Reviews*. 2024. V. 9. No 2. Pp. 611-650.
3. Nechitalo K. S. et al. Causes, mechanisms of development and manifestations of antibiotic resistance in poultry farming, consequences and methods of overcoming. *World's Poultry Science Journal*. 2024. V. 80. No 2. Pp. 453-479.
4. Багиров В. А. и др. Включение экстракта *Quercus cortex* в рацион бройлеров изменяет их убойные показатели и биохимический состав мышечной ткани. *Сельскохозяйственная биология*. 2018. Т. 53. № 4. С. 799-810.
5. Багно О. А. и др. Использование фитобиотиков, селена, йода и их сочетаний в коневодстве и птицеводстве. Кемерово: Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. 121 с.
6. Бахарев А. А., Суханова С. Ф., Садовиков Н. А. и др. Использование биополимера "хитозан" в рационах кормления цыплят-бройлеров. *Вестник Курганской ГСХА*. 2023. № 4 (48). С. 30-36.
7. Буряков Н. П., Заикина А. С., Бурякова М. А. и др. Продуктивность и переваримость питательных веществ у кур родительского стада при использовании фитобиотика. *Ветеринария и кормление*. 2023. № 5. С. 11-14.
8. Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Хорошевская Л. В., Струк Е. А., Дробязко О. Ю., Мосолова Д. А., Сложенкина А. А. Использование амарантового жмыха для повышения продуктивности и качества цыплят племенной яичной птицы. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2023. № 2. С. 56-60.
9. Дубровин А. В., Ильина Л. А. и др. Проблема устойчивости микроорганизмов в птицеводстве: обзор. *Птицеводство*. 2023. № 2. С. 31-36.
10. Дускаев Г. К. и др. Изменение продуктивных качеств цыплят-бройлеров на фоне энзимосодержащей диеты и экстракта *Quercus cortex*. *Животноводство и кормопроизводство*. 2019. Т. 102. № 2. С. 125-135.
11. Егоров И. А. и др. Применение нового пробиотика в комбикормах для цыплят-бройлеров. *Птицеводство*. 2017. № 9. С. 13-17.
12. Ерохина А. В., Бычкова В. В., Болотова О. И. и др. Потенциал сорго зернового в качестве компонента комбикормов для цыплят бройлеров. *АгроЭкоИнфо*. 2023. № 4 (58).
13. Завьялов О. А., Дускаев Г. К., Курилкина М. Я. Влияние БАД растительного происхождения на продуктивность и показатели крови цыплят-бройлеров. *Аграрный вестник Урала*. 2023. Т. 23. № 1. С. 34-42.
14. Злепкин В. А., Саломатин В. В., Ряднов А. А., Злепкина Н. А. Физиологические показатели и мясная продуктивность цыплят-бройлеров при скармливании триптофана и кормовой смеси «Хондротан». *Ученые записки Казанской ГАВМ*. 2021. Т. 248. № 4. С. 67-73.
15. Иванов С. М., Горлов И. Ф., Сложенкина М. И. Биологически активные добавки нового поколения и их использование в кормлении цыплят-бройлеров. *Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство*. 2022. № 6 (203). С. 48-60.

16. Климова Т. А. и др. Изменение химического состава мышечной ткани бройлеров при скармливании им фитохимических веществ. Птица и птицепродукты. 2024. № 1. С. 65-68.

17. Мустафина А. С. Влияние ультрадисперсного кремния на показатели белкового обмена крови молодняка сельскохозяйственной птицы. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 4 (78). С. 232-235.

18. Сложенкина М. И. и др. Выращивание цыплят-бройлеров с использованием новых кормовых добавок на основе лактулозы. Птица и птицепродукты. 2021. № 1. С. 17-20.

19. Сложенкина М. И., Горлов И. Ф., Сеидави А. Перспективные направления научных исследований в области производства и переработки животноводческой продукции. Аграрно-пищевые инновации. 2020. No 3 (11). С. 22-34.

References

1. Alghirani M. M., Chung E. L. T., Jesse F. F. A., Sazili A. Q., Loh T. C. Could Phytobiotics replace Antibiotics as Feed Additives to Stimulate Production Performance and Health Status in Poultry? Overview. Journal of Advanced Veterinary Research. 2021. No 11 (4). Pp. 254-265.

2. Barszcz M., Tuśnio A., Taciak M. Poultry nutrition. Physical Sciences Reviews. 2024. V. 9. No 2. Pp. 611-650.

3. Nechitailo K. S. et al. Causes, mechanisms of development and manifestations of antibiotic resistance in poultry farming, consequences and methods of overcoming. World's Poultry Science Journal. 2024. V. 80. No 2. Pp. 453-479.

4. Bagirov V. A. et al. The inclusion of Quercus cortex extract in the broiler diet changes their slaughter characteristics and the biochemical composition of muscle tissue. Agricultural Biology. 2018. Vol. 53. No 4. Pp. 799-810.

5. Bagno O. A. et al. The use of phytobiotics, selenium, iodine, and their combinations in horse breeding and poultry farming. Kemerovo: Kuzbass State Agricultural Academy, 2021. 121 p.

6. Bakharev A. A., Sukhanova S. F., Sadomov N. A. et al. Use of the biopolymer "chitosan" in the feeding rations of broiler chickens. Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy. 2023. No 4 (48). Pp. 30-36.

7. Buryakov N. P., Zaikina A. S., Buryakova M. A. et al. Productivity and digestibility of nutrients in broiler chickens when using a phytobiotic. Veterinary Medicine and Feeding. 2023. No 5. Pp. 11-14.

8. Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Khoroshevskaya L. V., Struk E. A., Drobyazko O. Yu., Mosolova D. A., Slozhenkina A. A. Use of amaranth cake to increase the productivity and quality of chickens of breeding egg-laying birds. Bulletin of Russian Agricultural Science. 2023. No 2. Pp. 56-60.

9. Dubrovin A. V., Ilyina L. A. et al. The problem of microbial resistance in poultry farming: a review. Poultry Farming. 2023. No 2. Pp. 31-36.

10. Duskaev G. K. et al. Changes in the productive qualities of broiler chickens under the influence of an enzyme-containing diet and Quercus cortex extract. Animal Husbandry and Feed Production. 2019. Vol. 102. No 2. Pp. 125-135.

11. Egorov I. A. et al. Application of a new probiotic in compound feed for broiler chickens. Poultry Farming. 2017. No 9. Pp. 13-17.

12. Erokhina A. V., Bychkova V. V., Bolotova O. I. et al. The potential of grain sorghum as a component of compound feed for broiler chickens. AgroEcolInfo. 2023. No 4 (58).

13. Zavyalov O. A., Duskaev G. K., Kurilkina M. Ya. The effect of plant-based dietary supplements on the productivity and blood parameters of broiler chickens. Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. Vol. 23. No 1. Pp. 34-42.

14. Zlepikina V. A., Salomatin V. V., Ryadnov A. A., Zlepikina N. A. Physiological indicators and meat productivity of broiler chickens when fed tryptophan and the Khondrotan feed mixture. Science Proceedings of the Kazan GAVM. 2021. V. 248. No 4. Pp. 67-73.

15. Ivanov S. M., Gorlov I. F., Slozhenkina M. I. New Generation Biologically Active Supplements and Their Use in Feeding Broiler Chickens. Feeding of Farm Animals and Feed Production. 2022. No 6 (203). Pp. 48-60.

16. Klimova T. A. et al. Changes in the chemical composition of broiler muscle tissue when phytochemical substances are fed to them. Poultry and poultry products. 2024. No 1. Pp. 65-68.

17. Mustafina A. S. Influence of ultrafine silicon on the indicators of protein metabolism in the blood of young poultry. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2019. No 4 (78). Pp. 232-235.

18. Slozhenkina M. I. et al. Growing Broiler Chicks Using New Feed Additives Based on Lactulose. Poultry and poultry products. 2021. No 1. Pp. 17-20.

19. Slozhenkina M. I., Gorlov I. F., Seidavi A. Promising Areas of Research in the Production and Processing of Animal Products. Agrarian and Food Innovations. 2020. No 3 (11). Pp. 22-34.

Информация об авторах

Дубровский Антон Андреевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ (Российская Федерация, Белгородская область, Белгородский район, п. Майский, ул. Вавилова, 1), e-mail: dubrovskiy_aa@belgau.ru

Швецов Николай Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ (Российская Федерация, Белгородская область, Белгородский район, п. Майский, ул. Вавилова, 1).

Алифанова Виктория Викторовна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ (Российская Федерация, Белгородская область, Белгородский район, п. Майский, ул. Вавилова, 1).

Authors' Information

Dubrovsky Anton Andreevich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Belgorod State Agrarian University (Russian Federation, 308503, Belgorod Region, Belgorodsky District, Maysky Village, Vavilov Str., 1), e-mail: dubrovskiy_aa@belgau.ru

Shvetsov Nikolai Nikolaevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Belgorod State Agrarian University (Russian Federation, 308503, Belgorod Region, Belgorodsky District, Maysky Village, Vavilov Str., 1).

Alifanova Victoria Viktorovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Belgorod State Agrarian University (Russian Federation, 308503, Belgorod Region, Belgorodsky District, Maysky Village, Vavilov Str., 1).

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CALF FEEDING METHODS**Eremenko O. N., Tohirov A. O.***I. T. Trubilin Kuban State Agrarian University
Krasnodar, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: Eremenko-o@list.ru

Received 20.11.2026

Submitted 26.03.2026

Abstract

Introduction. In recent years, new methods of feeding and keeping young cattle have been introduced on modern industrial farms. Since these issues require further improvement, our research work was devoted to methods of milking dairy calves during the colostrum and milk periods. **The research** was conducted in the conditions of the Kuban experimental farm at MTF-3 in the Krasnodar Territory. A comparative study of the methods of milking calves using a nipple drinker and a drainer, and their effect on the dynamics of live weight, morbidity and safety of young animals during the study period. The research provided for the study of the practical significance of using a drencher for drinking milk, affecting the health and safety of young animals and the milk productivity of future cows. The study of the effectiveness of drinking dairy calves and the introduction of a method of drinking calves will reduce the incidence of calves during the dairy period. It was found that in the calves of the control group, when using a nipple drinker, the average absolute increase in live weight was 29 ± 2.25 kg, in the peers of the experimental group – 33.9 ± 2.14 kg. The average daily increase in live weight in calves of the experimental group averaged 0.565 ± 0.27 kg, in the control group – 0.483 ± 0.31 kg. The mortality and morbidity rate of calves in the control group was higher than in the experimental group. There were 15 % calves suffering from respiratory diseases in the control group, and no cases were observed in the experimental group. Diseases of the gastrointestinal tract in the control group affected 8 heads, 1 head fell. In the experimental group, one calf suffered from diseases of the gastrointestinal tract. The safety of the calves of the experimental group during the dairy period was 100 %.

Keywords: calves, calf rearing, calf feeding, calf feeding technologies, calf safety.

Citation. Eremenko O. N., Tohirov A. O. The comparative analysis of the calf feeding methods. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 418-425 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-45.

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 636.2.033

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫПОЙКИ ТЕЛЯТ**Еременко О. Н., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Тохилов А. О., магистрант факультета зоотехнии***ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»
г. Краснодар, Российская Федерация*

Аннотация. На современных фермах промышленного типа в последние годы внедряются новые способы кормления и содержания молодняка крупного рогатого скота. Поскольку эти вопросы требуют дальнейшего совершенствования, наша исследовательская работа была посвящена способам выпойки телят-молочников в молозивный и молочный периоды. Исследования проводились в условиях учебно-опытного хозяйства «Кубань» на МТФ-3 в Краснодарском крае. Проведено сравнительное изучение способов выпойки телят с использованием сосковой поилки и дренчера, и их влияние на динамику живой массы, заболеваемость и сохранность молодняка в период исследования. Исследования предусматривали изучение практической значимости использования дренчера для выпойки молока, влияющего на здоровье и сохранность молодняка и молочную продуктивность будущих коров. Изучение эффективности выпойки телят-молочников и внедрение способа выпойки телят позволит снизить заболеваемость телят в молочный период. Установлено, что у телят контрольной группы, при использовании сосковой поилки в среднем абсолютный прирост живой массы составил – $29 \pm 2,25$ кг, у сверстников опытной группы – $33,9 \pm 2,14$ кг. Среднесуточный прирост живой массы у телят опытной группы в среднем составлял – $0,565 \pm 0,27$ кг, контрольной – $0,483 \pm 0,31$ кг. Уровень смертности и заболеваемости телят в контрольной группе была выше по отношению к опытной. Телят страдающих респираторными заболеваниями в контрольной группе было – 15 %, в опытной заболевших не наблюдалось. Заболеваниями желудочно-кишечного тракта в контрольной группе переболели 8 голов, пала 1 голова. В опытной группе заболеваниями желудочно-кишечного тракта переболел один теленок. Сохранность поголовья телят опытной группы в молочный период составила 100 %.

Ключевые слова: телята, выращивание телят, выпойка телят, технологии выпойки телят, сохранность телят.

Цитирование. Еременко О. Н., Тохиров А. О. Сравнительный анализ методов выпойки телят. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 418-425. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-45.

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. Выращивание телят в Учхозе «Кубань» является важным аспектом животноводства, направленным на повышение продуктивности и качества продукции. Учитывая современные тенденции в аграрной отрасли, фермерские хозяйства стремятся оптимизировать процессы выращивания молодняка, для достижения максимально эффективных результатов. Учхоз «Кубань» применяет передовые методы кормления, условия содержания и ветеринарного обслуживания, благоприятствуя здоровому развитию телят [1].

Телят в Учхозе Кубань выращивают, опираясь на инновационные способы и технологии. Взвешенный подход при выборе кормов, основанный на питательной ценности помогает оптимизировать процесс кормления. Рационы, разработанные с учетом потребности молодняка, позволяют достигать высоких темпов роста и лучшего усвоения корма.

Современные технологии в животноводстве направлены не только на повышение продуктивности, но и на снижение экономических потерь, связанных с заболеваемостью молодняка. По данным исследований, до 30 % затрат в молочном скотоводстве приходятся на выращивание телят, при этом высокая смертность в первые месяцы жизни остаётся ключевой проблемой отрасли [1, 2].

Внедрение автоматизированных систем, таких как дренчеры, позволяет минимизировать риски, связанные с человеческим фактором, и стандартизировать процесс выпойки [3]. По данным Еременко, использование автоматизированных систем выпойки сокращает заболеваемость телят на 25-40 % за счёт точной дозировки молозива [6]. Это подтверждается исследованиями Ломбард и др., где стандартизация кормления повысила сохранность молодняка до 98 % [3].

С 2024 года в хозяйстве начали использовать дренчеры для выпойки телят. Дренчер – это устройство для автоматизированной выпойки молока или заменителей молока, позволяющее точно дозировать и контролировать процесс кормления телят. Кормление телят молоком при помощи дренчера имеет ряд преимуществ по отношению выпойки с использованием сосок.

Как отмечают ученые критически важно обеспечить точную дозировку молозива, так как его избыток или недостаток негативно влияет на формирование иммунитета [5].

Дренчеры позволяют точно отмерять количество молока для каждого теленка. Автоматизированная система снижает риск загрязнения молока, а также освобождает персонал от рутинной работы, позволяя уделять больше времени другим аспектам ухода за животными. Устройство позволяет поддерживать оптимальную температуру молока, улучшая его усвояемость. Вместе с тем использование дренчера позволяет настраивать кормление теленка под его индивидуальные особенности, учитывая его возраст, вес и физиологическое состояние [2, 3].

Первые два месяца жизни телёнка – критический период, так как его пищеварительная система и иммунитет недостаточно развиты. Использование дренчера для выпойки молозива, молока и ЗЦМ предотвращает риски заболеваний связанных с пищеварительной системой и органами дыхания [4, 5].

Тем не менее, теленок – самое уязвимое животное на ферме с самым высоким уровнем смертности и заболеваемости по сравнению с остальным поголовьем. Согласно наиболее полному исследованию, проведенному в молочной промышленности, уровень заболеваемости у молочных телят с рождения и до двухмесячного возраста оценивается в 46 %, а смертность – в 10 %, при этом заболевания желудочно-кишечного тракта являются причиной номер 1 [5, 7, 8].

Пищеварительная система новорождённых телят крайне уязвима: недостаточная активность ферментов и низкий уровень иммуноглобулинов в первые дни жизни повышают риск диареи и респираторных инфекций [4]. Инфекции желудочно-кишечного тракта являются первыми заболеваниями, с которыми сталкивались телята в своей жизни. По данным

научных публикаций использование дренчеров для выпойки телят снижают случаи респираторных заболеваний и диареи [5]. Исследования Уотхис подчёркивают, что сосковые поилки, несмотря на естественность процесса, часто приводят к неравномерному потреблению молока из-за различий в активности телят [11]. При этом существуют и современные исследования, утверждающие, что выпаивание молозивом и молоком телят с использованием соски благоприятно сказывается на здоровье молодняка, так как это наиболее естественный процесс [9].

Цель исследований. Сравнить эффективность выпойки телят с использованием дренчера и сосковой поилки в условиях учебно-опытного хозяйства «Кубань».

Материал и методы исследования. Научно-хозяйственный опыт проводили на базе учебно-опытного хозяйства «Кубань» на МТФ-3 в станице Елизаветинская, Краснодарского края. В условиях фермы было сформировано две группы клинически здоровых телят голштинской породы по 20 голов в каждой методом пар-аналогов. Возраст телят на момент начала исследования составлял от рождения до 2 месяцев (таблица 1). Телят обеих групп выпаивали цельным молоком и обогатителем цельного молока в соотношении 3:1 с использованием сосковой поилки для контрольной группы и дренчера для опытной. Выпойку телят молозивом с использованием сосковой поилки и дренчера в зависимости от исследуемой группы осуществляли сразу же после их рождения в течение 45 минут. С 4 по 7 день телятам выпаивали молочными кормами по 6 литров в сутки. С 8 по 47 день выпаивали по 7 литров молочных кормов в сутки. С 48 по 60 день выпойку сократили до 3 литров молочных кормов в сутки. Телята на весь период исследований находились в одинаковых условиях содержания, использовался одинаковый рацион кормления. С 4 дня жизни в рацион вводили предстартерные корма. Кормление цельным молоком и обогатителем цельного молока осуществляли два раза в сутки. Динамику роста живой массы телят определяли путем индивидуального взвешивания животных в начале и конце опыта. По результатам учета живой массы определяли абсолютный и среднесуточный приросты. Состояние здоровья животных оценивалось клиническим методом.

Таблица 1 – Схема исследования

Table 1 – Research scheme

Группа / Group	Количество, гол. / Number of calves	Продолжительность выпойки, дней / Feeding time, days	Способ выпойки / The method of feeding
Контрольная / Control	20	60	Сосковая поилка / The nipple drinker
Опытная / Test	20	60	Дренчер / Drencher

Результаты исследования и их обсуждение. Наиболее критичный период для телят – первые 2 недели, когда происходит преобладающее количество падежа, вызванные нарушениями в работе пищеварительной системы и способствующие ухудшению здоровья молодняка [9].

Раннее и достаточное потребление высококачественного молозива считается самым важным фактором, определяющим здоровье и выживаемость новорожденных телят. Поступление материнских иммуноглобулинов в тонкий кишечник в течение первых 24 часов после рождения, называемое пассивной передачей, помогает защитить теленка от распространенных болезнетворных организмов до тех пор, пока его собственная незрелая иммунная система не начнет функционировать [11, 12, 13].

Из данных научных публикаций известно, что телятам после рождения для формирования устойчивого иммунитета и передачи иммуноглобулином от матери в течение часа необходимо выпить молозиво в объеме не менее 10 % от его живой массы [14, 15]. Выпойка под коровой и использование сосковой поилки не всегда обеспечивают потребление достаточного объема молозива. У телят в первые часы может отсутствовать сосательный рефлекс [16]. Применение дренчера при выпаивании позволяет удовлетворить заданный объем молозива в первые часы жизни теленка.

Схема выпойки телят в период исследований представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Схема выпойки телят в молозивный и молочный период (1-60 дней)
Table 2 – The scheme of calves' drinking during the colostrum and milk period (1-60 days)

Период выпойки, сутки / Drinking period, day	Способ выпойки молочных кормов / The method of drinking dairy feed	
	Сосковая поилка / The nipple drinker	Дренчер / Drencher
1	Выпойка 1,5 л молозива через 45 минут после рождения; выпойка 2 л молозива через 4 часа после рождения; выпойка 2 л молозива через 10 часов после рождения / 1.5 liters of colostrum 45 minutes after birth; 2 liters of colostrum 4 hours after birth; 2 liters of colostrum 10 hours after birth	Выпойка 4 л молозива через 45 минут после рождения; выпойка 2 л молозива через 4 часа после рождения; выпойка 2 л молозива через 6 часов после рождения / Feeding 4 liters of colostrum 45 minutes after birth; feeding 2 liters of colostrum 4 hours after birth; feeding 2 liters of colostrum 6 hours after birth
2-3	3 л молозива по два раза в сутки / 3 liters of colostrum twice a day	3 л молозива по два раза в сутки / 3 liters of colostrum twice a day
4-7	3 л молочных кормов (цельное молоко 75 % + обогатителем цельного молока 25 %) по два раза в сутки + предстартерный корм / 3 liters of dairy feed (75 % whole milk + 25 % whole milk enricher) twice a day + pre-starter feed	3 л молочных кормов (цельное молоко 75 % + обогатителем цельного молока 25 %) по два раза в сутки + предстартерный корм / 3 liters of dairy feed (75 % whole milk + 25 % whole milk enricher) twice a day + pre-starter feed
8-47	3,5 л молочных кормов (цельное молоко 75 % + обогатителем цельного молока 25 %) по два раза в сутки + предстартерный корм / 3.5 liters of dairy feed (75 % whole milk + 25 % whole milk enricher) twice a day + pre-starter feed	3,5 л молочных кормов (цельное молоко 75 % + обогатителем цельного молока 25 %) по два раза в сутки + предстартерный корм / 3.5 liters of dairy feed (75 % whole milk + 25 % whole milk enricher) twice a day + pre-starter feed
48-60	1,5 л молочных кормов (цельное молоко 75 % + обогатителем цельного молока 25 %) по два раза в сутки + предстартерный корм / 1.5 liters of dairy feed (75 % whole milk + 25 % whole milk enricher) twice a day + pre-starter feed	1,5 л молочных кормов (цельное молоко 75 % + обогатителем цельного молока 25 %) по два раза в сутки + предстартерный корм / 1.5 liters of dairy feed (75 % whole milk + 25 % whole milk enricher) twice a day + pre-starter feed
Всего, л / Total, l	350,5	353

Телят контрольной и опытной групп в период проведения исследований выпаивали по схеме, представленной в таблице 2. Общий объем потребленных молочных кормов был идентичным, за исключением первого дня жизни телят. Объем потребленного молозива в опытной группе в первую выпойку превышал на 2,5 л по сравнению с контролем. Использование дренчера обеспечило необходимый объем молозива для формирования пассивного иммунитета телят. Стоит отметить, что с третьей недели жизни телята получали теплую воду за 1,5 ч до и после кормления. Предстартерный комбикорм вводили с 4 дня жизни телят. За молозивный и молочный период телята контрольной группы в среднем на одну голову употребили 17,5 л молозива, и 249,75 л цельного молока и 83,25 л обогатителя цельного молока. Опытная группа телят в среднем на одну голову употребила 20 л молозива, потребление цельного молока и обогатителя цельного молока было аналогичным как в контрольной группе. Полученные цифровые данные обработаны методом вариационной статистики с использованием программы IBM SPSS Statistics 29.0. Для оценки достоверности различий между группами применяли t-критерий Стьюдента для независимых выборок. Различия считали статистически значимыми при уровне значимости $p < 0,05$. Результаты представлены в виде средних арифметических величин и их стандартных ошибок ($M \pm m$).

Показатели эффективности кормления телят представлены в таблице 3.

Потребление молочных кормов и предстартера в кормлении телят-молочников было лимитировано в период исследований. Телята-молочники получали ограниченное количество кормов в соответствии со способом выпойки. При постановке на опыт средняя живая масса телят обеих групп была одинакова, в конце периода выпойки телята опытной группы превосходили по живой массе сверстников из контрольной группы (таблица 3). Статистический анализ подтвердил достоверность различий между группами по ключевым по-

казателям. У телят опытной группы, выпаиваемых с использованием дренчера, весьма достоверно ($p < 0,01$) выше абсолютный ($33,9 \pm 2,14$ кг против $29,0 \pm 2,25$ кг) и среднесуточный ($0,565 \pm 0,027$ кг против $0,483 \pm 0,031$ кг) прирост живой массы по сравнению с контролем. Телята интенсивнее растут, что наглядно демонстрируют показатели среднесуточных приростов живой массы опытной группы, по отношению контрольной.

Таблица 3 – Динамика живой массы телят-молочников
Table 3 – Dynamics of live weight of dairy calves

Группа / Group	Живая масса при рождении, кг ($M \pm m$) / Birth weight, kg ($M \pm m$)	Живая масса в конце периода выпойки, кг ($M \pm m$) / Live weight at the end of the feeding period, kg ($M \pm m$)	Абсолютный прирост, кг ($M \pm m$) / Absolute increase, kg ($M \pm m$)	Среднесуточный прирост, кг ($M \pm m$) / Average daily gain, kg ($M \pm m$)	p
Контрольная / Control	$34,4 \pm 1,6$	$63,4 \pm 1,8$	$29 \pm 2,25$	$0,483 \pm 0,31$	$p < 0,01^{**}$
Опытная / Test	$34,2 \pm 1,4$	$68,1 \pm 2,0$	$33,9 \pm 2,14$	$0,565 \pm 0,27$	

Примечание: $M \pm m$ – среднее арифметическое $\pm$ стандартная ошибка среднего; $\backslash^*$ – различия достоверны при $p < 0,05$; $\backslash^{**}$ – различия достоверны при $p < 0,01$.

Note: $M \pm m$ – arithmetic mean $\pm$ standard error of the mean; $\backslash^*$ – differences are significant at $p < 0.05$; $\backslash^{**}$ – differences are significant at $p < 0.01$.

Известно, что наибольший риск респираторных и кишечных заболеваний возникает в первый месяц жизни телят. Этиология заболеваний многофакторна, и может включать факторы контроля и обработки оборудования для выпойки телят после кормления.

Результаты эпизоотической ситуации после периода выпойки телят представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Заболеваемость и сохранность телят-молочников
Table 4 – Morbidity and safety of dairy calves

Показатели / Indicators	Единица измерения / Unit of measurement	Группа / Group	
		Контрольная / Control	Опытная / Test
		n = 20	n = 20
Заболеваний ЖКТ / Gastrointestinal diseases	гол. / cattle heads	8	1
	%	40	5
Респираторные заболевания / Respiratory diseases	гол.	3	
	%	15	
Пало / Dead	гол. / cattle heads	1	
	%	5	
Сохранность / Safety	гол. / cattle heads	19	
	%	95	

Примечание: $M \pm m$ – среднее арифметическое $\pm$ стандартная ошибка среднего; $\backslash^*$ – различия достоверны при $p < 0,05$; $\backslash^{**}$ – различия достоверны при $p < 0,01$.

Note: $M \pm m$ – arithmetic mean $\pm$ standard error of the mean; $\backslash^*$ – differences are significant at $p < 0.05$; $\backslash^{**}$ – differences are significant at $p < 0.01$.

Заболевания телят-молочников являются серьезной причиной беспокойства благополучия животных, смертности и экономических потерь. Основные причины заболевания и смертности молодняка связаны с заболеваниями желудочно-кишечного тракта и органами дыхания. Из данных научных исследований диарея является основной причиной смертности телят-молочников, процент смертности в молочный период достигает 57 %, а падеж молодняка от респираторных заболеваний варьирует в пределах от 19 до 27 % [17, 18].

У заболевшего молодняка наблюдается снижение аппетита, обезвоживание, а, следовательно, и снижение приростов живой массы. К тому же заболевших телят лечат антибиотиками, повышая затраты на выращивание молодняка и способствуют развитию устойчивости к антибиотикам [18].

В контрольной группе 40 % телят перенесли заболевания желудочно-кишечного тракта, 15 % респираторные заболевания, сохранность составила 95 %. В опытной группе заболевания желудочно-кишечного тракта перенес 1 теленок. Сохранность поголовья составила 100 %. Способ выпойки молочных кормом с использованием дренчера повлиял на сохранность поголовья и уровень пассивного иммунитета молодняка.

Заключение. Результаты проведенного исследования, подтвержденные статистической обработкой данных ($p < 0,05$ – $p < 0,01$), демонстрируют значительную экономическую выгоду от использования дренчеров для выпойки телят. Основные экономические преимущества включают снижение затрат на лечение, повышение сохранности поголовья и увеличение среднесуточных привесов, что в совокупности повышает рентабельность молочного животноводства.

Использование дренчера позволило сократить заболеваемость телят на 35 %. Желудочно-кишечные расстройства уменьшились с 40 % до 5 % (таблица 4). Респираторные заболевания отсутствовали в опытной группе (против 15 % в контроле). По данным Берге и др. лечение одного случая диареи у теленка обходится в среднем в 3-5 тыс. руб. (антибиотики, регидратация, трудозатраты) [8]. В нашем исследовании это даёт экономию 28 тыс. руб. на 20 телят:

- контрольная группа: $40 \% \times 20 \text{ голов} = 8 \text{ случаев} \times 4 \text{ тыс. руб.} = 32 \text{ тыс. руб.};$
- опытная группа: $5 \% \times 20 \text{ голов} = 1 \text{ случаев} \times 4 \text{ тыс. руб.} = 4 \text{ тыс. руб.};$
- экономия: 28 тыс. руб./год.

Сохранность поголовья и снижение падежа в опытной группе составила 100 % (против 95 % в контроле). При стоимости выращивания теленка до 6 месяцев 50 тыс. руб., предотвращение падежа 1 голов даёт сохранение 50 тыс. руб. Это согласуется с исследованиями Ломбард и др., где автоматизация выпойки снизила смертность на 7 % [3].

Прирост живой массы в опытной группе был выше на 4.9 кг (33,9 кг – 29 кг). Среднесуточный привес увеличился на 17 % (0,565 кг – 0,483 кг). По данным Хан, каждый дополнительный килограмм живой массы теленка к 6 месяцам повышает будущие удои коровы на 120-150 кг/лактацию [9]. Для 20 телят это означает:

- дополнительный доход: $4,9 \text{ кг} \times 20 \text{ голов} \times 120 \text{ кг} = 11\,760 \text{ кг молока/год};$
- при цене: 40 руб./кг – 470 400 руб./год.

Окупаемость оборудования:

- стоимость дренчера: «CalfExpert DR-200» – 300 тыс. руб. на 20 голов.

Годовая экономия на 20 телят:

- экономия на ветеробслуживании: 28 000 руб.;
- предотвращение потерь от падежа: 50 000 руб.;
- будущий дополнительный доход от молока: 470 400 руб.;
- окупаемость системы будет составлять менее 7 месяцев.

Выводы. Исследование подтверждает, что использование дренчера для выпойки телят имеет значительные преимущества по сравнению с применением сосковой поилки. Телята, выпаиваемые дренчером, имели лучшие показатели роста живой массы, и более высокий уровень благополучия и здоровья.

Conclusion. The results of the study demonstrate significant economic benefits from using drenchers for feeding calves compared to traditional nipple drinkers. The main economic advantages include reduced treatment costs, increased livestock survival and increased average daily weight gain, which together increases the profitability of dairy farming. The use of a drencher reduced calf morbidity by 35 %. Gastrointestinal disorders decreased from 40 % to 5 % (Table 4). Respiratory diseases were absent in the experimental group (versus 15 % in the control). According to Berge et al., treatment of one case of diarrhea in a calf costs an average of 3-5 thousand rubles (antibiotics, rehydration, labor costs) [8]. In our study, this provides savings of 28 thousand rubles. for 20 calves:

- Control group: $40 \% \times 20 \text{ heads} = 8 \text{ cases} \times 4 \text{ thousand rubles} = 32 \text{ thousand rubles.}$
- Experimental group: $5 \% \times 20 \text{ heads} = 1 \text{ case} \times 4 \text{ thousand rubles} = 4 \text{ thousand rubles.}$
- Savings: 28 thousand rubles/year.

The survival of the livestock and the reduction in mortality in the experimental group was 100 % (versus 95 % in the control). With the cost of raising a calf up to 6 months being 50 thousand rubles, preventing the death of 1 head saves 50 thousand rubles. This is consistent with the studies by Lombard et al., where automated feeding reduced mortality by 7 % [3].

The live weight gain in the experimental group was 4.9 kg higher (33.9 kg – 29 kg). The average daily weight gain increased by 17 % (0.565 kg – 0.483 kg). According to Khan, each additional kilogram of live weight of a calf by 6 months increases future milk yields of a cow by 120-150 kg/lactation [9]. For 20 calves, this means:

- Additional income: $4.9 \text{ kg} \times 20 \text{ heads} \times 120 \text{ kg} = 11,760 \text{ kg of milk/year.}$
- At a price of: 40 rubles/kg – 470,400 rubles/year.

Equipment payback:

- Cost of a drencher: "CalfExpert DR-200" – 300 thousand rubles for 20 heads.

Annual savings for 20 calves:

- Savings on veterinary services: 28,000 rubles.

- Prevention of losses from mortality: 50,000 rubles.

- Future additional income from milk: 470,400 rubles.

- The system will pay for itself in less than 7 months.

The study confirms that using a drencher for feeding calves has significant advantages over using a nipple drinker. Calves fed with a drencher had better live weight growth rates, and a higher level of well-being and health.

Библиографический список

1. Куликова Н. И. и др. Экономическая целесообразность разведения племенного скота голштинской породы в условиях Краснодарского края. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 158. С. 68-77.

2. Fischer-Tlustos A. J., Lopez A., Hare K. S., Wood K. M., Steele M. A. Effect of colostrum management on transfer of passive immunity and the potential role of colostral bioactive components on neonatal calf development and metabolism. *Can J Anim Sci.* 2021. No 101. Pp. 405-426.

3. Lombard J., Urie N., Garry F., Godden S., Quigley J., Earleywine T., McGuirk S., Moore D., Branan M., Chamorro M., Smith G., Shivley C., Catherman D., Haines D., Heinrichs A. J., James R., Maas J., Sterner K. Consensus recommendations on calf-and herd-level passive immunity in dairy calves in the United States. *J. Dairy Sci.* 2020. No 103. Pp. 7611-7624.

4. Pardon B., Hostens M., Duchateau L. et al. Impact of respiratory disease, diarrhea, otitis and arthritis on mortality and carcass traits in white veal calves. *BMC Vet Res.* 2013. V. 9. No 79.

5. Lopez A. J., Heinrichs A. J. Invited review: The importance of colostrum in the newborn dairy calf. *J Dairy Sci.* 2022. No 105. Pp. 2733-2749.

6. Еременко О. Н. Современные методы выпойки телят. Вестник сельскохозяйственной науки. 2021. № 3. С. 45-52.

7. McGuirk S. M., Peek S. F. Timely diagnosis of dairy calf respiratory disease using a standardized scoring system. *Animal Health Research Reviews.* 2014. No 15 (2). Pp. 145-147.

8. Berge A. C. et al. The Effect of Colostrum Supplementation during the First 5 Days of Life on Calf Health, Enteric Pathogen Shedding, and Immunological Response. *Animals.* 2024. No 14. Article 1251.

9. Khan M. A. et al. Growth performance of calves fed different milk replacers. *Journal of Dairy Science.* 2022. Vol. 105 (5). Pp. 123-135.

10. Castillo-Lopez E., Biber P., Sener-Aydemir A. et al. Characterization of the colostrum proteome of primiparous Holstein cows and its association with colostrum immunoglobulin G concentrations. *J Animal Sci Biotechnol.* 2025. V. 16. No 10.

11. Wathes D. C. et al. Calf health monitoring systems. *Animal.* 2023. Vol. 17 (2). Pp. 100-112.

12. Канев П. Н. и др. Изменчивость показателей молочной продуктивности коров по лактациям. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2023. № 109. С. 137-143.

13. Кобыляцкий П. С., Каратунов В. А., Тузов И. Н. Рост и воспроизводительные качества голштинизированного скота. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2023. № 107. С. 256-260.

14. Еременко О. Н. Продуктивные и интерьерные показатели телят при различных способах выращивания. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2010. № 23. С. 177-181.

15. Barth K. Effects of suckling on milk yield and milk composition of dairy cows in cow-calf contact systems. *Journal of Dairy Research.* 2020. No 87 (S1). Pp. 133-137.

16. Hailemariam D., Manafiazar G., Baes C. et al. Circulating serum metabolites as biomarkers and predictors of residual feed intake in lactating dairy cows. *Sci Rep.* 2025. V. 15. No 1709.

17. Bushby E. V., Thomas M., Vázquez-Diosdado J. A. et al. Early detection of bovine respiratory disease in pre-weaned dairy calves using sensor based feeding, movement, and social behavioural data. *Sci Rep.* 2024. No 14. Art. 9737.

18. Amat S., Alexander T. W., Holman D. B., Schwinghamer T., Timsit E. Intranasal bacterial therapeutics reduce colonization by the respiratory pathogen *Mannheimia haemolytica* in dairy calves. *mSystems.* 2020. No 5. Pp. 1-19.

References

1. Kulikova N. I. et al. Economic feasibility of breeding Holstein cattle in the Krasnodar Territory. *Politematic Network Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University.* 2020. No 158. Pp. 68-77.

2. Fischer-Tlustos A. J., Lopez A., Hare K. S., Wood K. M., Steele M. A. Effect of colostrum management on transfer of passive immunity and the potential role of colostral bioactive components on neonatal calf development and metabolism. *Can J Anim Sci.* 2021. No 101. Pp. 405-426.

3. Lombard J., Urie N., Garry F., Godden S., Quigley J., Earleywine T., McGuirk S., Moore D., Branan M., Chamorro M., Smith G., Shivley C., Catherman D., Haines D., Heinrichs A. J., James R., Maas J., Sterner K. Consensus recommendations on calf-and herd-level passive immunity in dairy calves in the United States. *J. Dairy Sci.* 2020. No 103. Pp. 7611-7624.

4. Pardon B., Hostens M., Duchateau L. et al. Impact of respiratory disease, diarrhea, otitis and arthritis on mortality and carcass traits in white veal calves. *BMC Vet Res.* 2013. V. 9. No 79.

5. Lopez A. J., Heinrichs A. J. Invited review: The importance of colostrum in the newborn dairy calf. *J Dairy Sci.* 2022. No 105. Pp. 2733-2749.

6. Eremenko O. N. Modern methods of feeding calves. *Bulletin of Agricultural Science.* 2021. No. 3. Pp. 45-52.

7. McGuirk S. M., Peek S. F. Timely diagnosis of dairy calf respiratory disease using a standardized scoring system. *Animal Health Research Reviews.* 2014. No 15 (2). Pp. 145-147.

8. Berge A. C. et al. The Effect of Colostrum Supplementation during the First 5 Days of Life on Calf Health, Enteric Pathogen Shedding, and Immunological Response. *Animals*. 2024. No 14. Art. 1251.
9. Khan M. A. et al. Growth performance of calves fed different milk replacers. *Journal of Dairy Science*. 2022. Vol. 105 (5). Pp. 123-135.
10. Castillo-Lopez E., Biber P., Sener-Aydemir A. et al. Characterization of the colostrum proteome of primiparous Holstein cows and its association with colostrum immunoglobulin G concentrations. *J Animal Sci Biotechnol*. 2025. V. 16. No 10.
11. Wathes D. C. et al. Calf health monitoring systems. *Animal*. 2023. Vol. 17 (2). Pp. 100-112.
12. Kanev P. N. et al. Variability of indicators of dairy productivity of cows by lactations. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2023. No 109. Pp. 137-143.
13. Kobylatsky P. S., Karatunov V. A., Tuzov I. N. Growth and reproductive qualities of Holsteinized cattle. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2023. No 107. Pp. 256-260.
14. Eremenko O. N. Productive and Interior Indicators of Calves under Different Methods of Raising. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2010. No 23. Pp. 177-181.
15. Barth K. Effects of suckling on milk yield and milk composition of dairy cows in cow-calf contact systems. *Journal of Dairy Research*. 2020. No 87 (S1). Pp. 133-137.
16. Hailemariam D., Manafiazar G., Baes C. et al. Circulating serum metabolites as biomarkers and predictors of residual feed intake in lactating dairy cows. *Sci Rep*. 2025. V. 15. No 1709.
17. Bushby E. V., Thomas M., Vázquez-Diosdado J. A. et al. Early detection of bovine respiratory disease in pre-weaned dairy calves using sensor based feeding, movement, and social behavioural data. *Sci Rep*. 2024. No 14. Art. 9737.
18. Amat S., Alexander T. W., Holman D. B., Schwinghamer T., Timsit E. Intranasal bacterial therapeutics reduce colonization by the respiratory pathogen *Mannheimia haemolytica* in dairy calves. *mSystems*. 2020. No 5. Pp. 1-19.

Информация об авторах

Еременко Ольга Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, г. Краснодар), ORCID: 0000-0002-8502-7389, AuthorID: 799298, e-mail: Eremenko-o@list.ru

Тохилов Амиршех Олимшехович, магистрант, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, г. Краснодар), ORCID: 0000-0002-8502-7389, e-mail: tohitovamirshekh@gmail.ru

Authors' Information

Eremenko Olga Nikolaevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, I. T. Trubilin Kuban State Agrarian University (Russian Federation, Krasnodar), ORCID: 0000-0002-8502-7389, AuthorID: 799298, e-mail: Eremenko-o@list.ru

Tohirov Amirshakh Olimshekhovich, Master's Student, I. T. Trubilin Kuban State Agrarian University (Russian Federation, Krasnodar), ORCID: 0000-0002-8502-7389, e-mail: Eremenko-o@list.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-46

THE SELECTION CHANGES INTEGRATED ANALYSIS BASED ON PHENOTYPIC AND GENETIC INDICATORS OF THE KALMYK CATTLE BREED

Tretyakova R. F., Kayumov F. G.

*Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrarian technologies of the Russian Academy of Sciences
Orenburg, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: nazkalms@mail.ru

Received 10.02.2026

Submitted 26.03.2026

The research was carried out in accordance with the 2026 research plan of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Research Center of Biotechnology of the Russian Academy of Sciences (FNWZ-2026-0001).

Abstract

Introduction. Preservation and improvement of the genetic potential of the Kalmyk cattle breed is one of the priority tasks of sustainable development of beef cattle breeding in the arid regions of Russia. This breed has a unique adaptation to harsh climatic conditions, low-quality feed, and high survival rates, which makes it an integral part of the agricultural security of Kalmykia and neighboring regions. In the context of modernization of animal husbandry, strengthening of breeding programs, and changing climatic conditions, there is a need for long-term, comprehensive assessments of changes in productivity, exterior, and genetic structure of the breed. However, until now, there have been no systematic data that combine phenotypic indicators (weight, measurements, and slaughter qualities) with molecular genetic markers, such as antigens, which are indicators of genetic diversity and selection in a population. The lack of long-term dynamics in these parameters makes it difficult to justify breeding strategies, evaluate the effectiveness of breeding work, and predict the breed's resilience to future challenges. Therefore, a study spanning a 15-year period (2010 and 2025) and encompassing both productivity and antigen profile analysis is both scientifically and practically significant. It not only assesses the results of breeding but also identifies hidden genetic shifts that may not be reflected in external characteristics but contribute to the breed's long-term viability. **Object of the study.** The object of the study was the Kalmyk breed of cattle. **Materials and methods.** The study was conducted on the Kalmyk breed of cattle in five leading farms of the Republic of Kalmykia: LLC Agro-firma Uralan, LLC Agro-firma Pik Plus, SKHPK PR Khanata, NANO PZ Kirovsky and K(F)H Buddha. The data on live weight, exterior indicators, and meat quality of animals for 2010 and 2025 were obtained as a

result of annual systematic evaluations conducted as part of breeding work and productivity control in these farms. Determination of blood groups was performed in a certified laboratory of the Research and Production Center of Kalmyk State University (RPNTs KalmSU) on 32 antigens of seven systems (EAA, EAB, EAC, EAF-EAV, EAL, EAS, EAZ) using standard immunogenetic techniques – agglutination reaction with monospecific serums. All analyses were carried out in strict accordance with approved protocols and using certified reagents. **Results and conclusions.** Over the period 2010-2025, there was a steady positive trend in the productive and genetic indicators of the Kalmyk cattle breed. The average live weight of bulls increased by 15.5 kg, that of cows by 16 kg, and the slaughter indicators of young cattle (18 months) They showed an increase in pre-slaughter weight by 8.5 kg, slaughter weight by 10.4 kg, and the yield of raw internal fat by 1.9 kg, while maintaining a stable carcass yield (56.4-56.5 %). All linear measurements (withers height, chest girth, chest depth, etc.) demonstrate directional growth, indicating selection for massiveness and meat constitution. Genetic analysis of 32 antigens revealed a significant transformation of the allele spectrum: an increase in the frequency of dominant antigens (B1, I1, O4, E2', G'', F, A1', etc.) and the appearance of new markers – E3' (76 %) and Y' (87 %), which were previously absent in 2010. At the same time, a decrease in the frequency of a number of outdated antigens (Y2, T1, L', Z) was noted. The data obtained confirm that the Kalmyk breed has undergone a deep selective evolution, combining improved productivity, resistance, and adaptability. The results indicate the high efficiency of modern breeding work.

Keywords: *Kalmyk cattle breed, productivity of the Kalmyk cattle breed, development of beef cattle breeding, and genetic potential of the Kalmyk cattle breed.*

Citation. Tretyakova R. F., Kayumov F. G. The selection changes integrated analysis based on phenotypic and genetic indicators of the Kalmyk cattle breed. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 425-433 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-46.

Authors' contributions. In this experiment, all the authors participated in the planning, execution, and analysis of the research results. The presented version of the article is approved by all the authors.

Conflict of interest. The authors did not declare a conflict of interest.

УДК 636.2.082

ИНТЕГРИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ СЕЛЕКЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В КАЛМЫЦКОЙ ПОРОДЕ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА НА ОСНОВЕ ФЕНОТИПИЧЕСКИХ И ГЕНЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

**Третьякова Р. Ф., кандидат биологических наук, научный сотрудник
Каюмов Ф. Г., доктор сельскохозяйственных наук, профессор**

ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук»
г. Оренбург, Российская Федерация

**Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2026 год ФГБНУ ФНЦ БСТ
РАН (FNWZ-2026-0001).**

Актуальность. Сохранение и улучшение генетического потенциала калмыцкой породы крупного рогатого скота – одна из приоритетных задач устойчивого развития мясного скотоводства в аридных регионах России. Эта порода обладает уникальной адаптацией к суровым климатическим условиям, низкокачественным кормам и высокой выживаемостью, что делает её неотъемлемой частью аграрной безопасности Калмыкии и соседних регионов.

В условиях модернизации животноводства, усиления селекционных программ и изменения климатических условий, возникает необходимость в длительных, комплексных оценках изменений в продуктивности, экстерьере и генетической структуре породы. Однако до настоящего времени отсутствовали системные данные, объединяющие фенотипические показатели (масса, промеры, убойные качества) с молекулярно-генетическими маркерами-антигенами, которые являются индикаторами генетического разнообразия и отбора в популяции. Отсутствие долгосрочной динамики этих параметров затрудняет обоснование селекционных стратегий, оценку эффективности племенной работы и прогнозирование устойчивости породы к будущим вызовам. Поэтому исследование, охватывающее 15-летний период (2010 и 2025 гг.) и включающее анализ как продуктивности, так и антигенного профиля, является научно и практически значимым. Оно позволяет не только оценить результаты селекции, но и выявить скрытые генетические сдвиги, которые не отражаются во внешних признаках, но определяют долгосрочную жизнеспособность породы. **Объект исследования.** Объектом исследования явились животные калмыцкой породы. **Материалы и методы.** Исследование проведено на поголовье крупного рогатого скота калмыцкой породы в пяти ведущих хозяйствах Республики Калмыкия: ООО «Агрофирма Уралан», ООО «Агрофирма Пик Плюс», СХПК ПР «Ханата», НАО ПЗ «Кировский» и К(Ф)Х «Будда». Данные о живой массе, экстерьерных показателях и мясных качествах животных за 2010 и 2025 годы получены в результате ежегодных систематических бонитировок, проведённых в рамках племенной работы и контроля продуктивности в этих хозяйствах. Определение групп крови выполнено в сертифицированной лаборатории РНПЦ Калмыцкого государственного

университета (РНПЦ КалмГУ) по 32 антигенам семи систем (ЕАА, ЕАВ, ЕАС, ЕАФ-ЕАВ, ЕАЛ, ЕАС, ЕАЗ) с использованием стандартных иммуногенетических методик – реакции агглютинации с моноспецифическими сыворотками. Все анализы проводились в строгом соответствии с утвержденными протоколами и с применением сертифицированных реагентов. **Результаты и выводы.** За период 2010-2025 гг. в поголовье калмыцкой породы скота зафиксирована устойчивая положительная динамика продуктивных и генетических показателей. Средняя живая масса быков-производителей увеличилась на 15,5 кг, коров – на 16 кг, а убойные показатели молодняка (18 месяцев) показали рост предубойной массы на 8,5 кг, убойной массы на 10,4 кг и выхода внутреннего жира-сырца на 1,9 кг, при сохранении стабильного выхода туши (56,4-56,5 %). Все линейные промеры (высота в холке, обхват груди, глубина груди и др.) демонстрируют направленный рост, свидетельствующий о селекции на массивность и мясную конституцию. Генетический анализ по 32 антигенам выявил значительную трансформацию аллельного спектра: рост частоты доминирующих антигенов (В1, I1, О4, Е2', G', F, А1' и др.) и появление новых маркеров – Е3' (76 %) и Y' (87 %), ранее отсутствовавших в 2010 г. При этом отмечено снижение частоты ряда устаревших антигенов (Y2, T1, L', Z). Полученные данные подтверждают, что калмыцкая порода прошла глубокую селекционную эволюцию, сочетающую улучшение продуктивности, устойчивости и адаптивности. Результаты свидетельствуют о высокой эффективности современной племенной работы.

Ключевые слова: калмыцкая порода КРС, продуктивность калмыцкой породы КРС, развитие мясного скотоводства, генетический потенциал калмыцкой породы КРС.

Цитирование. Третьякова Р. Ф., Каюмов Ф. Г. Интеграционный анализ селекционных изменений в калмыцкой породе крупного рогатого скота на основе фенотипических и генетических показателей. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 425-433. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-46.

Авторский вклад. В данном эксперименте все авторы принимали участие в планировании, выполнении, а также анализе полученных результатов исследований. Представленный вариант статьи одобрен всеми авторами.

Конфликт интересов о конфликте интересов авторы не заявляли.

Введение. Калмыцкая порода крупного рогатого скота – один из важнейших генетических ресурсов России, обладающий высокой адаптивностью к экстремальным условиям полупустынь и засушливых регионов, а также устойчивостью к стрессовым факторам. На протяжении десятилетий эта порода играла ключевую роль в развитии мясного скотоводства в Калмыкии и других аридных зонах страны [1-4].

Однако в условиях современного животноводства, характеризующегося ростом требований к продуктивности, качеству мяса и эффективности использования кормовых ресурсов, сохранение и совершенствование генетического потенциала калмыцкой породы требует комплексного научного сопровождения [5-7].

На сегодняшний день, несмотря на множество проведенных исследований, данные о фенотипических изменениях в поголовье уже накоплены, но до сих пор не было комплексных работ, которые бы связали анализ долгосрочной динамики продуктивности с подробным изучением генетических изменений в иммуногенетическом профиле. Особенно актуально это в свете выявленных в последние годы значительных изменений в частотах антигенов групп крови, которые могут отражать не только племенную работу, но и адаптационные процессы в популяции [8-12].

Важно понимать, насколько целенаправленная селекция, улучшение кормления и условий содержания повлияли на эволюцию породы за последние 15 лет и насколько эти изменения согласуются с генетическими изменениями, выявленными в системах групп крови. Отсутствие таких интегрированных оценок затрудняет обоснование стратегий сохранения и дальнейшего развития породы [13-15].

Целью настоящего исследования является анализ селекционных изменений калмыцкой породы крупного рогатого скота за 2010 и 2025 годы на основе фенотипических и иммуногенетических показателей.

Объектом исследования было поголовье калмыцкой породы крупного рогатого скота, представленное в хозяйствах Республики Калмыкия в 2010 и 2025 годах.

Материалы и методы. Данные о живой массе и экстерьерных признаках животных за 2010 и 2025 годы были получены в ходе систематической бонитировки крупного рогатого скота калмыцкой породы. Исследование проводилось на базе пяти ведущих хозяйств Республики Калмыкия: ООО «Агрофирма Уралан», ООО «Агрофирма Пик Плюс», СХПК ПР «Ханата», НАО ПЗ «Кировский» и К(Ф)Х «Будда». Общая выборка составила 650 голов, включая 30 быков-производителей и 620 коров.

Оценка мясных качеств за данные годы выполнена по результатам контрольных убоев бычков (n = 10) в возрасте 18 месяцев, которые были проведены в ООО «Агрофирма Уралан».

Для исследования частоты распространения антигенов эритроцитов крови из двух хозяйств – ООО «Агрофирма Уралан» и К(Ф)Х «Будда» – было отобрано 180 голов животных. Весной у животных брали цельную кровь из яремной вены в стерильные пробирки, заполненные 600 мкл ЭДТА (этилендиаминтетрауксусной кислотой) для анализа аллелей крови. Идентификацию аллелей проводили с использованием системы EAB группы крови.

Определение групп крови выполняли в лаборатории РНПЦ Калмыцкого университета им. Городовикова с помощью иммуногенетических тестов – реакции агглютинации с моноспецифическими сыворотками. Все серологические анализы проводились с применением стандартных реагентов.

Частоту генотипов рассчитывали по формуле:

$$p = n / N,$$

где: p – частота генотипа, n – количество особей, имеющих определённый генотип, N – число особей.

Частоту аллелей определяли по формулам:

$$pA = (2nAA + nAB) \div 2N, \quad qB = (2nBB + nAB) \div 2N,$$

где pA – частота аллеля A , qB – частота аллеля B , N – общее число аллелей.

Для обработки данных использовали методы вариационной статистики и дисперсионный анализ. Расчёты выполняли в программе Excel (Microsoft Office, США) и дополнительно проверяли с помощью Statistica 6.0 (StatSoft Inc., США).

Результаты и обсуждение. Сравнительный анализ живой массы поголовья калмыцкой породы крупного рогатого скота в пяти ведущих хозяйствах Республики Калмыкия за 2010 и 2025 годы показал устойчивую тенденцию к её увеличению как у быков-производителей, так и у коров (таблица 1). Все исследуемые хозяйства продемонстрировали положительную динамику, что свидетельствует о системном улучшении условий содержания, кормления и эффективности племенной работы.

Таблица 1 – Сравнительная оценка живой массы поголовья калмыцкого скота в хозяйствах, кг
Table 1 – Comparative assessment of the live weight of Kalmyk cattle in farms, kg

Хозяйство / Farm	Год / Year			
	2010		2025	
	Быки-производители / Breeding bulls	Коровы / Cows	Быки-производители / Breeding bulls	Коровы / Cows
ООО «Агрофирма Уралан» / LLC Agrofirma Uralan	772,3 ± 4,12	455,2 ± 3,56	780,7 ± 2,85	469,1 ± 3,10
ООО «Агрофирма Пик Плюс» / LLC Agrofirma Pik Plus	785,8 ± 3,17	446,4 ± 2,89	808,5 ± 5,32	465,3 ± 3,18
СХПК ПР «Ханата» / SKHPK PR Khanata	782,5 ± 2,13	442,7 ± 3,70	795,6 ± 3,48	460,7 ± 4,18
НАО ПЗ «Кировский» / NJSC Breeding Farm Kirovskiy	780,2 ± 2,11	452,3 ± 2,38	798,3 ± 2,45	471,2 ± 3,45
К(Ф)Х «Будда» / Farm Budda	778,4 ± 2,38	454,5 ± 2,57	793,2 ± 2,31	464,9 ± 3,10
В среднем / Average	779,8 ± 3,19	450,2 ± 2,15	795,3 ± 2,49	466,2 ± 4,21

За период с 2010 по 2025 годы, средняя живая масса быков-производителей увеличилась с 779,8 кг до 795,3 кг. Общий прирост составил 15,5 кг (1,97 %). Наибольшее увеличение показателя было зафиксировано в ООО «Агрофирма Пик Плюс», где вес быков возрос на 22,7 кг (2,85 %).

Не менее значительный прогресс наблюдается и у коров. Их средняя живая масса за те же 15 лет выросла с 450,2 кг до 466,2 кг, что означает прибавку в 16 кг (3,49 %). Таким образом, рост массы коров оказался даже немного более выраженным, чем у быков. Эта устойчивая положительная динамика по всем категориям животных подтверждает эффективность современных методов ведения мясного скотоводства и целенаправленной племенной работы с калмыцкой породой скота.

На основе средних линейных промеров, полученным по данным хозяйств, проведен сравнительный анализ быков-производителей и коров за 2010 и 2025 годы (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнительный анализ средних промеров поголовья калмыцкого скота, см
Table 2 – Comparative analysis of the average measurements of Kalmyk cattle, cm

Промер / Parameter	Год / Year			
	2010		2025	
	Быки- производители / Breeding bulls	Коровы / Cows	Быки-производители / Breeding bulls	Коровы / Cows
Высота в холке / Height at the withers	132,1 ± 2,18	127,2 ± 2,69	134,6 ± 1,86	128,4 ± 2,35
Косая длина туловища / Oblique body length	168,2 ± 2,43	156,7 ± 2,13	170,9 ± 1,74	158,3 ± 3,02
Обхват груди / Chest circumference	210,3 ± 1,80	183,6 ± 3,42	214,8 ± 2,71	186,2 ± 2,18
Обхват пясти / Metacarpal girth	21,7 ± 0,72	18,3 ± 0,38	22,8 ± 0,24	18,8 ± 0,53
Глубина груди / Chest depth	76,3 ± 2,78	69,3 ± 2,47	78,3 ± 2,03	70,9 ± 3,31
Ширина груди / Chest width	52,8 ± 1,26	41,4 ± 2,71	53,7 ± 2,27	42,7 ± 3,19
Ширина в маклоках / Width iliac wing tubercle	61,9 ± 2,32	56,8 ± 2,05	63,4 ± 1,79	57,8 ± 3,27

Анализ динамики промеров выявил существенное увеличение размеров тела у быков-производителей в 2025 году по сравнению с 2010 годом. Максимальный прирост отмечен по ключевому показателю мясной продуктивности – обхвату груди, который составил – 4,5 см (2,12 %). Также значительно увеличились: косая длина туловища – 2,7 см (1,59 %), высота в холке – 2,5 см (1,87 %), глубина груди – 2,0 см (2,59 %), ширина в маклоках – 1,5 см (2,39 %) и обхват пясти – 1,1 см (4,94 %). Менее выраженный, но положительный прирост зафиксирован по ширине груди – 0,9 см (1,69 %). Полученные данные свидетельствуют об успешной селекции, направленной на формирование более массивных и крепких животных.

У коров также наблюдалась положительная динамика промеров, однако ее интенсивность уступает показателям быков-производителей. Наибольшее увеличение отмечено по параметрам, непосредственно связанных с мясной продуктивностью: обхват груди – 2,6 см (1,41 %), косая длина туловища – 1,6 см (1,02 %) и глубина груди – 1,6 см (2,28 %). Минимальный прирост наблюдался по высоте в холке – 1,2 см (0,94 %), ширине груди – 1,3 см (3,09 %), ширине в маклоках – 1,0 см (1,75 %) и обхвату пясти – 0,5 см (2,7 %), что отражает общую направленность селекции на увеличение объемных, а не линейных характеристик туловища. Вместе с тем, при сравнении экстерьерных показателей крупного рогатого скота калмыцкой породы за 2010 и 2025 годы различия между ними оказались статистически недостоверными.

Таблица 3 – Показатели убоя бычков калмыцкой породы в возрасте 18 месяцев
Table 3 – Slaughter indicators for Kalmyk bulls at the age of 18 months

Показатель / Indicator	Год / Year	
	2010	2025
Предубойная живая масса, кг / Pre-slaughter live weight, kg	448,2 ± 2,92	456,7 ± 2,54
Масса парной туши, кг / Weight of fresh carcass, kg	253,1 ± 2,73	257,6 ± 2,65
Выход туши, % / Carcass output, %	56,5 ± 1,43	56,4 ± 1,35
Масса внутреннего жира-сырца, кг / Weight of raw internal fat, kg	15,9 ± 1,21	17,8 ± 1,57**
Выход внутреннего жира-сырца, % / Weight of raw internal fat, %	3,5 ± 0,17	3,9 ± 0,13
Убойная масса, кг / Slaughter weight, kg	269,1 ± 3,24	279,5 ± 3,06*
Убойный выход, % / Slaughter weight, %	60,0 ± 1,25	61,2 ± 1,32

*P < 0,05, **P < 0,01.

В результате анализа показателей убоя быков-производителей калмыцкой породы в возрасте 18 месяцев за 2010 и 2025 годы выявлены тенденции к улучшению мясной продуктивности (таблица 3). Предубойная живая масса животных увеличилась с 448,2 кг в 2010 году до 456,7 кг в 2025 году, что свидетельствует о постепенном росте размеров и массы скота. Масса парной туши также выросла на 4,5 кг (1,76 %), однако выход туши остался практически неизменным: 56,5 % в 2010 году и 56,4 % в 2025 году, что указывает на стабильность пропорций телосложения и эффективность преобразования живой массы в мясную продукцию.

Значительно увеличилась масса внутреннего жира-сырца на 1,9 кг (11,28 %; $P < 0,01$), а выход внутреннего жира-сырца вырос на 0,4 % в 2025 году. Это может быть связано с улучшением кормления, более длительным откормом или изменением генетического потенциала поголовья.

Убойная масса также повысилась на 10,4 кг (3,79 %; $P < 0,05$), а убойный выход – на 1,2 %. Такой рост подтверждает общую положительную динамику в мясной продуктивности калмыцкого скота.

Таким образом, за 15 лет наблюдений калмыцкий скот сохранил высокую способность адаптироваться и эффективно использовать корма. При этом зафиксирован умеренный, но стабильный рост веса, увеличение выхода мяса и жировых отложений. Эти изменения свидетельствуют об улучшении условий содержания, качества откорма и, возможно, результативности селекционных мероприятий.

Также проведен анализ динамики частоты встречаемости антигенов групп крови у калмыцкой породы крупного рогатого скота в 2010 и 2025 годах (таблица 4).

Таблица 4 – Частота антигенных факторов групп крови крупного рогатого скота калмыцкой породы
Table 4 – Frequency of antigenic factors in blood groups of Kalmyk cattle

Система / System	Антиген / Antigen	Год / Year	
		2010	2025
		К(Ф)Х «Будда» / Farm Budda	ООО «Агрофирма Уралан» / LLC Agrofirma Uralan
EAA	A1	0,22	0,38
	A2	0,51	0,88
EAB	B1	0,21	0,62
	G2	0,49	0,38
	I1	0,43	0,75
	O2	0,18	0,53
	O4	0,29	0,74
	Y1	0,43	0,66
	Y2	0,58	0,23
	E2'	0,40	0,84
	E3'	-	0,76
	A1'	0,21	0,46
	A2'	0,49	0,58
	Y'	-	0,87
	Q'	0,33	0,47
	T1	0,43	0,19
	T2	0,24	0,51
	G''	0,41	0,73
EAC	C1	0,54	0,38
	C2	0,29	0,79
	L'	0,70	0,25
	X1	0,68	0,44
	X2	0,43	0,61
	R2	0,11	0,32
EAF-EAV	F	0,41	0,75
	V	0,35	0,46
EAL	L	0,05	0,11
EAS	S1	0,10	0,37
	H	0,68	0,52
	U'	-	0,10
	U''	0,17	0,21
EAZ	Z	0,54	0,18

По большинству антигенов наблюдался значительный рост частоты встречаемости к 2025 году по сравнению с 2010 годом.

Так, в системе ЕАА частота встречаемости антигенов А1, А2 увеличилась на 16 % и 37 %.

В рамках системы ЕАВ установлено уменьшение распространенности антигенов: G2 – с 49 до 38 % (на 11 %), Y2 – с 58 до 25 % (на 33 %), и T1 – с 43 до 19 % (на 24 %). В то же время зафиксировано увеличение частоты следующих антигенов: B1 – с 21 до 62 % (на 41 %), I1 – с 43 до 75 % (на 32 %), O2 – 18-53 % (на 35 %), O4 – 29-74 % (на 45 %), Y1 – 43-66 % (на 23 %), E2' – 40-84 % (на 44 %), A1' – 21-46 % (на 25 %), A2' – 49-58 % (на 9 %), Q' – 33-47 % (на 14 %), T2 – 24-51 % (на 27 %), G'' – 41-93 % (на 52 %). Особое внимания заслуживает появление новых антигенов: E'3 и Y', которые полностью отсутствовали у животных в 2010 году, однако к 2025 году они стали доминирующими – их частота встречаемости достигла 76 % и 87 % соответственно.

Анализируя данные системы ЕАС за 2010 и 2025 годы выявлено снижение частоты встречаемости следующих антигенов: C1 – с 54 % до 38 % (на 16 %), L' – с 70 % до 25 % (на 45 %), X1 – с 68 % до 44 % (на 24 %). Значительный рост частоты встречаемости установлен у антигенов: C2 – с 29 % до 79 % (на 50 %), X2 – с 43 % до 61 % (на 18 %), R2 – с 11 % до 32 % (на 21 %). В системе ЕАF-ЕАV оба антигена F и V продемонстрировали положительную динамику: частота встречаемости антигена F увеличилась на 34 %, а антигена V – на 11 %. При этом антиген F показал наиболее выраженный рост в данной группе.

В системе ЕАL антиген L также зафиксировал рост: его частота встречаемости увеличилась с 5 % в 2010 году до 11 % в 2025 году, что свидетельствует о небольшом, но стабильном увеличении распространенности данного антигена в популяции калмыцкого скота.

В системе ЕАС наблюдалась смешанная динамика изменений за 15 лет: антиген S1 показал значительный рост на 27 %, в то время как антиген H снизился на 16 %. Особого внимания заслуживает появление нового антигена U', который ранее отсутствовал и к 2025 году достиг частоты встречаемости 10 %. Антиген U'' продемонстрировал незначительный рост на 4 %.

В системе ЕАЗ зафиксировано резкое снижение частоты встречаемости антигена Z на 36 %, что свидетельствует о существенном изменении его распространенности в популяции калмыцкого скота за исследуемый период.

Заключение. Таким образом, калмыцкая порода крупного рогатого скота за 15 лет продемонстрировала устойчивую и целенаправленную эволюцию, обусловленную сочетанием системной селекции и улучшения условий содержания. Фенотипически животные стали крупнее, массивнее, с более выраженной мясной конституцией и повышенным уровнем жирового отложения, что прямо отражает успехи в повышении продуктивности.

Анализ антигенного спектра выявил глубокую трансформацию генетической структуры популяции, характеризующуюся преимущественным ростом частоты встречаемости большинства антигенов при одновременном появлении новых и снижении некоторых существующих маркеров. Наблюдаемые изменения в генетической структуре популяций крупного рогатого скота калмыцкой породы подтверждают, что даже в рамках целенаправленной племенной работы сохраняется элемент стохастичности, характерный для природных популяционных процессов. Это подчеркивает важность постоянного мониторинга генетической структуры для эффективного управления селекционным процессом.

Conclusion. Thus, over the past 15 years, the Kalmyk cattle breed has demonstrated a steady and purposeful evolution, driven by a combination of systematic selection and improved housing conditions. Phenotypically, the animals have become larger, more massive, with a more pronounced meat constitution and increased fat deposition, which directly reflects the success in increasing productivity. The analysis of the antigenic spectrum revealed a profound transformation in the genetic structure of the population, characterized by a predominant increase in the frequency of most antigens, while new markers have emerged and some existing markers have decreased. The observed changes in the genetic structure of Kalmyk cattle populations confirm that even within the framework of targeted breeding work, the element of stochasticity characteristic of natural population processes remains. This highlights the importance of continuous monitoring of the genetic structure for effective management of selection.

Библиографический список

1. Джуламанов К. М., Сафронова А. А., Платонов С. А., Кизаев М. А. Оценка генотипа герефордского скота по племенным и продуктивным качествам. Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2022. № 4 (69). С. 63-69.

2. Седых Т. А., Гизатуллин Р. С., Долматова И. Ю., Гусев И. В., Калашникова Л. А. Полиморфизм гена соматотропного гормона в связи с качеством туш мясного скота. Российская сельскохозяйственная наука. 2020. № 2. С. 53-57.

3. Столповский Ю. А., Пискунов А. К., Свищева Г. Р. Геномная селекция. Последние тенденции и возможные пути развития. Генетика. 2020. Т. 56. № 9. С. 1006-1017.

4. Ruchay A., Kober V., Dorofeev K., Kolpakov V., Dzhulamanov K., Kalschikov V., Guo H. Comparative analysis of machine learning algorithms for predicting live weight of Hereford cows. Computers and Electronics in Agriculture. 2022. № 195. Art. 106837.

5. Тагиров Х. Х., Николаева Н. Ю., Ишбердина Р. Р. Рост и мясная продуктивность молодняка герефордской породы в условиях юга Западной Сибири. Молочное и мясное скотоводство. 2021. № 2. С. 15-17.

6. Сеитов М. С., Левицкая Т. Т. Содержание, кормление и сравнительная оценка показателей роста бычков разных генотипов. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 1 (87). С. 256-260.

7. Гармаев Д. Ц., Толочка В. В., Косилов В. И. Особенности весового роста бычков специализированных мясных пород в условиях Приморского края. Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2021. № 3 (64). С. 23-29.

8. Фролов А. Н., Завьялов О. А., Харламов А. В., Сычева И. Н., Быстренина И. Е. Оценка продуктивных качеств и элементного статуса бычков калмыцкой породы различных генотипов по гену гормона роста. Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105. № 1. С. 62-73.

9. Шагалиев Ф. М. Мясная продуктивность и качественные показатели мяса бычков разных генотипов. Зоотехния. 2022. № 2. С. 34-38.

10. Шевхужев А. Ф., Погодаев В. А. Особенности динамики роста, экстерьера, оплаты корма бычков абердин-ангусской породы разного типа телосложения. Известия Тимирязевский сельскохозяйственной академии. 2021. № 2. С. 49-59.

11. Бакай А. В., Бакай Ф. Р., Фейзуллаева Э. М. Продуктивные качества коров казахской белоголовой породы разных генераций. Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 5-6 (47). С. 6-8.

12. 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.

13. Габидулин В. М., Алимова С. А. Влияние типа телосложения быков-производителей абердин-ангусской породы на оценку их племенной ценности. Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 1. С. 91-100.

14. Шаталина О. С., Ярышкин А. А., Лешонков О. И. Отличительные особенности аллелофонда групп крови различных пород крупного рогатого скота. Генетика и разведение животных. 2023. № 2. С. 85-97.

15. Валитов Ф. Р., Долматова И. Ю., Юмагузин И. Ф. Генетическая структура пород крупного рогатого скота Республики Башкортостан по антигенным эритроцитарным факторам. Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2019. № 4 (52). С. 74-79.

References

1. Dzhulamanov K. M., Safronova A. A., Platonov S. A., Kizaev M. A. Assessment of the genotype of Hereford cattle by breeding and productive qualities. Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov. 2022. No 4 (69). Pp. 63-69.

2. Sedykh T. A., Gizatullin R. S., Dolmatova I. Yu., Gusev I. V., Kalashnikova L. A. Polymorphism of the somatotrophic hormone gene in connection with the quality of beef cattle carcasses. Russian agricultural science. 2020. No 2. Pp. 53-57.

3. Stolpovsky Yu. A., Piskunov A. K., Svishcheva G. R. Genomic breeding. Recent trends and possible ways of development. Genetics. 2020. V. 56. No 9. Pp. 1006-1017.

4. Ruchay A., Kober V., Dorofeev K., Kolpakov V., Dzhulamanov K., Kalschikov V., Guo H. Comparative analysis of machine learning algorithms for predicting live weight of Hereford cows. Computers and Electronics in Agriculture. 2022. No 195. Art. 106837.

5. Tagirov Kh. Kh., Nikolaeva N. Y., Ishberdina R. R. Growth and meat productivity of young Hereford breed in the conditions of the South of Western Siberia. Dairy and beef cattle breeding. 2021. No 2. Pp. 15-17.

6. Seitov M. S., Levitskaya T. T. Maintenance, feeding and comparative assessment of growth indicators of bulls of different genotypes. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2021. No 1 (87). Pp. 256-260.

7. Garmaev D. Ts., Tolochka V. V., Kosilov V. I. Features of weight growth of gobies of specialized meat breeds in the conditions of Primorsky region. Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V. R. Filippov. 2021. No 3 (64). Pp. 23-29.

8. Frolov A. N., Zavyalov O. A., Kharlamov A. V., Sycheva I. N., Bystrenina I. E. Evaluation of productive traits and elemental status in Kalmyk bull-calves of various genotypes by growth hormone gene. Animal Husbandry and Fodder Production. 2022. No 105 (1). Pp. 62-73.

9. Shagaliev F. M. Meat productivity and quality indicators of beef bulls of different genotypes. Zootechniya. 2022. No 2. Pp. 34-38.

10. Shevkhezhev A. F., Pogodaev V. A. Features of the growth dynamics, exterior, and feed payment of aberdeen-angus calves of different body types. Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy. 2021. No 2. Pp. 49-59.

11. Bakai A. V., Bakai F. R., Feizullaeva E. M. Productive qualities of Kazakh whiteheaded breed cows of different generations. International Research Journal. 2016. No 5-6 (47). Pp. 6-8.

12. Kayumov F. G., Tretyakova R. F. Adaptive qualities and interior differences of crossbred and purebred Kalmyk heifers in the highlands of the Kabardino-Balkaria Republic. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2022. No 2 (94). Pp. 284-288.

13. Gabidulin V. M., Alimova S. A. Influence of conformation type of Angus sires on the assessment of their breeding value. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023. No 106 (1). Pp. 91-100.

14. Shatalina O., Yaryshkin A., Leshonok O. Distinctive features of the allele fund of various breeds of cattle. Genetics and Breeding of Animal. 2023. No 2. Pp. 85-97.

15. Valitov F., Dolmatova I., Jumagusin I. Genetic structure of cattle breeds of the Republic of Bashkortostan by antigenic erythrocyte factors. Bulletin of Bashkir State Agrarian University. 2019. No 4 (52). Pp. 74-79.

Информация об авторах

Третьякова Рузия Фоатовна, кандидат биологических наук, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29), ORCID: 0000-0001-9241-9228, e-mail: nazkalms@mail.ru

Каюмов Фоат Галимович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29), ORCID: 0000-0002-5155-4295, e-mail: nazkalms@mail.ru

Authors' Information

Tretyakova Ruzia Foatovna, Candidate of Biological Sciences, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrarian technologies of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 460000, Orenburg, January 9 Str., 29), ORCID: 0000-0001-9241-9228, e-mail: nazkalms@mail.ru

Kayumov Foat Galimovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrarian technologies of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 460000, Orenburg, January 9 Str., 29), ORCID: 0000-0002-5155-4295, e-mail: nazkalms@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-47

THE MUSTARD PROTEIN CONCENTRATE "GORLINKA" EFFECT ON THE FISH FARMING INDICATORS AND CARP FILLETS QUALITY

^{1,2}Andreeva I. A., ¹Karapetyan A. K., ¹Nikolaev S. I., ¹Chehranova S. V., ¹Morozova E. A.,
¹Danilenko I. Y., ¹Vodyannikova V. V.

¹Volgograd State Agrarian University

²VNIRO («Srednevolzhsky»)

Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: a.k.karapetyan@bk.ru

Received 28.01.2026

Submitted 26.03.2025

The study was conducted under contract №16 from 1.08.2023 Russian Olive LLC» Topic: «Development and application of compound feeds for carp fish using amaranth oil cake».

Abstract

Introduction. Modern specialists in the field of animal feeding, poultry and aquaculture facilities demonstrate a desire to minimize the proportion of sunflower oil cake in diets, guided mainly by price indicators. In the context of adaptation to the conditions of the Lower Volga region, mustard and its processed products can be considered as alternative protein sources. However, for the effective use of this protein resource in fish feeding, further research and assessment of its potential are needed. The present study is devoted to the study of how mustard concentrate «Gorlinka» affects the growth and marketability of carp. **The object of the research** was a carp. **Materials and methods.** An experiment at the Priboy fish farm, located in the Bykovsky District of the Volgograd Region, examined the effects of «Gorlinka» concentrate on carp. Four groups of test animals were formed: one control and three experimental groups. All groups were maintained under identical conditions, and the feed volume for each group was increased proportionally to fish growth. The study focused on replacing sunflower cake in the diet with «Gorlinka» concentrate in three different variations. The control group received standard feed with 20 % sunflower cake. The first experimental group received feed in which half (50 %) of the sunflower cake was replaced with concentrate. In the second experimental group, the replacement rate was 75 %, suggesting a higher concentration of nutrients from the new component. The third experimental group switched entirely to a diet containing «Gorlinka» concentrate, excluding sunflower cake. **Results and conclusions.** In compound feeds, partial or complete replacement of sunflower oil cake with «Gorlinka» feed concentrate had a positive effect on fish farming performance in the experimental carp groups. At the end of the study, it was found that the live weight of carp in the control group was 1610.39 g, while in the experimental groups it was higher by 77.49-118.2 g (4.81-7.34 %). In addition, it was found that the total weight gain was also higher by 78.40-116.86 g, or by 8.67-12.92 %. The fish in the experimental groups also showed a decrease in the feed coefficient by 0.17-0.25, or by 10.76-15.82 % compared with the control analogues. The survival rate of carp in the 1st experimental group was 93.75 %, which exceeds the indicator of the control group by 1.25 %. In the 2nd and 3rd experimental groups, this indicator was at the level of 95 %, which is 2.50 % higher than the control. The use of «Gorlinka» feed concentrate had a positive effect on increasing the slaughter yield of carcasses by 0.12-0.34 % and the yield of edible carcass parts by 37.01-81.87 g (3.40-7.52 %). The nutritional value of carp fillets in the experimental groups, compared with the control, was better: the content of crude protein increased by 0.17-0.30 %, fat by 0.05-0.14 %, inorganic substances by 0.04-0.10 %, amino acids by 0.56-2.31 %, and biological value – by 6.67-6.81 %. Based on the conducted research, it can be concluded that the use of «Gorlinka» protein concentrate in compound feeds for carp has a positive effect on fish farming performance and the quality of fish products.

Keywords: carp breeding, carp feeding, carp fillet quality, carp diets, protein feed concentrates, Gorlinka mustard concentrate.

Citation. Andreeva I. A., Karapetyan A. K., Nikolaev S. I., Chehranova S. V., Morozova E. A., Danilenko I. Y., Vodyannikova V. V. The mustard protein concentrate "Gorlinka" effect on the fish farming indicators and carp fillets quality. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 433-442 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-47.

The authors' contribution. In this experiment, all the authors participated in the planning, execution, and analysis of the research results. The presented version of the article is approved by all the authors.

Conflict of interest the authors did not declare a conflict of interest.

УДК 639.3.043.2

ВЛИЯНИЕ ГОРЧИЧНОГО БЕЛКОВОГО КОНЦЕНТРАТА «ГОРЛИНКА» НА РЫБОВОДНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ И КАЧЕСТВО ФИЛЕ КАРПА

^{1,2}Андреева И. А., аспирант

¹Карапетыан А. К., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹Николаев С. И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹Чехранова С. В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹Морозова Е. А., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

¹Даниленко И. Ю., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

¹Водяникова В. В., доктор биологических наук, профессор

¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

²ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («Средневожский»)

г. Волгоград, Российская Федерация

Исследование проведено в рамках договора № 16 от 1.08.2023 ООО «Русская Олива»

Тема: «Разработка и применение комбикормов для карповых рыб с использованием амарантового жмыха».

Актуальность. Современные специалисты в области кормления животных, птицы и объектов аквакультуры демонстрируют стремление к минимизации доли подсолнечного жмыха в рационах, руководствуясь преимущественно ценовыми показателями. В контексте адаптации к условиям Нижневолжского региона в качестве альтернативных источников белка могут быть рассмотрены горчица и продукты ее переработки. Однако, для эффективного использования данного белкового ресурса в кормлении рыбы, необходимы дальнейшие исследования и оценка его потенциала. Настоящее исследование посвящено изучению того, как горчичный концентрат «Горlinka» влияет на рост и товарные качества карпа. **Объект исследования.** Объектом исследований явился карп. **Материалы и методы.** В рамках эксперимента на рыбноводном предприятии ООО «Прибой», расположенном в Быковском районе Волгоградской области, изучалось воздействие концентрата «Горlinka» на карпа. Были сформированы четыре группы подопытных животных: одна контрольная и три опытные. Все группы содержались в одинаковых условиях, а объем комбикорма для каждой группы увеличивался пропорционально росту рыб. Исследование сосредоточилось на замене подсолнечного жмыха в рационе на концентрат «Горlinka» в трех различных вариантах. Контрольная группа получала стандартный комбикорм с 20 % подсолнечного жмыха. Первая опытная группа получала комбикорм, где половина (50 %) подсолнечного жмыха была заменена концентратом. Во второй опытной группе доля замены составила 75 %, что предполагало более высокую концентрацию питательных веществ из нового компонента. Третья опытная группа получала полностью перешедший на рацион с концентратом «Горlinka», исключив подсолнечный жмых. **Результаты и выводы.** В комбикормах частичная или полная замена подсолнечного жмыха кормовым концентратом «Горlinka» положительно повлияла на показатели рыбноводства в опытных группах карпа. В конце исследования было установлено, что живая масса карпа в контрольной группе составила 1 610,39 г, тогда как в экспериментальных группах она была больше на 77,49-118,2 г (4,81-7,34 %). Кроме того, было выявлено, что общий прирост массы также был выше на 78,40-116,86 г, или на 8,67-12,92 %. Также было зафиксировано у рыбы в опытных группах снижение кормового коэффициента на 0,17-0,25, или на 10,76-15,82 % по сравнению с контрольными аналогами. Выживаемость карпа в 1-й опытной группе составила 93,75 %, что превышает показатель контрольной группы на 1,25 %. Во 2-й и 3-й опытных группах этот показатель был на уровне 95 %, что выше контроля на 2,50 %. Применение кормового концентрата «Горlinka» положительно сказалось на увеличении убойного выхода тушек на 0,12-0,34 % и выхода съедобных частей тушки на 37,01-81,87 г (3,40-7,52 %). Питательная ценность филе карпа в опытных группах, по сравнению с контролем, была лучше: содержание сырого протеина увеличилось на 0,17-0,30 %, жира на 0,05-0,14 %, неорганических веществ на 0,04-0,10 %, аминокислот на 0,56-2,31 %, а биологическая ценность – на 6,67-6,81 %. На основе проведенных исследований можно заключить, что применение белкового концентрата «Горlinka» в комбикормах для карпа положительно влияет на рыбноводные показатели и качество рыбной продукции.

Ключевые слова: разведение карпа, кормление карпа, качество филе карпа, рационы карпа, белковые кормовые концентраты, горчичный концентрат «Горлинка».

Цитирование. Андреева И. А., Карапетян А. К., Николаев С. И., Чехранова С. В., Морозова Е. А., Даниленко И. Ю., Водяникова В. В. Влияние горчичного белкового концентрата «Горлинка» на рыболовные показатели и качество филе карпа. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 433-442. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-47.

Авторский вклад. В данном эксперименте все авторы принимали участие в планировании, выполнении, а также анализе полученных результатов исследований. Представленный вариант статьи одобрен всеми авторами.

Конфликт интересов о конфликте интересов авторы не заявляли.

Введение. Современное рыбоводство – это комплексная отрасль, опирающаяся на передовые технологии и научные достижения [9, 14]. Цель аквакультуры, варьирующаяся от привычных прудовых ферм до передовых замкнутых систем, заключается в оптимизации производственных процессов, уменьшении воздействия на окружающую среду и обеспечении высокого качества конечного продукта [10].

Для аквакультуры критически важно обеспечить рыбу сбалансированным рационом, поскольку это напрямую определяет ее рост, развитие и здоровье. Неправильный рацион, как недостаток, так и избыток, питательных элементов, приводят к замедлению роста, ослаблению иммунитета и падению продуктивности [2]. Следовательно, формирование сбалансированных рационов, отвечающих физиологическим особенностям рыб, представляет собой критически важный элемент достижения положительных результатов.

Благодаря своим исключительным природно-климатическим особенностям, Россия обладает существенным потенциалом для развития рыбоводства и создания надежной основы для кормления рыб [8]. Необходимость исследования и внедрения альтернативных источников белковых кормов продиктована возрастающей стоимостью и дефицитом общепринятых компонентов, включая рыбную муку, а также шроты и жмыхи сои и подсолнечника [3, 4, 5].

Для решения проблемы нехватки белка в рыбных комбикормах переработанные семена масличных культур – горчицы, рапса, сурепицы и рыжика – предлагают многообещающее решение [1, 6]. Эти растительные белки не только снижают затраты, но и способствуют более экологичному производству, поскольку их получение требует меньше ресурсов по сравнению с кормами животного происхождения [12, 13].

На основании вышеизложенного, мы считаем целесообразным исследование включения горчичного концентрата «Горлинка» в рацион карпа.

Целью исследования стало изучить влияние горчичного концентрата «Горлинка» на интенсивность роста и товарные качества карпа.

Объект исследования. Объектом исследований явился карп.

Материал и методы. На базе рыбоводного предприятия ООО «Прибой», расположенного в Быковском районе Волгоградской области, были осуществлены экспериментальные исследования с карпом. По результатам этих исследований были сформированы четыре группы: одна контрольная и три экспериментальные. В ходе проведения эксперимента, по мере прогрессирования роста массы рыб, для всех групп было обеспечено регулярное увеличение норм ввода комбикормовых смесей. Структура эксперимента отражена в таблице 1.

Таблица 1 – Дизайн опыта
Table 1 – Experience design

Подопытные группы / Experimental groups	Кол-во голов / Number of fish	Продолжительность опыта / Duration of the experience	Условия кормления / Feeding conditions
контрольная / control	80	26 недель (182 дня) / 26 weeks (182 days)	Основной рацион (ОР) с подсолнечным жмыхом / Basic ration (BR) with sunflower cake
1-я опытная / 1 experimental	80	26 недель (182 дня) / 26 weeks (182 days)	ОР + замена 50 % подсолнечного жмыха концентратом «Горлинка»/ Basic ration + replacement of 50 % sunflower oil cake with «Gorlinka» concentrate
2-я опытная / 2 experimental	80	26 недель (182 дня) / 26 weeks (182 days)	ОР + замена 75 % подсолнечного жмыха концентратом «Горлинка»/ Basic ration + replacement of 75 % sunflower oil cake with «Gorlinka» concentrate
3-я опытная / 3 experimental	80	26 недель (182 дня) / 26 weeks (182 days)	ОР + замена 100 % подсолнечного жмыха концентратом «Горлинка»/ Basic ration + replacement of 100 % sunflower oil cake with «Gorlinka» concentrate

Все подопытные группы рыб содержались в одинаковых условиях на протяжении всего исследования. Эксперимент предусматривал формирование четырех групп рыб: одной контрольной и трех опытных, в которых подсолнечный жмых в комбикорме заменялся концентратом «Горlinka» в различных соотношениях. Контрольная группа получала стандартный комбикорм с 20 % подсолнечного жмыха. Первая опытная группа получала комбикорм, в котором 50 % подсолнечного жмыха, было заменено горчичным концентратом «Горlinka». Вторая группа рыб получала рацион с 75 % заменой жмыха на концентрат, с целью потенциального усиления положительных эффектов за счет увеличения концентрации питательных веществ. Третья опытная группа карпа была полностью переведена на рацион, состоящий из концентрата «Горlinka» без добавления подсолнечного жмыха.

Результаты и обсуждение. Исследование химического состава горчичного концентрата «Горlinka» и подсолнечного жмыха выявило различия в их нутриентной ценности. Количество сырого протеина в концентрате «Горlinka» зафиксировано на уровне 38,2 %, что превосходит подсолнечный жмых на 1,8 % (36,4 %). Кроме того, в концентрате «Горlinka» наблюдалось несколько высокое содержание сырой золы (на 0,2 %) и БЭВ (на 3,1 %) по сравнению со жмыхом. Общее количество исследуемых аминокислот в горчичном концентрате «Горlinka» на 3,21 % превышает соответствующий показатель в подсолнечном жмыхе. Полученные нами данные подтверждают, что нутриентная ценность исследуемого концентрата позволяет использовать его в комбикормах для рыб в качестве альтернативы подсолнечному жмыху.

Для специалистов в области зоотехнии живая масса животных является ключевым показателем. Он показывает насколько хорошо себя чувствует животное, насколько оно продуктивно и как хорошо приспосабливается к окружающей среде. Этот показатель служит своеобразным индикатором, отражающим как состояние животного, так и результативность кормовых рационов, а также прогресс в селекционно-племенной работе [7]. Рыбоводные показатели выращивания карпа представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Рыбоводные показатели выращивания карпа ($M \pm m$) ($n = 80$)
Table 2 – Fish farming indicators of carp cultivation ($M \pm m$) ($n = 80$)

Показатель / Indicator		Группа / Group			
		контрольная / control	1-я опытная / 1 experimental	2-я опытная / 2 experimental	3-я опытная / 3 experimental
Живая масса, г / Live weight, g	Начало опыта / The beginning of the experiment	706,18 $\pm$ 6,24	705,27 $\pm$ 6,12	704,49 $\pm$ 5,49	707,52 $\pm$ 5,28
	Конец опыта / The end of the experiment	1610,39 $\pm$ 11,64	1687,88 $\pm$ 11,49**	1705,89 $\pm$ 11,40**	1728,59 $\pm$ 10,80***
Прирост, г / Increase, g	Общий / General	904,21	982,61	1001,40	1021,07
	Среднесуточный / Average daily	4,97	5,40	5,50	5,610
Кормовой коэффициент / Feed ratio		1,58	1,41	1,35	1,33
Сохранность, % / Safety, %		92,50	93,75	95,00	95,00

Контрольная группа: в конце эксперимента живая масса карпа в контрольной группе составила 1 610,39 г. Эта группа рыб получала в составе комбикорма только подсолнечный жмых.

1-я опытная группа: карпы, получавшие рацион с 50 % заменой подсолнечного жмыха на горчичный концентрат «Горlinka», показали среднюю живую массу – 1 687,88 г. Это на 4,81 % (77,49 г) больше, чем в контрольной группе. Разница между признаками является статистически значимой с уровнем достоверности $P > 0,99$.

2-я опытная группа: в этой группе также наблюдалось повышение данного показателя, который составил 1 705,89 г. Разница по сравнению с контрольной группой рыб составила 95,5 г, или 5,93 %. Эта разница была отмечена как статистически значимая с уровнем достоверности $P > 0,99$.

3-я опытная группа: наиболее высокий результат был отмечен у рыб, получавших комбикорм, где подсолнечный жмых был полностью заменен горчичным концентратом «Горлинка». Живая масса карпа достигла 1 728,59 г. Важно отметить, что эта группа показала достоверную разницу по сравнению с контрольной группой на уровне $P > 0,999$, составившую 118,2 г, или 7,34 %.

Проведенные исследования показали, что горчичный концентрат «Горлинка» оказывает значительное положительное воздействие на прирост живой массы карпа. Полное замещение подсолнечного жмыха горчичным концентратом «Горлинка» в рационе рыб 3-й опытной группы, продемонстрировало наиболее выраженное и статистически подтвержденное увеличение их веса.

Впоследствии мы изучили ключевые параметры, такие как общий и среднесуточный привес карпа. В течение эксперимента было зафиксировано существенное увеличение массы тела в различных экспериментальных группах карпа. Рыба из контроля имела средний привес по группе – 904,21 г, в то время как 1-я опытная группа показала привес 982,61 г, что на 78,40 г и 8,67 % выше по сравнению с контролем. 2-я опытная группа достигла привеса в 1 001,4 г, что превосходит результаты контрольной группы на 97,19 г (10,75 %). Наилучшие результаты были получены у карпа в 3-й опытной группе – 1 021,07 г, что больше, чем у контрольных аналогов на 116,86 г (12,92 %) (рисунок 1).

Данные свидетельствуют о том, что разработанные комбикорма с исследуемым концентратом «Горлинка» эффективно способствуют увеличению массы карпа. Заметно более активный рост у карпа наблюдается при добавлении большего количества концентрата «Горлинка» в комбикорма.

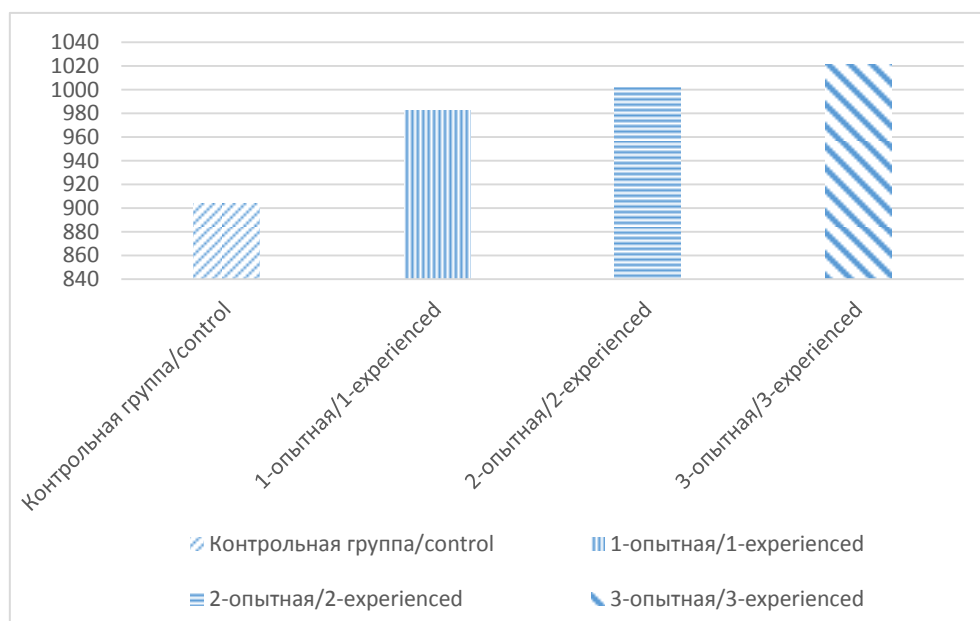


Рисунок 1 – Общий прирост живой массы карпа подопытных групп, г
Figure 1 – Total increase in live weight of carp in experimental groups, g

За весь опыт у рыб контрольной группы среднесуточный прирост составил 4,97 г, а в 1-й, 2-й и 3-й опытной соответственно 5,40 г, 5,50 г и 5,61 г, что выше на 0,43 г (8,67 %), 0,53 г (10,75 %) и 0,64 г (12,92 %).

Было зафиксировано в опытных группах рыб улучшение эффективности использования корма по сравнению с контрольной группой. В 1-й опытной группе кормовой коэффициент уменьшился на 0,17 (снижение на 10,76 %), во 2-й опытной – на 0,23 (уменьшение на 14,56 %), а в 3-й опытной – на 0,25 (сокращение на 15,82 %).

Процент выживаемости взрослых рыб в контрольной группе достиг 92,5 %. В 1-й опытной группе этот показатель оказался равным 93,75 %, что превышает контрольное значение на 1,25 %. Во 2-й и 3-й опытной группах выживаемость карпов была идентичной (95 %) и превосходила контрольный показатель на 2,50 %.

Высокое содержание легкоусвояемого белка делает филе карпа весьма ценным продуктом. Отличительной особенностью рыбного мяса, по сравнению с мясом сельскохозяйственных животных и птиц, является его значительно более высокая степень биодоступности, достигающая 97 %. Нами были проанализированы потребительские свойства карпа после проведения эксперимента (таблица 3).

Таблица 3 – Морфологическая характеристика подопытных рыб ($M \pm m$) ($n = 6$)Table 3 – Morphological characteristics of experimental fish ($M \pm m$) ($n=6$)

Показатель / Indicator	Группа / Group			
	контрольная / control	1-я опытная / 1 experimental	2-я опытная / 2 experimental	3-я опытная / 3 experimental
Живая масса перед убоем, г / Live weight before slaughter, g	1617,82 $\pm$ 20,04	1670,60 $\pm$ 18,21	1704,90 $\pm$ 19,87**	1730,76 $\pm$ 17,99**
Вес тушки, г / Carcass weight, g	1113,55 $\pm$ 17,86	1151,88 $\pm$ 16,93	1176,55 $\pm$ 17,81*	1197,17 $\pm$ 16,94**
Убойный выход, % / A killer exit, %	68,83 $\pm$ 0,25	68,95 $\pm$ 0,27	69,01 $\pm$ 0,24	69,17 $\pm$ 0,26
Выход мускулатуры, г / Muscle output, g	1039,77 $\pm$ 16,31	1058,99 $\pm$ 14,90	1083,80 $\pm$ 16,63	1103,19 $\pm$ 15,06*
Съедобные части тушки, г / Edible parts of the carcass, g	1088,47 $\pm$ 15,94	1125,48 $\pm$ 14,84	1150,13 $\pm$ 15,76*	1170,34 $\pm$ 14,39**
Несъедобные части тушки, г / Inedible carcass parts, g	529,35 $\pm$ 4,11	545,12 $\pm$ 3,42*	554,77 $\pm$ 4,18**	560,42 $\pm$ 3,63**

Включение белкового кормового концентрата «Горlinka» на основе горчицы в состав кормов вызвало увеличение веса тушки в 1-й, 2-й и 3-й опытных группах, относительно контрольной, на 38,33 г (3,44 %), 63,00 г (5,66 %) и 83,62 г (7,51 %) соответственно.

У рыб контрольной группы убойный выход был зафиксирован на уровне 68,83 %, тем временем в 1-й опытной группе был больше на 0,12 %, во 2-й – на 0,18 %, а в 3-й – на 0,34 %.

Кроме того, отмечалось увеличение съедобных частей тушки в опытных группах по соизмерению с контрольными аналогами, так в 1-й опытной группе на 37,01 г (3,40 %), во 2-й опытной группе – на 61,66 г (5,66 %) и в 3-й опытной группе – на 81,87 г (7,52 %) по сравнению с контрольной группой.

Введение горчичного концентрата «Горlinka», обогащенного белком, в рацион карпа способствует существенному улучшению его мясных качеств.

Филе карпа представляет собой пищевой продукт высокой ценности благодаря своему богатому содержанию витаминов, аминокислот и минералов [11]. В таблице 4 представлен химический состав мяса карпа.

Таблица 4 – Химический состав филе карпа, ($M \pm m$) ($n=6$)Table 4 – Chemical composition of carp fillets, ($M \pm m$) ($n=6$)

Показатель / Indicator	Группа / Group			
	контрольная / control	1-я опытная / 1 experimental	2-я опытная / 2 experimental	3-я опытная / 3 experimental
Влага, % / Moisture, %	76,56 $\pm$ 0,49	76,30 $\pm$ 0,48	76,18 $\pm$ 0,37	76,01 $\pm$ 0,36
Сухое вещество, % / Dry matter, %	23,44 $\pm$ 0,49	23,7 $\pm$ 0,48	23,82 $\pm$ 0,37	23,98 $\pm$ 0,36
Белок, % / Protein, %	20,02 $\pm$ 0,26	20,19 $\pm$ 0,26	20,26 $\pm$ 0,19	20,32 $\pm$ 0,23
Жир, % / Fat, %	2,17 $\pm$ 0,16	2,22 $\pm$ 0,16	2,24 $\pm$ 0,11	2,31 $\pm$ 0,09
Зола, % / Ash, %	1,25 $\pm$ 0,07	1,29 $\pm$ 0,06	1,32 $\pm$ 0,07	1,35 $\pm$ 0,05

В рыбе опытных групп доля сухого вещества варьировалась от 0,26 до 0,54 % относительно контрольной группы. Уровень белка в мышечной ткани рыб 1-й, 2-й и 3-й опытных групп превышал контрольные показатели на 0,17 %, 0,24 % и 0,30 % соответственно. Концентрация липидов в исследуемом филе карпов опытных групп оказалась выше на 0,05-0,14 % по сравнению с рыбой из контрольной группы.

Также отмечалось увеличение количества неорганических веществ в филе рыбы 1-й, 2-й и 3-й опытных групп в сравнении с контролем, с разницей в 0,04 %, 0,07 % и 0,01 % соответственно. Общее количество заменимых и незаменимых аминокислот в мышечной ткани рыб наглядно демонстрируется на рисунках 2 и 3.

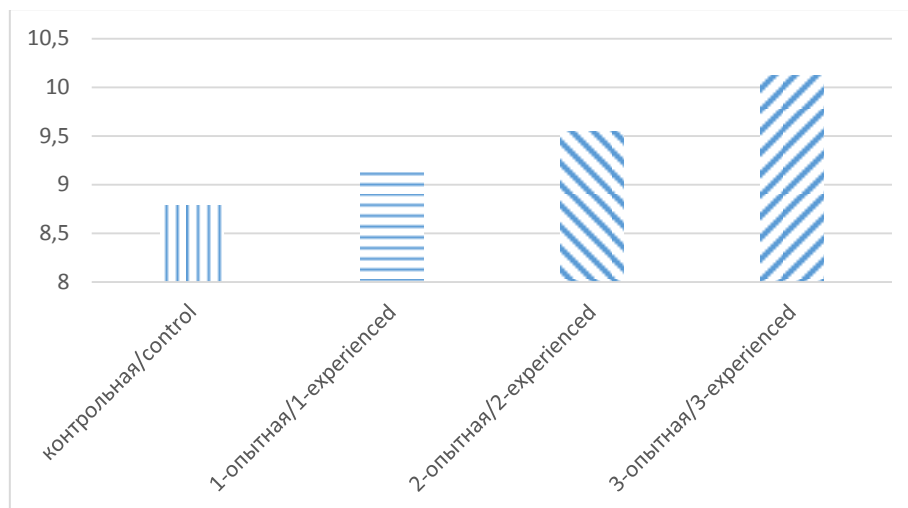


Рисунок 2 – Сумма незаменимых аминокислот в филе рыбы, %
Figure 2 – The amount of essential amino acids in fish fillets, %

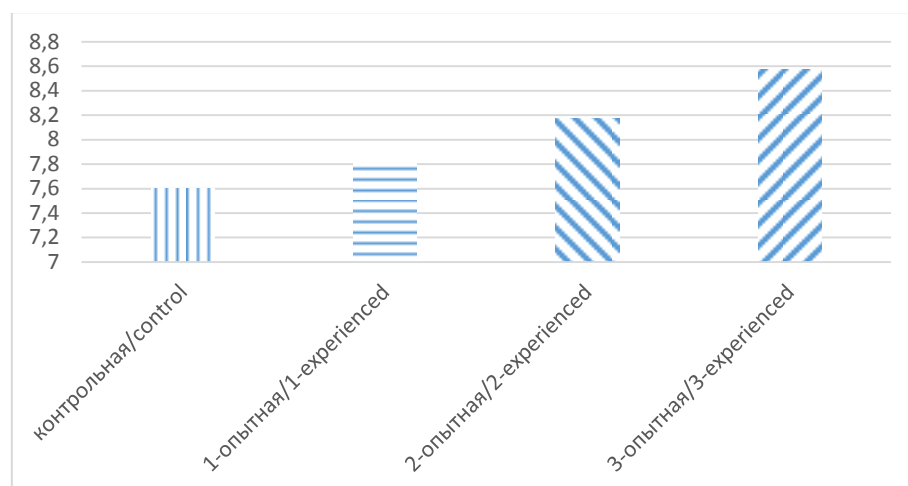


Рисунок 3 – Сумма заменимых аминокислот в филе карпа, %
Figure 3 – The amount of essential amino acids in carp fillet, %

В филе карпов опытных групп зафиксировано увеличение содержания незаменимых аминокислот по сравнению с контрольной группой: на 0,34 % в первой группе, на 0,77 % во второй и на 1,34 % в третьей. Это свидетельствует об усилении синтеза этих важных соединений благодаря включению белоксодержащего кормового концентрата «Горlinkка» в рацион карпов. Аналогичная тенденция наблюдалась и в отношении заменимых аминокислот, где их концентрация в филе карпов из первой, второй и третьей опытных групп превосходила контрольные значения на 0,22 %, 0,57 % и 0,97 % соответственно.

Общее количество изученных аминокислот в мышечной ткани рыб контрольной группы составило 16,38 %. В то же время, в первой опытной группе этот показатель достиг 16,94 %, во второй – 17,72 %, а в третьей – 18,69 %. Таким образом, содержание аминокислот в опытных группах превышало контрольный уровень на 0,56 %, 1,34 % и 2,31 % соответственно.

Белок филе карпа контрольной, а также 1-й, 2-й и 3-й опытной групп не имел аминокислотного сора меньше 100 %, т. е. отсутствовали лимитирующие аминокислоты, что говорит о том, что белок мышечной ткани является полноценным. Это указывает на высокую

пищевую ценность продукта, способного обеспечивать организм всеми необходимыми аминокислотами для синтеза собственных белков и поддержания жизненно важных функций. Данные по аминокислотному скору представлены в таблице 5.

Результаты анализа подтверждают, что рыба является ценным источником белка, что делает ее важной составляющей сбалансированного рациона питания для человека.

Таблица 5 – Аминокислотный скор, % ($M \pm m$) ($n=6$)Table 5 – Amino acid score, % ($M \pm m$) ($n=6$)

Показатель / Indicator	Группа/Group			
	контрольная / control	1-я опытная / 1 experimental	2-я опытная / 2 experimental	3-я опытная / 3 experimental
Валин / Valin	147,56 $\pm$ 7,94	149,00 $\pm$ 6,21	154,45 $\pm$ 5,22	174,91 $\pm$ 3,67*
Изолейцин+лейцин / Isoleucine+Leucine	147,47 $\pm$ 5,98	147,52 $\pm$ 4,75	150,24 $\pm$ 5,13	153,14 $\pm$ 4,74
Лизин / Lysine	213,85 $\pm$ 11,26	219,27 $\pm$ 11,73	226,91 $\pm$ 10,33	240,25 $\pm$ 9,49
Треонин / Threonine	194,47 $\pm$ 14,82	197,79 $\pm$ 16,58	197,76 $\pm$ 13,30	210,30 $\pm$ 9,70
Триптофан / Tryptophan	116,55 $\pm$ 15,06	134,56 $\pm$ 16,18	142,32 $\pm$ 13,57	167,32 $\pm$ 14,99
Гистидин / Histidine	100,42 $\pm$ 9,57	114,02 $\pm$ 9,16	117,23 $\pm$ 11,74	133,80 $\pm$ 10,17*

Филе карпа опытных групп в соизмерении с контрольными аналогами имело лучший аминокислотный скор: валина – на 1,44-27,35 %, изолейцина+лейцина – на 0,05-5,67 %, лизина – на 5,42-26,40 %, треонина – на 3,32-15,83 %, триптофана – на 18,01-50,77 %, гистидина – на 13,60-33,38 %.

Биологическая ценность мяса представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Биологическая ценность филе рыбы, ($M \pm m$) ($n = 6$)Table 6 – Biological value of fish filets, ($M \pm m$) ($n=6$)

Показатель / Indicator	Группа / Group			
	контрольная / control	1-я опытная / 1 experimental	2-я опытная / 2 experimental	3-я опытная / 3 experimental
Сумма РАС / The sum of the RACES	317,80 $\pm$ 10,10	277,83 $\pm$ 10,28*	285,56 $\pm$ 13,50	276,94 $\pm$ 14,75
КРАС / Coefficient of difference in amino acid composition	52,97 $\pm$ 1,68	46,30 $\pm$ 1,71*	47,59 $\pm$ 2,25	46,16 $\pm$ 2,46
БЦ / Biological value	47,03 $\pm$ 1,68	53,70 $\pm$ 1,71*	52,41 $\pm$ 2,25	53,84 $\pm$ 2,46

Исследование с использованием коэффициента различия аминокислотного состава (КРАС) выявило, что мясо карпа из опытных групп, рацион которых включал белковый концентрат «Гор-linka», демонстрировало меньшие отклонения в аминокислотном профиле по сравнению с контрольной группой. Данный факт свидетельствует о повышении биологической ценности мяса в опытных вариантах кормления. В опытных группах биологическая ценность филе карпа оказалась выше, чем в контрольной группе, так наблюдалось увеличение на 6,67 % в 1-й опытной группе (до 53,70 %), на 5,38 % во 2-й опытной (до 52,41 %) и на 6,81 % в 3-й опытной (до 53,84 %).

Следовательно, можно заключить, что добавление белоксодержащего кормового концентрата «Гор-linka» в рацион рыб способствовало формированию более сбалансированного аминокислотного профиля в их филе.

Заключение. В комбикормах частичная или полная замена подсолнечного жмыха кормовым концентратом «Гор-linka» положительно повлияла на показатели рыбоводства в опытных группах карпа. В конце исследования было установлено, что живая масса карпа в контрольной группе составила 1 610,39 г, тогда как в экспериментальных группах она была больше на 77,49-118,2 г (4,81-7,34 %). Кроме того, было выявлено, что общий прирост массы также был выше на 78,40-116,86 г, или на 8,67-12,92 %. Также было зафиксировано у рыбы в опытных группах снижение кормового коэффициента на 0,17-0,25, или на 10,76-15,82 % по сравнению с контрольными аналогами. Выживаемость карпа в 1-й опытной группе составила 93,75 %, что превышает показатель контрольной группы на 1,25 %. Во 2-й и 3-й опытной группах этот показатель был на уровне 95 %, что выше контроля на 2,50 %. Применение кормового концентрата «Гор-linka» положительно сказалось на увеличении убойного выхода тушек на 0,12-0,34 % и выхода съедобных частей тушки на 37,01-81,87 г (3,40-7,52 %). Питательная ценность филе карпа в опытных группах, по сравнению с контролем, была лучше: содержание сырого протеина увеличилось на 0,17-0,30 %, жира на 0,05-0,14 %, неорганических веществ на 0,04-0,10 %, ами-

нокислот на 0,56-2,31 %, а биологическая ценность – на 6,67-6,81 %. На основе проведенных исследований можно заключить, что применение белкового концентрата «Горлинка» в комбикормах для карпа положительно влияет на рыбоводные показатели и качество рыбной продукции.

Conclusion. In compound feeds, partial or complete replacement of sunflower oil cake with «Gorlinka» feed concentrate had a positive effect on fish farming performance in the experimental carp groups. At the end of the study, it was found that the live weight of carp in the control group was 1610.39 g, while in the experimental groups it was higher by 77.49-118.2 g (4.81-7.34 %). In addition, it was found that the total weight gain was also higher by 78.40-116.86 g, or by 8.67-12.92 %. The fish in the experimental groups also showed a decrease in the feed coefficient by 0.17-0.25, or by 10.76-15.82 % compared with the control analogues. The survival rate of carp in the 1st experimental group was 93.75 %, which exceeds the indicator of the control group by 1.25 %. In the 2nd and 3rd experimental groups, this indicator was at the level of 95%, which is 2.50 % higher than the control. The use of «Gorlinka» feed concentrate had a positive effect on increasing the slaughter yield of carcasses by 0.12-0.34 % and the yield of edible carcass parts by 37.01-81.87 g (3.40-7.52 %). The nutritional value of carp fillets in the experimental groups, compared with the control, was better: the content of crude protein increased by 0.17-0.30 %, fat by 0.05-0.14 %, inorganic substances by 0.04-0.10 %, amino acids by 0.56-2.31 %, and biological value – by 6.67-6.81 %. Based on the conducted research, it can be concluded that the use of «Gorlinka» protein concentrate in compound feeds for carp has a positive effect on fish farming performance and the quality of fish products.

Библиографический список

1. Анподист А. В., Поддубная И. В., Зименс Ю. Н. Эффективность использования концентрата рапсового белка в кормлении радужной форели. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 1 (79). С. 340-348.
2. Буряков Н. и др. Белковый концентрат на основе люпина в кормлении тилапии. Комбикорма. 2022. № 4. С. 37-39.
3. Бибииков С. О. и др. Влияние амарантового жмыха на продуктивные качества товарного карпа. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2024. Т. 16. № 1. С. 12-18.
4. Буряков Н. П. и др. Выращивание тилапии на кормах с различным уровнем белкового концентрата "Агро-Матик". Агрозоотехника. 2022. Т. 5. № 1.
5. Власов А. С. и др. Использование продуктов переработки семян масличных культур в комбикормах для сельскохозяйственной птицы и объектов аквакультуры. Главный зоотехник. 2023. № 5 (238). С. 22-32.
6. Кучихин Ю. А., Размочаев Е. А. Исследование использования рапсового жмыха в составе комбикормов для радужной форели. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2023. № 4. С. 199-204.
7. Николаев С. И. и др. Оценка эффективности влияния белковых концентратов на химический состав мяса рыб. Главный зоотехник. 2024. № 2 (247). С. 24-35.
8. Николаев С. И. и др. Применение высокобелковых нетрадиционных кормовых источников в рецептурах комбикормов для радужной форели. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1 (69). С. 339-345.
9. Буряков Н. П. и др. Результаты выращивания молоди тилапии на кормах с различным уровнем белкового концентрата "Агро-Матик". Зоотехния. 2022. № 1. С. 31-35.
10. Берестенев И. И. и др. Рыбоводно-биологические показатели тилапии разной начальной массы при скармливании комбикорма «Агро-Матик». Кормопроизводство. 2023. № S11. С. 68-72.
11. Al-Jubawi E. Y., Al-Humairi K. O. Effect of adding the growth promoter Bio Boost Aqua to fermented diets to improve the dietary value and productive performance of common carp, *Cyprinus carpio* L. Journal of Aquatic Biology. 2024. V. 12. № 2. Pp. 195-204.
12. Baturevych O., Bersan T. Productive and economic efficiency of rearing table carp with the use of non-traditional feed additives. Fisher. Sci. of Ukraine. 2020. V. 2. № 52. Pp. 86-96.
13. Kari Z. A. Palm date meal as a non-traditional ingredient for feeding aquatic animals: a review. Aquaculture Reports. 2022. V. 25. Art. 101233.
14. Kuebutornye F. K. A. Plant-based feed additives in *Cyprinus carpio* aquaculture. Reviews in Aquaculture. 2024. V. 16. № 1. Pp. 309-336.

References

1. Anpodist A. V., Poddubnaya I. V., Zimens Yu. N. Ambiguities of the giant concentrate rhapsodic Belka in the steering wheel. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. № 1 (79). Pp. 340-348.
2. Buryakov N. et al. Protein concentrate based on lupin in feeding tilapia. Compound feed. 2022. No. 4. Pp. 37-39.
3. Bibikov S. O. et al. The effect of amaranth cake on the productive qualities of commercial carp. Bulletin of the Rязan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2024. Vol. 16. No. 1. Pp. 12-18.
4. Buryakov N. P. et al. Growing tilapia on feed with different levels of protein concentrate "Агро-Матик". Agrozootechnics. 2022. V. 5. No. 1.
5. Vlasov A. S. et al. Use of oilseed processing products in compound feed for poultry and aquaculture facilities. Chief Zootechnician. 2023. No. 5 (238). Pp. 22-32.
6. Kuchikhin Yu. A., Razmochayev E. A. Research on the use of rapeseed cake in compound feed for rainbow trout. Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex – Healthy Food Products. 2023. No. 4. Pp. 199-204.

7. Nikolaev S. I. et al. Evaluation of the Effectiveness of Protein Concentrates on the Chemical Composition of Fish Meat. *Glavny Zooteknik*. 2024. No. 2 (247). Pp. 24-35.
8. Nikolaev S. I. et al. Application of High-Protein Non-Traditional Feed Sources in the Formulation of Feed for Rainbow Trout. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo Agrouniversitetskogo Kompleksa: Nauka i Vysshee Professional'noe Obrazovanie*. 2023. No. 1 (69). Pp. 339-345.
9. Buryakov N. P. et al. Results of growing juvenile tilapia on feed with different levels of protein concentrate "Agro-Matik". *Zootekniks*. 2022. No. 1. Pp. 31-35.
10. Berestenev I. I. et al. Fishery and biological indicators of tilapia of different initial weight when fed with Agro-Matik compound feed. *Feed Production*. 2023. No. S11. Pp. 68-72.
11. Al-Jubawi E. Y., AL-Humairi K. O. Effect of adding the growth promoter Bio Boost Aqua to fermented diets to improve the dietary value and productive performance of common carp, *Cyprinus carpio* L. *Journal of Aquatic Biology*. 2024. V. 12. №. 2. Pp. 195-204.
12. Baturevych O., Bersan T. Productive and economic efficiency of rearing table carp with the use of non-traditional feed additives. *Fisher. Sci. of Ukraine*. 2020. V. 2. №. 52. Pp. 86-96.
13. Kari Z. A. Palm date meal as a non-traditional ingredient for feeding aquatic animals: a review. *Aquaculture Reports*. 2022. V. 25. Art. 101233.
14. Kuebutornye F. K. A. Plant-based feed additives in *Cyprinus carpio* aquaculture. *Reviews in Aquaculture*. 2024. V. 16. №. 1. Pp. 309-336.

Информация об авторах

Андреева Ирина Александровна, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), специалист, ГНЦ РФ ФГБНУ Средневолжский филиал «ВНИРО» («Средневолжский») (Российская Федерация, 400001, г. Волгоград, ул. Пугачевская, 1), e-mail: andreeva.ishka@volgograd.vniro.ru
Карапетын Анжела Кероповна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: a.k.karapetyan@bk.ru
Николаев Сергей Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru
Чехранова Светлана Викторовна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: schekhranova@mail.ru
Морозова Елена Анатольевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: eamorozova.vlg@mail.ru
Даниленко Ирина Юрьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: taranova_15@mail.ru
Водяниккова Вера Владимировна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: vera.Vodyannikova@mail.ru

Authors' Information

Andreeva Irina Aleksandrovna, Graduate Student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, University Avenue, 26), Specialist, VNIRO Srednevolzhsky Branch («Srednevolzhsky») (Russian Federation, 400001, Volgograd, Pugachevskaya str., 1), e-mail: andreeva.ishka@volgograd.vniro.ru
Karapetyan Angela Keropovna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, University Avenue, 26), e-mail: a.k.karapetyan@bk.ru
Nikolaev Sergey Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, University Avenue, 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru
Chehranova Svetlana Victorovna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, University Avenue, 26), e-mail: schekhranova@mail.ru
Morozova Elena Anatolievna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, University Avenue, 26), e-mail: eamorozova.vlg@mail.ru
Danilenko Irina Yurievna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, University Avenue, 26), e-mail: taranova_15@mail.ru
Vodyannikova Vera Vladimirovna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, University Avenue, 26), e-mail: vera.Vodyannikova@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-48

THE COWS' AGE-RELATED DYNAMICS OF MILK PRODUCTION DEPENDING ON THEIR LINEAR AFFILIATION

¹Gilev V. A., ²Fedorova E. Yu., ¹Chekhhranova S. V., ¹Nikolaev S. I.,
¹Vodyannikova V. V., ¹Vorontsova E. S., ¹Popova E. M.

¹Volgograd State Agrarian University
 Volgograd, Russian Federation

²Moscow City Pedagogical University
 Moscow, Russian Federation

Corresponding author E-mail: schekhranova@mail.ru

Received 25.12.2025

Submitted 26.03.2026

The study was conducted within the framework of the agreement dated 14.05.2018 no. D/A-2429-18 on the topic: "The effect of using a granular mineral and vitamin complex in cattle diets".

Abstract

Introduction. In the practice of cattle breeding, it is customary to compare the milk productivity of young cows with the productivity of "full-aged" cows, since milk productivity changes with age. The purpose of the research is to study the dynamics of dairy productivity of cows during the first three lactation periods, de-

pending on their lineage. **Materials and methods.** The object of research was Holstein cows with three completed lactation periods. In the course of the research, data on milk yield for 305 days of lactation, live weight, content and yield of fat and protein in milk were analyzed, depending on the lactation number and the linear affiliation of cows using statistical methods. The total number of cows participating in the research amounted to 286 heads, 151 of them belonging to the Reflection Sovering 198998 line, 135 cows belonging to the Vis Back Ideal 1013415 line. **Results and conclusions.** With age, Holstein cows, regardless of their lineage, tend to have abundant milk production, which is explained by their high genetic potential. The reliable superiority in milk yield for 305 days following the results of the 3rd lactation over the results of the 1st lactation in cows on the Reflection Sovering 198998 line was 51.67 %, and the Vis Back Ideal 1013415 line was 51.41 %. An increase in body weight and milk abundance was accompanied by an increase in the lactation coefficient by an average of 34.0 % by the 3rd lactation. In addition to the increase in milk yields, there is a change in the quality of milk with age. Thus, there was an increase in the mass fraction of fat in milk by the 3rd lactation compared with the 1st by 0.20-0.23 percentage points with a high probability in cows of the analyzed lines. There were no regular changes in the mass fraction of protein, this indicator decreased from the 1st to the 2nd lactation, and increased from the 2nd to the 3rd, regardless of the linear affiliation of cows. At the same time, the yield of fat and protein in milk from cows for the 3rd lactation was significantly higher compared with similar indicators for the 1st and 2nd lactation. Thus, in the course of research, a significant influence of the age of cows was found.

Keywords: dairy productivity of cows, Holstein cattle breed, Holstein cows, cows line affiliation.

Citation. Gilev V. A., Fedorova E. Yu., Chekhranova S. V., Nikolaev S. I., Vodyannikova V. V., Vorontsova E. S., Popova E. M. The cows' age-related dynamics of milk production depending on their linear affiliation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 442-452 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-48.

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 final version presented.

Conflict of interest. The authors did not declare a conflict of interest.

УДК 636.2.034+636.2.082

ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКА МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ КОРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ЛИНЕЙНОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

¹Гилев В. А., аспирант

²Федорова Е. Ю., доктор биологических наук, доцент

¹Чехранова С. В., доктор сельскохозяйственных наук, доцент

¹Николаев С. И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹Водяникова В. В., доктор биологических наук, доцент

¹Воронцова Е. С., кандидат биологических наук

¹Попова Е. М., аспирант

¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

²Государственное автономное образовательное учреждение высшего образования города Москвы
«Московский городской педагогический университет»

г. Москва, Российская Федерация

Исследование проведено в рамках договора от 14.05.2018. По Д/А-2429-18 по теме: "Влияние использования гранулированного минерально-витаминного комплекса в рационах крупного рогатого скота".

Актуальность. В практике скотоводства принято сравнивать показатели молочной продуктивности молодых коров с продуктивностью «полновозрастных» коров, так как с возрастом молочная продуктивность изменяется. Цель исследований – изучение динамики молочной продуктивности коров за первые три лактации в зависимости от их линейной принадлежности. **Материалы и методы.** Объектом исследований служили коровы голштинской породы, имеющие три законченных лактации. В ходе исследований были проанализированы данные по удою за 305 дней лактации, живой массе, содержанию и выходу жира и белка молока в зависимости от номера лактации и линейной принадлежности коров с использованием статистических методов. Общее поголовье коров, участвовавших в исследованиях, составило 286 голов, из них принадлежащих к линии Рефлекшн Соверинг 198998 – 151 корова, к линии Вис Бэк Айдиал 1013415 – 135 коров. **Результаты и выводы.** С возрастом у голштинских коров независимо от их линейной принадлежности имеется тенденция к обильномолочности, что объясняется высоким генетическим потенциалом. Достоверное превосходство по удою за 305 дней по итогам 3-й лактации над результатами 1-й лактации у коров по линии Рефлекшн Соверинг 198998 составило 51,67 %, линии Вис Бэк Айдиал 1013415 – 51,41 %. Увеличение живой массы и обильномолочности сопровождалось повышением коэффициента молочности в среднем на 34,0 % к 3-й лактации. Помимо увеличения удоев с возрастом отмечается изменение и качественных пока-

зателей молока. Так, отмечалось повышение массовой доли жира в молоке к 3-й лактации по сравнению с 1-й на 0,20-0,23 п. п. с высокой долей вероятности у коров анализируемых линий. По массовой доле белка закономерных изменений не выявлено, данный показатель снижался от 1-й ко 2-й лактации, а от 2-й к 3-й увеличивался независимо от линейной принадлежности коров. При этом выход жира и белка в молоке от коров за 3-ю лактацию был достоверно выше по сравнению с аналогичными показателями за 1-ю и 2-ю лактации. Таким образом, в ходе исследований обнаружено достоверное влияние возраста коров как на удой, так и на качественные показатели молока.

Ключевые слова: молочная продуктивность коров, голштинская порода КРС, коровы голштинской породы, линейная принадлежность коров.

Цитирование. Гилев В. А., Федорова Е. Ю., Чехранова С. В., Николаев С. И., Водяникова В. В., Воронцова Е. С., Попова Е. М. Возрастная динамика молочной продуктивности коров в зависимости от их линейной принадлежности. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 442-452. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-48.

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 настоящее время на передовых сельскохозяйственных предприятиях в отрасли молочного скотоводства, обладающей динамичным развитием, создаются высокотехнологичные условия содержания, используются сбалансированные высокоэнергетические рационы, что способствует постоянному повышению продуктивности животных и обеспечивает устойчивое увеличение производства продукции [2].

Увеличение продуктивности животных в значительной степени зависит от совершенствования племенных, продуктивных и технологических качеств разводимых пород [1]. Селекционная работа направлена на получение животных, которые способны проявить стабильно высокую молочную продуктивность на протяжении всего периода хозяйственного использования в условиях интенсивной технологии, при более полном проявлении генетических ресурсов. Получение высокопродуктивного молочного поголовья с заданными качествами является результатом селекции крупного рогатого скота по хозяйственно-полезным признакам. При этом необходимо уметь спрогнозировать возрастные изменения продуктивных качеств животного [10].

В практике скотоводства принято сравнивать показатели молочной продуктивности молодых коров с продуктивностью «полновозрастных» коров, так как с возрастом молочная продуктивность растёт, затем стабилизируется на определённом максимуме и со старением животного снижается [6, 13].

Результаты научных исследований и практика лучших хозяйств в молочном скотоводстве подтверждают, что нарастание удоя происходит до 5-6 лактации, причём происходит оно неравномерно не только в породах и типах животных, но и в линиях [4, 11].

Для эффективности проводимой селекционно-племенной работы с крупным рогатым скотом необходимо иметь понимание возможной изменчивости продуктивных показателей животных под воздействием условий окружающей среды, особенностей наследования хозяйственно-полезных признаков, а также в зависимости от возраста животных [5, 12].

Целью исследований стало изучение динамики молочной продуктивности коров за первые три лактации в зависимости от их линейной принадлежности.

Материалы и методы. Объектом исследований служили коровы голштинской породы, имеющие три законченных лактации. Материалом для оценки возрастной динамики продуктивности коров служили данные из отчетов базы данных программы «Селэкс», полученных от одного из животноводческих комплексов ООО «ЭкоНиваАгро». В ходе исследований был проанализирован цифровой материал по удою за 305 дней лактации, живой массе, содержанию и выходу жира и белка молока в зависимости от номера лактации и линейной принадлежности коров с использованием статистических методов. Общее поголовье коров, участвовавших в исследованиях, составило 286 голов, из них принадлежащих к линии Рефлексн Соверинг 198998 – 151 корова, к линии Вис Бэк Айдиал 1013415 – 135 коров. Был произведен расчет коэффициентов молочности, а также стандартного отклонения и коэффициентов вариации по всем анализируемым показателям. Все данные, полученные в ходе исследований, были подвергнуты биометрической обработке с расчетом статистических показателей и установлением достоверности разницы между показателями в зависимости от возраста по таблице критических значений критерия Стьюдента.

Результаты исследований и их обсуждение. При организации селекционной работы в скотоводстве важное значение имеет проведение оценки молочной продуктивности коров, принимая во внимание данные об их происхождении (генотипе), поскольку признаки молочной продуктивности наследуются потомками от их родителей, а также возраст животных [8].

В связи с вышесказанным, для оценки возрастной динамики молочной продуктивности коровы были сгруппированы согласно их линейной принадлежности (таблица 1).

Таблица 1 – Молочная продуктивность и коэффициент молочности за три первых лактации в зависимости от линейной принадлежности коров

Table 1 – Milk production and milk yield coefficient for the first three lactations, depending on the line of origin of the cows

Показатель / Indicator	Линия / Line of origin					
	Рефлексн Соверинг 198998 n = 151 / Reflection Sovering 198998 n = 151			Вис Бэк Айдиал 1013415 n = 135 / Vis Back Ideal 1013415 n = 135		
	X ± Sx	σ	C _v , %	X ± Sx	σ	C _v , %
1-я лактация / lactation 1						
Удой за 305 дней лактации, кг / Yield per 305 days of lactation, kg	9 201,34 ± 89,18	1 095,91 ± 63,06	11,91 ± 0,69	9 106,22 ± 90,03	1 046,00 ± 63,66	11,49 ± 0,70
Живая масса, кг / Live weight, kg	521,95 ± 2,08	25,56 ± 1,47	4,90 ± 0,28	521,22 ± 2,23	25,89 ± 1,58	4,97 ± 0,30
Коэффициент молочности, кг / The coefficient of milk content, kg	1 762,94 ± 15,55	191,06 ± 10,99	10,84 ± 0,62	1 748,45 ± 16,55	192,30 ± 11,70	11,00 ± 0,67
2-я лактация / lactation 2						
Удой за 305 дней лактации, кг / Yield per 305 days of lactation, kg	12 642,00 ± 122,39	1 503,96 ± 86,54	11,90 ± 0,68	12 366,63 ± 129,22	1 501,44 ± 91,37	12,14 ± 0,74
Живая масса, кг / Live weight, kg	548,72 ± 1,39	17,10 ± 0,98	3,12 ± 0,18	547,23 ± 1,35	15,72 ± 0,96	2,87 ± 0,17
Коэффициент молочности, кг / The coefficient of milk content, kg	2 304,01 ± 21,57	265,00 ± 15,25	11,50 ± 0,66	2 259,41 ± 22,52	261,61 ± 15,92	11,58 ± 0,70
3-я лактация / lactation 3						
Удой за 305 дней лактации, кг / Yield per 305 days of lactation, kg	13 955,51 ± 125,04	1536,52 ± 88,42	11,01 ± 0,63	13 788,26 ± 127,85	1 485,47 ± 90,40	10,77 ± 0,66
Живая масса, кг / Live weight, kg	588,71 ± 1,42	17,44 ± 1,00	2,96 ± 0,17	587,49 ± 1,45	16,88 ± 1,03	2,87 ± 0,17
Коэффициент молочности, кг / The coefficient of milk content, kg	2 370,67 ± 20,56	252,59 ± 14,53	10,65 ± 0,61	2 346,71 ± 20,74	240,95 ± 14,66	10,27 ± 0,63

Анализ данных за 1-ю лактацию показал, что существенных различий между коровами разных линий не установлено. Удой за 305 дней лактации у дочерей быков линии Рефлексн Соверинг 198998 составил 9 201,34 кг, а у коров-сверстниц линии Вис Бэк Айдиал 1013415 данный показатель был на уровне 9 106,22 кг, что оказалось ниже на 95,12 кг. Показателем, характеризующим разнообразие признака, служит среднее квадратичное отклонение, которое по удою за 305 дней составило 1 095,91 кг в группе коров линии Рефлексн Соверинг 198998, что было выше аналогичного показателя из группы коров Вис Бэк Айдиал 1013415 на 49,91 кг. Коэффициенты вариации по удою за 305 дней лактации в анализируемых группах коров были практически на одном уровне и составили 11,91 % и 11,49 %, что свидетельствует о невысокой изменчивости показателя удоя в анализируемых совокупностях. При этом стоит отметить, что минимальное значение по данному признаку у коров, относящихся к линии Вис Бэк Айдиал 1013415 составило 6 786,00 кг, а максимальное – 12 150,00 кг. По сверстницам линии Рефлексн Соверинг 198998 минимальные и максимальные значения были на уровне 6 361,00 кг и 12 317,00 кг соответственно.

Молочная продуктивность и воспроизводительные способности коров зависят в незначительной степени и от их живой массы, так как живая масса является показателем общего развития и выражает степень упитанности животного. Обычно в тех хозяйствах, где полу-

чают наибольшее количество молока, средняя живая масса коров значительно выше, чем в других хозяйствах, разводящих животных той же породы. С увеличением живой массы коров повышается их молочная продуктивность, как при привязном, так и при беспривязном содержании [9].

Живая масса коров в обеих анализируемых группах была практически на одном уровне 521,22-521,95 кг при довольно незначительном коэффициенте вариации данного признака, 4,90-4,97 %, что говорит о соблюдении норм содержания и кормления, позволяющем добиться однородности стада по массе. На основании данных по удою за 305 дней лактации и массе коров был установлен коэффициент молочности, который был незначительно выше у коров линии Рефлекшн Соверинг 198998 – 1 762,94 кг, в то время как у сверстниц линии Вис Бэк Айдиал 1013415 он составил 1 748,45 кг. Стоит отметить, что такой высокий уровень данного показателя свидетельствует о том, что коровы обеих линий относятся к обильномолочному производственному типу.

Анализируя данные по 2-й лактации, видно, что сохраняется аналогичная тенденция к незначительному превосходству коров линии Рефлекшн Соверинг 198998 над сверстницами линии Вис Бэк Айдиал 1013415: по удою за 305 дней лактации – на 275,37 кг, коэффициенту молочности – на 44,60 кг. При этом изменчивость признаков также является незначительной, по удою коэффициенты вариации у коров сравниваемых линий колеблется в диапазоне 11,90-12,14 %, по коэффициенту молочности – 11,50-11,58 %.

Таблица 2 – Изменение молочной продуктивности и коэффициента молочности за три первых лактации в зависимости от линейной принадлежности коров

Table 2 – Changes in milk production and milk yield coefficient during the first three lactations, depending on the line of origin of the cows

Изменение / Changes	Линия / Line of origin			
	Рефлекшн Соверинг 198998 / Reflection Sovering 198998		Вис Бэк Айдиал 1013415 / Vis Back Ideal 1013415	
	Разность средних, кг / Average difference, kg	Критерий доверности, td / Confidence criterion, td	Разность средних, кг / Average difference, kg	Критерий доверности, td / Confidence criterion, td
Удой за 305 дней лактации, кг / Yield per 305 days of lactation, kg				
Между 1-й и 2-й лактациями / Between the 1st and 2nd lactations	+ 3 440,66	22,72	+ 3 260,41	20,70
Между 1-й и 3-й лактациями / Between the 1st and 3rd lactations	+ 4 754,17	30,96	+ 4 682,04	29,94
Между 2-й и 3-й лактациями / Between the 2nd and 3rd lactations	+ 1 313,51	7,51	+ 1 421,63	7,82
Живая масса, кг / Live weight, kg				
Между 1-й и 2-й лактациями / Between the 1st and 2nd lactations	+ 26,77	10,70	+ 26,01	9,98
Между 1-й и 3-й лактациями / Between the 1st and 3rd lactations	+ 66,76	26,51	+ 66,27	24,91
Между 2-й и 3-й лактациями / Between the 2nd and 3rd lactations	+ 39,99	20,13	+ 40,26	20,32
Коэффициент молочности, кг / The coefficient of milk content, kg				
Между 1-й и 2-й лактациями / Between the 1st and 2nd lactations	+ 541,07	20,35	+ 510,96	18,18
Между 1-й и 3-й лактациями / Between the 1st and 3rd lactations	+ 607,73	23,58	+ 598,26	22,55
Между 2-й и 3-й лактациями / Between the 2nd and 3rd lactations	+ 66,66	2,24	+ 87,30	2,85

Примечание: достоверность разницы *P > 0,95 при $t_d > 1,97$; **P > 0,99 при $t_d > 2,60$; ***P > 0,999 при $t_d > 3,34$.

Note: the significance of the difference *P > 0.95 at $t_d > 1.97$; **P > 0.99 at $t_d > 2.60$; ***P > 0.999 at $t_d > 3.34$.

Что же касается возрастных изменений, то тут отмечается положительная динамика всех анализируемых показателей (таблица 2). Достоверное увеличение показателя удоя за 305 дней 2-й лактации по отношению к показателю 1-й лактации у коров линии Рефлекшн Соверинг 198998 составило 3 440,66 кг, или 37,39 % ($***P > 0,999$), у сверстниц линии Вис Бэк Айдиал 1013415 – 3 260,41 кг, или 35,80 % ($***P > 0,999$). Повышение живой массы коров было достоверным и составило 5,13 % ($***P > 0,999$) и 4,99 % ($***P > 0,999$) соответственно. По коэффициенту молочности аналогично произошло значительное увеличение, в группе коров, дочерей быков линии Рефлекшн Соверинг 198998, оно составило 30,69 % ($***P > 0,999$), в группе коров по линии Вис Бэк Айдиал 1013415 – 29,22 % ($***P > 0,999$).

По 3-й лактации удой от коров по линии Рефлекшн Соверинг 198998 в среднем составлял 13 955,51 кг, что было несколько выше (на 167,25 кг) аналогичного показателя у группы коров линии Вис Бэк Айдиал 1013415. Живая масса практически не имела различий у коров анализируемых линий, а коэффициенты вариации по данному признаку имели довольно низкие значения 2,97 % и 2,87 %. Разница по коэффициенту молочности у коров в зависимости от принадлежности к линии составила 23,96 кг в пользу коров-дочерей быков линии Рефлекшн Соверинг 198998. Изменчивость признака при этом была незначительной, о чем свидетельствуют коэффициенты вариации 10,65 % и 10,27 %.

При сравнении данных за 3-ю лактацию с показателями за 1-ю и 2-ю лактации отмечается увеличение по группе коров линии Рефлекшн Соверинг 198998 удоя за 305 дней лактации на 4 754,17 кг, или 51,67 % ($***P > 0,999$), и 1 313,51 кг, или 10,39 % ($***P > 0,999$), живой массы – на 66,76 кг, или 12,79 % ($***P > 0,999$) и 39,99 кг, или 7,29 % ($***P > 0,999$), коэффициента молочности – на 607,73 кг, или 34,47 % ($***P > 0,999$), и 66,66 кг, или 2,89 % ($*P > 0,95$) соответственно.

Разница между показателями у коров по линии Вис Бэк Айдиал 1013415 по 3-й лактации по сравнению с данными за 1-ю и 2-ю составила соответственно по удою за 305 дней 4 682,04 кг, или 51,41 % ($***P > 0,999$), и 1 421,63 кг, или 11,50 % ($***P > 0,999$), по живой массе – 66,27 кг, 12,71 % ($***P > 0,999$), и 40,26 кг, или 7,36 % ($***P > 0,999$), коэффициенту молочности – 598,26 кг, или 34,22 % ($***P > 0,999$), и 87,30 кг, или 3,86 % ($**P > 0,99$).

Возрастная динамика по удою за 305 дней лактации представлена на рисунке 1.

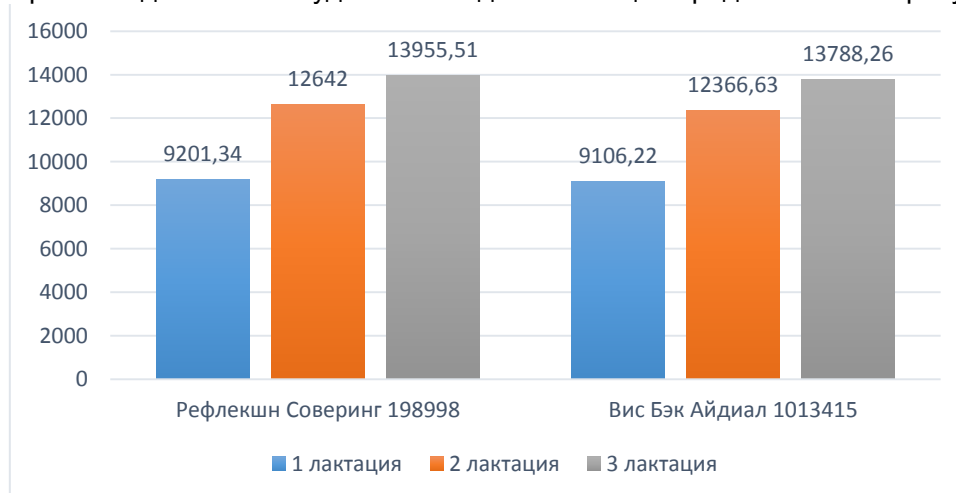


Рисунок 1 – Возрастная динамика по удою за 305 дней лактации, кг
Figure 1 – Age-related dynamics of milk yield over 305 days of lactation, kg

В целом при сравнительном анализе данных по обильномолочности и коэффициенту молочности отмечается достаточно высокая однородность стада как по массе, так и по удою, что свидетельствует о высоком уровне проводимой селекционной работы. При этом с возрастом коров отмечается с высокой вероятностью увеличение признаков независимо от линейной принадлежности.

Оценка молочной продуктивности коров проводится не только по количественным показателям, но учитываются и качественные, а именно массовая доля жира и белка в молоке. Данные показатели в зависимости от возраста имеют незначительную вариабельность. Их изменения находятся в диапазоне от 0,1 до 0,2 %. Тогда как количество молочного жира и белка увеличиваются пропорционально удою [3, 7]. Данные по содержанию и выходу жира и белка в молоке представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Содержание и выход жира и белка в молоке за три первых лактации
в зависимости от линейной принадлежности коровTable 3 – Content and yield of fat and protein in milk during the first three lactations,
depending on the line of the cows

Линия / Line of origin	Параметры / Parameters	Показатель в молоке / Milk indicators			
		жир, % / fat, %	белок, % / protein, %	выход жира, кг / fat yield, kg	выход белка, кг / protein yield, kg
1-я лактация / 1 st lactation					
Рефлексн Соверинг 198998 / Reflection Sovering 198998 n = 151	X ± Sx	3,79 ± 0,02	3,52 ± 0,01	347,46 ± 3,24	323,18 ± 2,97
	σ	0,29 ± 0,02	0,1 ± 0,01	39,77 ± 2,29	36,51 ± 2,10
	C _v , %	7,53 ± 0,43	4,40 ± 0,25	11,45 ± 0,66	11,30 ± 0,65
Вис Бэк Айдиал 1013415 / Vis Back Ideal 1013415 n = 135	X ± Sx	3,87 ± 0,03	3,58 ± 0,01	350,97 ± 3,00	324,98 ± 2,85
	σ	0,31 ± 0,02	0,17 ± 0,01	34,80 ± 2,12	33,12 ± 2,02
	C _v , %	7,96 ± 0,48	4,87 ± 0,30	9,92 ± 0,60	10,19 ± 0,62
2-я лактация / 2 nd lactation					
Рефлексн Соверинг 198998 / Reflection Sovering 198998 / Reflection Sovering 198998 n = 151	X ± Sx	3,91 ± 0,02	3,49 ± 0,01	494,04 ± 5,21	440,22 ± 4,20
	σ	0,29 ± 0,02	0,15 ± 0,01	64,05 ± 3,69	51,64 ± 2,97
	C _v , %	7,31 ± 0,42	4,31 ± 0,25	12,96 ± 0,75	11,73 ± 0,67
Вис Бэк Айдиал 1013415 / Vis Back Ideal 1013415 n = 135	X ± Sx	3,99 ± 0,03	3,52 ± 0,01	491,39 ± 5,18	435,18 ± 4,32
	σ	0,33 ± 0,02	0,16 ± 0,01	60,19 ± 3,66	50,16 ± 3,05
	C _v , %	8,21 ± 0,50	4,59 ± 0,28	12,25 ± 0,75	11,53 ± 0,70
3-я лактация / 3 rd lactation					
Рефлексн Соверинг 198998 / Reflection Sovering 198998 n = 151	X ± Sx	4,02 ± 0,03	3,54 ± 0,01	559,97 ± 5,13	492,88 ± 4,13
	σ	0,32 ± 0,02	0,14 ± 0,01	62,99 ± 3,62	50,73 ± 2,92
	C _v , %	7,83 ± 0,45	4,05 ± 0,23	11,25 ± 0,65	10,29 ± 0,59
Вис Бэк Айдиал 1013415 / Vis Back Ideal 1013415 n = 135	X ± Sx	4,07 ± 0,03	3,57 ± 0,01	559,57 ± 5,26	492,01 ± 4,28
	σ	0,32 ± 0,02	0,16 ± 0,01	61,10 ± 3,72	49,77 ± 3,03
	C _v , %	7,92 ± 0,48	4,62 ± 0,28	10,92 ± 0,66	10,11 ± 0,62

Примечание: достоверность разницы между аналогичными показателями коров разных линий
*P > 0,95; **P > 0,99; ***P > 0,999.

Note: the significance of the difference between similar indicators of cows of different lines *P > 0.95;
P > 0.99; *P > 0.999.

При анализе качественных показателей молока за 1-ю лактацию стоит отметить достоверное превосходство коров линии Вис Бэк Айдиал 1013415 по содержанию жира и белка в молоке, которое составило в данной группе животных 3,87 % и 3,58 % соответственно. При этом вариабельность данных признаков независимо от принадлежности к линии является низкой, что подтверждается коэффициентами вариации по содержанию жира в молоке (7,53 % и 7,96 %) и содержанию белка (4,40 % и 4,87 %). Немного большая вариабельность признака отмечается по выходу жира и белка молока за 305 дней лактации. Несмотря на более высокий удой коров линии Рефлексн Соверинг 198998 выход жира и белка с молоком коров был больше в группе сверстниц линии Вис Бэк Айдиал 1013415 на 3,51 кг и 1,80 кг соответственно.

По результатам 2-й лактации отмечено, что достоверным отличием по массовой доле жира и белка в молоке обладали коровы линии Вис Бэк Айдиал 1013415, где данные показатели составили 3,99 % и 3,52 % соответственно, а превосходство оказалось равным 0,08 п. п. и 0,03 п. п. Независимо от линии наименьшая вариабельность признака отмечалась по содержанию белка в молоке (коэффициенты вариации находились на уровне 4,31-4,59 %). Большая изменчивость признака была по содержанию жира в молоке (7,31 % и 8,21 %), однако для совокупности признака эти значения являются не значительными. Выход жира с молоком от коров линии Рефлексн Соверинг 198998 составил 494,04 кг ($C_v=12,96\%$), от коров линии Вис Бэк Айдиал 1013415 – 491,39 кг ($C_v=12,25\%$). Аналогично, по выходу белка с молоком меньший показатель по 2-й лактации был в группе коров линии Вис Бэк Айдиал 1013415 и составил 435,18 кг ($C_v=11,53\%$), что ниже по сравнению с аналогичным показателем в группе коров линии Рефлексн Соверинг 198998 на 5,04 кг.

Таблица 4 – Изменение содержания и выхода жира и белка в молоке за три первых лактации в зависимости от линейной принадлежности коров
Table 4 – Changes in the content and yield of fat and protein in milk during the first three lactations, depending on the line of origin of the cows

Изменение / Changes	Линия / Line of origin			
	Рефлексн Соверинг 198998 / Reflection Sovering 198998		Вис Бэк Айдиал 1013415 / Vis Back Ideal 1013415	
	Разность средних / The difference in averages	Критерий достоверности, t_d / Confidence criterion, t_d	Разность средних / The difference in averages	Критерий достоверности, t_d / Confidence criterion, t_d
массовая доля жира, % / mass fraction of fat, %				
Между 1-й и 2-й лактациями / Between the 1st and 2nd lactations	+ 0,12	4,24	+ 0,12	2,83
Между 1-й и 3-й лактациями / Between the 1st and 3rd lactations	+ 0,23	6,38	+ 0,20	4,71
Между 2-й и 3-й лактациями / Between the 2nd and 3rd lactations	+ 0,11	3,05	+ 0,08	1,89
массовая доля белка, % / mass fraction of protein, %				
Между 1-й и 2-й лактациями / Between the 1st and 2nd lactations	- 0,03	2,12	- 0,06	4,24
Между 1-й и 3-й лактациями / Between the 1st and 3rd lactations	+ 0,02	1,41	- 0,01	0,71
Между 2-й и 3-й лактациями / Between the 2nd and 3rd lactations	+ 0,05	3,54	+ 0,05	3,54
выход жира с молоком, кг / fat yield with milk, kg				
Между 1-й и 2-й лактациями / Between the 1st and 2nd lactations	+ 146,58	23,89	+ 140,42	23,46
Между 1-й и 3-й лактациями / Between the 1st and 3rd lactations	+ 212,51	35,02	+ 208,60	34,45
Между 2-й и 3-й лактациями / Between the 2nd and 3rd lactations	+ 65,93	9,02	+ 68,18	9,24
выход белка с молоком, кг / protein yield with milk, kg				
Между 1-й и 2-й лактациями / Between the 1st and 2nd lactations	+ 117,04	22,75	+ 110,20	21,29
Между 1-й и 3-й лактациями / Between the 1st and 3rd lactations	+ 169,70	33,36	+ 167,03	32,48
Между 2-й и 3-й лактациями / Between the 2nd and 3rd lactations	+ 52,66	8,94	+ 56,83	9,35

Примечание: достоверность разницы *P > 0,95 при $t_d > 1,97$; **P > 0,99 при $t_d > 2,60$; ***P > 0,999 при $t_d > 3,34$.

Note: the significance of the difference *P > 0.95 at $t_d > 1.97$; **P > 0.99 at $t_d > 2.60$; ***P > 0.999 at $t_d > 3.34$.

При сравнении данных, полученных за 1-ю и 2-ю лактации, видно, что с возрастом произошло достоверное увеличение жира в молоке коров обеих линий на 0,12 п. п. ($***P > 0,999$). Увеличение выхода жира с молоком от коров линий Рефлекшн Соверинг 198998 и Вис Бэк Айдиал 1013415 составило соответственно 42,19 % ($***P > 0,999$) и 40,01 % ($***P > 0,999$) (таблица 4).

По массовой доле белка наоборот наблюдается снижение, которое по группе коров линии Рефлекшн Соверинг 198998 составило 0,03 п. п. ($*P > 0,95$), а в молоке их сверстниц – 0,06 п. п. ($***P > 0,999$). Выход белка с молоком по итогам 2-й лактации по сравнению с 1-й был выше на 36,22 % ($***P > 0,999$) и на 33,91 % ($***P > 0,999$) соответственно линиям Рефлекшн Соверинг 198998 и Вис Бэк Айдиал 1013415.

Положительная динамика к повышению жира в молоке сохранилась и к 3-й лактации, по итогам которой данный показатель составил 4,02 % в молоке коров линии Рефлекшн Соверинг 198998, а в молоке их сверстниц по другой линии – 4,07 %. Таким образом, по сравнению с 1-й и 2-й лактациями увеличение по линии Рефлекшн Соверинг 198998 составило 0,23 п. п. ($***P > 0,999$) и 0,11 п. п. ($**P > 0,99$), по линии Вис Бэк Айдиал 1013415 – 0,20 п. п. ($***P > 0,999$) и 0,08 п. п. (разница недостоверна).

Белок в молоке коров за 3-ю лактацию оказался в среднем на уровне 3,54 % и 3,57 % соответственно группам коров анализируемых линий. При анализе изменений данного показателя в зависимости от номера лактации было выявлено, что данный показатель по группе коров, принадлежащих линии Рефлекшн Соверинг 198998, увеличился на 0,02 п. п. за 3-ю лактацию по сравнению с 1-й (разница недостоверна), и на 0,05 п. п. по сравнению с данными 2-й лактации ($***P > 0,999$).

Массовая доля белка в молоке коров линии Вис Бэк Айдиал 1013415 по итогам 3-й лактации по сравнению с 1-й была недостоверно ниже на 0,01 п. п., а по сравнению со 2-й выше на 0,05 п. п. ($***P > 0,999$).

Выход жира и белка с молоком коров анализируемых линий за 3-ю лактацию были практически на одном уровне. Так, выход жира составил 559,97 кг и 559,57 кг, а выход белка – 492,88 кг и 492,01 кг соответственно группам коров, разбитых по линиям Рефлекшн Соверинг 198998 и Вис Бэк Айдиал 1013415.

Увеличение выхода жира с молоком за 3-ю лактацию по сравнению с 1-й и 2-й лактациями от коров по линии Рефлекшн Соверинг 198998 составило 61,16 % ($***P > 0,999$) и 13,35 % ($***P > 0,999$), от коров линии Вис Бэк Айдиал 1013415 – 59,44 % ($***P > 0,999$) и 13,87 % ($***P > 0,999$) соответственно; аналогично, увеличение выхода белка составило 52,51 % ($***P > 0,999$) и 11,96 % ($***P > 0,999$) от коров линии Рефлекшн Соверинг 198998; 51,40 % ($***P > 0,999$) и 13,06 % ($***P > 0,999$) от коров линии Вис Бэк Айдиал 1013415.

Заключение. С возрастом у голштинских коров независимо от их линейной принадлежности имеется тенденция к обильномолочности, что объясняется высоким генетическим потенциалом. Достоверное превосходство по удою за 305 дней по итогам 3-й лактации над результатами 1-й лактации у коров по линии Рефлекшн Соверинг 198998 составило 51,67 %, линии Вис Бэк Айдиал 1013415 – 51,41 %. Повышение живой массы и обильномолочности сопровождалось повышением коэффициента молочности в среднем на 34,0 % к 3-й лактации. Помимо увеличения удоев с возрастом отмечается изменение и качественных показателей молока. Так, отмечалось повышение массовой доли жира в молоке к 3-й лактации по сравнению с 1-й на 0,20-0,23 п. п. с высокой долей вероятности у коров анализируемых линий. По массовой доле белка закономерных изменений не выявлено, данный показатель снижался от 1-й ко 2-й лактации, а от 2-й к 3-й увеличивался независимо от линейной принадлежности коров. При этом выход жира и белка в молоке от коров за 3-ю лактацию был достоверно выше по сравнению с аналогичными показателями за 1-ю и 2-ю лактации. Таким образом, в ходе исследований обнаружено достоверное влияние возраста коров как на удои, так и на качественные показатели молока.

Conclusion. With age, Holstein cows, regardless of their line affiliation, tend to be prolific, which is due to their high genetic potential. The significant advantage in milk yield over 305 days in the 3rd lactation compared to the 1st lactation in cows of the Reflection Sovering 198998 line was 51.67 %, and in the Vis Back Ideal 1013415 line, it was 51.41 %. An increase in live weight and milk yield was accompanied by an increase in the milk yield coefficient by an average of 34.0 % by the third lactation. In addition to an increase in milk yield with age, there was also a change in the quality of the milk. For example, there was an increase in the mass fraction of fat in milk by 0.20-0.23 percentage points by the third lactation compared to the first lactation, with a high probability in the cows of the analyzed lines. No regular changes were observed in the mass fraction of protein, which decreased from the 1st

to the 2nd lactation and increased from the 2nd to the 3rd lactation, regardless of the line affiliation of the cows. However, the yield of fat and protein in milk from cows in the 3rd lactation was significantly higher than in the 1st and 2nd lactations. Thus, the studies revealed a significant impact of the age of cows on both milk yield and quality.

Библиографический список

1. Анисимова Е. И., Катмаков П. С., Фадеева Н. В. Физико-химический состав молока и его возрастная динамика у коров симментальской породы разных внутрипородных типов. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2011. № 1 (13). С. 32-35.
2. Аржанкова Ю. В., Харитонов А. В., Букарева Т. В. Возрастная динамика молочной продуктивности крупного рогатого скота голштинской породы. Современные тенденции в развитии АПК: технологии, качество, безопасность: сборник материалов и докладов международной научно-практической конференции. Великие Луки: Великолукская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. С. 3-6.
3. Харлап С. Ю. и др. Возрастная динамика молочной продуктивности коров. Вестник биотехнологии. 2023. № 2 (35).
4. Костомахин Н. М. и др. Возрастная динамика молочной продуктивности коров голштинской породы. Главный зоотехник. 2025. № 9 (266). С. 3-15.
5. Загороднев Ю. П., Елизарова И. Б. Селекционно-генетические параметры продуктивности молочного скота в зависимости от линейной принадлежности. Наука и Образование. 2022. Т. 5. № 1.
6. Каналина Н. М., Баранов В. А., Рахматов Л. А. Возрастное изменение продуктивности коров разных линий. Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2021. Т. 246. № 2. С. 103-106.
7. Крюков И. О., Шалаева И. В., Багдонас И. И. Влияние возраста коров на молочную продуктивность в условиях животноводческого комплекса. Вестник молодежной науки. 2025. № 3 (50). С. 11.
8. Путинцева С. В., Сафронов С. Л. Сравнительный анализ молочной продуктивности коров-первотелок голштинской породы разного происхождения. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2023. № 2 (71). С. 87-94.
9. Истранина Ж. А., Истранин Ю. В. Динамика молочной продуктивности коров при разных способах содержания в зависимости от возраста и живой массы. Инновации в отрасли животноводства и ветеринарии. Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2021. Т. 2. С. 216-222.
10. Гилев В. А. и др. Связь между показателями молочной продуктивности у коров разных генотипов. Вестник Курганского ГСХА. 2025. № 4 (56). С. 27-33.
11. Сидоренко Р. П. Возрастные изменения молочной продуктивности коров. Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. 2014. № 17-1. С. 282-289.
12. Zonturlu A. K. Y. et al. Effect of calving season, calving year and lactation number on the milk yield traits in Holstein cows raising in Şanlıurfa. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology. 2020. V. 8. No 2. Pp. 313-317.
13. Eşki F., Rurt S. Effect of lactation number on milk yield in Holstein dairy cows. Turkish Journal of Veterinary Research. 2021. V. 5. No 1. Pp. 1-4.

References

1. Anisimova E. I., Katmakov P. S., Fadeeva N. V. Physical and chemical composition of milk and its age dynamics in Simmental cows of different inbreeding types. Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2011. No. 1 (13). Pp. 32-35.
2. Arzhankova Yu. V., Kharitonov A. V., Bukareva T. V. Age dynamics of dairy productivity in Holstein cattle. Modern Trends in the Development of the Agro-Industrial Complex: Technologies, Quality, and Safety: Collection of Materials and Reports of the International Scientific and Practical Conference. Velikiye Luki: Velikolukskaya State Agricultural Academy, 2021. Pp. 3-6.
3. Harlap S. Yu. et al. Age-Related Dynamics of Dairy Productivity in Cows. Proceedings of the biological technology. 2023. No. 2 (35).
4. Kostomakhin N. M. et al. Age-related dynamics of milk production in Holstein cows. Chief Zootechnician. 2025. No. 9 (266). Pp. 3-15.
5. Zagorodnev Yu. P., Elizarova I. B. Selection and genetic parameters of dairy cattle productivity depending on the line affiliation. Science and Education. 2022. Vol. 5. No. 1.
6. Kanalina N. M., Baranov V. A., Rakhmatov L. A. Age-related changes in the productivity of cows of different lines. Scientific Notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman. 2021. Vol. 246. No. 2. Pp. 103-106.
7. Kryukov I. O., Shalaeva I. V., Bagdonas I. I. Influence of the age of cows on the milk productivity in the conditions of the livestock complex. Bulletin of the youth science. 2025. No. 3 (50). P. 11.
8. Putintseva S. V., Safronov S. L. Comparative analysis of the milk productivity of first-calf Holstein cows of different origin. Izvestiya of the St. Petersburg State Agrarian University. 2023. No. 2 (71). Pp. 87-94.
9. Istranina Zh. A., Istranin Yu. V. Dynamics of Dairy Productivity of Cows under Different Management Methods Depending on Age and Live Weight. Innovations in the Livestock and Veterinary Medicine Industry. Bryansk: Bryansk State Agrarian University, 2021. Vol. 2. Pp. 216-222.
10. Gilev V. A. et al. Relationship between Dairy Productivity Indicators in Cows of Different Genotypes. Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy. 2025. No. 4 (56). Pp. 27-33.
11. Sidorenko R. P. Age-related changes in the milk productivity of cows. Actual Problems of Intensive Livestock Development. 2014. No. 17-1. Pp. 282-289.
12. Zonturlu A. K. Y. et al. Effect of calving season, calving year and lactation number on the milk yield traits in Holstein cows raising in Şanlıurfa. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology. 2020. V. 8. No. 2. Pp. 313-317.
13. Eşki F., Rurt S. Effect of lactation number on milk yield in Holstein dairy cows. Turkish Journal of Veterinary Research. 2021. V. 5. No. 1. Pp. 1-4.

Информация об авторах

Гилев Владимир Алексеевич, аспирант кафедры «Кормление и разведение сельскохозяйственных животных», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: v.gilev.j-r@mail.ru

Федорова Елена Юрьевна, доктор биологических наук, доцент, профессор Московского городского педагогического университета (129226, Москва, 2-й Сельскохозяйственный проезд, 4), e-mail: elefedor@yandex.ru

Чехранова Светлана Викторовна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры «Кормление и разведение сельскохозяйственных животных», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: schekhronova@mail.ru

Николаев Сергей Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой «Кормление и разведение сельскохозяйственных животных» ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

Водяникова Вера Владимировна, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры «Кормление и разведение сельскохозяйственных животных», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: vera.shkalenko@mail.ru

Воронцова Елена Сергеевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (400002, Волгоград, Университетский просп., 26), e-mail: esvoronts@mail.ru

Попова Екатерина Михайловна, аспирант кафедры «Кормление и разведение сельскохозяйственных животных», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: popova1325@mail.ru

Authors' Information

Gilev Vladimir Alekseevich, postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: v.gilev.j-r@mail.ru

Fedorova Elena Yuryevna, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor, Moscow City Pedagogical University (Russian Federation, 129226, Moscow, the 2nd Agricultural Passage, 4), e-mail: elefedor@yandex.ru

Chekhronova Svetlana Viktorovna, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: schekhronova@mail.ru

Nikolaev Sergey Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

Vodyannikova Vera Vladimirovna, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: vera.shkalenko@mail.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

Popova Ekaterina Mikhailovna, postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: popova1325@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-49

THE IMPROVING OF THE USING EFFICIENCY OF THE BROILER CHICKENS NEW-YIELD GRAIN FODDER

¹Daskiev R. A., ²Fedorova E. Yu., ¹Vodyannikova V. V., ¹Nikolaev S. I.,
¹Chekhronova S. V., ¹Vorontsova E. S.

¹Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

²Moscow City Pedagogical University
Moscow, Russian Federation

Corresponding author E-mail: schekhronova@mail.ru

Received 22.12.2025

Submitted 26.03.2026

The study was conducted within the framework of the agreement No. 17 dated 08.08.2023 on the topic: "Study of the effect of enzyme compositions on the productivity of broiler chickens when used in feeding grain of a new crop".

Abstract

Introduction. The low nutritional value of the grain of the new crop is due to the presence of an increased number of anti-nutritional factors. It contains high levels of non-starchy polysaccharides, as well as gluten and hard-to-reach starch, which negatively affects the availability of nutrients throughout the poultry diet. In this regard, it is important to find ways to increase the efficiency of using such grains in compound feeds for broiler chickens. The aim of the study was to use enzyme compositions in diets with grain of a new crop in feeding broiler chickens. **Materials and methods.** As part of the scientific and economic experiment, four groups of broiler chickens were formed. The control group received a standard household ration. Broiler chickens of the experimental group I received the same diet with the addition of 100 g of Megazim X per ton of compound feed. In the second experimental group, broiler chickens were injected with Multizyme APX in the amount of 100 g per ton of compound feed, in addition to the basic diet. The third experimental group received a general household ration with the addition of 100 g of Megazim A per ton of mixed feed. **Results and conclusions.** The control weighing showed that the broiler chickens in the first experimental group gained significantly more fat mass compared to the control group. The average body weight in the first experimental group was 2224.96 g, which is 10.59 % higher than in the control group (with a high degree of confidence, $P > 0.999$). In experimental groups II and III, the live weight of broiler chickens was also higher

than the control, by 65.92 g and 6.96 g, respectively. The cost per 1 kg of broiler chicken growth was 1.82 kg in the control group, 1.62 kg in the experimental group I, 1.76 kg in the experimental group II, and 1.81 kg in the experimental group III. Based on the data obtained, taking into account the cost of the increase in broiler chickens, the First experimental group received a profit in the amount of 4,843.82 rubles, thereby the level of profitability in this group was 16.6 %, which is 12.9 % higher than that of the broiler chickens of the control group.

Keywords: Broiler chicken diets, enzyme feed additives, grain feed, anti-nutrients, feed nutritional value.

Citation. Daskiev R. A., Fedorova E. Yu., Vodyannikova V. V., Nikolaev S. I., Chekhranova S. V., Vorontsova E. S. The improving of the using efficiency of the broiler chickens new-yield grain fodder. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 452-460 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-49.

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 final version presented.

Conflict of interest. The authors did not declare a conflict of interest.

УДК 636.5.033+636.085.55

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕРНА НОВОГО УРОЖАЯ В КОМБИКОРМАХ ДЛЯ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ

¹Даскиев Р. А., аспирант

²Федорова Е. Ю., доктор биологических наук, доцент

¹Водяникова В. В., доктор биологических наук, доцент

¹Николаев С. И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹Чехранова С. В., доктор сельскохозяйственных наук

¹Воронцова Е. С., кандидат биологических наук

¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

²Государственное автономное образовательное учреждение высшего образования города Москвы

«Московский городской педагогический университет»

г. Москва, Российская Федерация

Исследование проведено в рамках договора от 08.08.2023. № 17 по теме: "Изучение влияния ферментных композиций на продуктивность цыплят-бройлеров при использовании в кормлении зерна нового урожая".

Актуальность. Низкая питательная ценность зерна нового урожая обусловлена наличием повышенного количества антипитательных факторов. Оно содержит высокий уровень некрахмалистых полисахаридов, а также клейковину и труднодоступный крахмал, что отрицательно сказывается на доступности питательных веществ всего рациона сельскохозяйственной птицы. В связи с этим актуальным является изыскание путей повышения эффективности использования такого зерна в комбикормах для цыплят-бройлеров. Цель исследования – использование ферментных композиций в рационах с зерном нового урожая в кормлении цыплят-бройлеров. **Материалы и методы.** В рамках научно-хозяйственного эксперимента были сформированы четыре группы цыплят-бройлеров. Контрольная группа получала стандартный рацион, применяемый в хозяйстве. Цыплята-бройлеры I опытной группы получали тот же рацион с добавлением 100 г Мегазима X на тонну комбикорма. Во II опытной группе цыплятам-бройлерам вводили Мультизим APX в количестве 100 г на тонну комбикорма в дополнение к основному рациону. Третья опытная группа получала общехозяйственный рацион с добавлением 100 г Мегазима А на тонну комбикорма. **Результаты и выводы.** Контрольное взвешивание показало, что цыплята-бройлеры в I опытной группе набрали достоверно большую живую массу по сравнению с контрольной группой. Средняя живая масса в I опытной группе составила 2224,96 г, что на 10,59 % превышает показатель контрольной группы (с высокой степенью достоверности, $P > 0,999$). Во II и III опытных группах живая масса цыплят-бройлеров также была выше контрольной, на 65,92 г и 6,96 г соответственно. Затраты на 1 кг прироста цыплят-бройлеров составили: 1,82 кг в контрольной группе, 1,62 кг в I опытной группе, 1,76 кг во II опытной и 1,81 кг в III опытной группах. Исходя из полученных данных, учитывая себестоимость полученного прироста цыплят-бройлеров, в I опытной группе получена прибыль в сумме 4 843,82 руб., тем самым уровень рентабельности в этой группе составил 16,6 %, что выше, чем у цыплят-бройлеров контрольной группы на 12,9 %.

Ключевые слова: рационы цыплят-бройлеров, ферментные кормовые добавки, зерновые корма, антипитательные вещества, питательность комбикормов.

Цитирование. Даскиев Р. А., Федорова Е. Ю., Водяникова В. В., Николаев С. И., Чехранова С. В., Воронцова Е. С. Повышение эффективности использования зерна нового урожая в комбикормах для цыплят-бройлеров. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 452-460. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-49.

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. Зерновые культуры играют фундаментальную роль в обеспечении продовольственной безопасности. Их повсеместное распространение обусловлено высокой урожайностью и адаптивностью к различным климатическим условиям. Ежегодный объем производства зерновых превышает 2,5 млрд тонн, а к 2050 году прогнозируется сбор 3 млрд тонн [13, 16]. Как промышленно развитые, так и развивающиеся страны в значительной степени полагаются на зерновые, как на источник питательных веществ [14].

В зерновых культурах, таких как рожь, ячмень, овес, пшеница и тритикале, присутствуют антипитательные вещества, в первую очередь некрахмалистые полисахариды, включая пентозаны и β -глюкан, которые препятствуют полноценному использованию этих культур в кормлении сельскохозяйственной птицы. Однако влияние антипитательных веществ можно смягчить с помощью различных технологических подходов [17].

Зерна злаков нового урожая обладают повышенным количеством антипитательных факторов, а именно содержат высокий уровень некрахмалистых полисахаридов, а также клейковину и труднодоступный крахмал, что снижает их питательную ценность [9, 15, 17]. Свежее зерно в корме может привести не только к ухудшению производственных показателей, но и к увеличенному давлению различных патогенных возбудителей из-за снижения скорости продвижения корма через желудочно-кишечный тракт в результате повышенной вязкости зерна. Показатель вязкости обуславливается содержанием в зерне гидрофильных (водорастворимых) арабиноксиланов и β -глюканов, относящихся к группе некрахмалистых полисахаридов.

По мнению Околеловой Т. М., Енгашевой С. В. водорастворимые некрахмалистые полисахариды, в зависимости от их количества в корме, ухудшают усвоение протеина (на 2,0-14,0 %), крахмала (на 1,0-14,0 %) и жира (на 1,0-24,0 %). Значительное снижение усвояемости жира объясняется негативным воздействием этих полисахаридов на выработку желчи. Также выявлено, что сорта пшеницы с высокой вязкостью отрицательно сказываются на продуктивности бройлеров, снижая ее на 3,0-13,4 % и увеличивая расход корма на прирост массы на 1,35-14,9 %. Негативное влияние свежесобранного зерна на физиологические показатели и продуктивность сельскохозяйственной птицы усугубляется за счет необоснованно завышенных матриц параметров питательности на ферментные препараты [8]. В процессе созревания зерна эти полисахариды трансформируются, теряя растворимость и переходя в нерастворимую форму. Этот естественный процесс, занимающий около двух-трех месяцев, приводит к 5-10-кратному снижению вязкости зерна, и тогда оно считается «отлежавшимся» и более не приводит к снижению продуктивности [10].

Применение кормовых ферментов, расщепляющих некрахмалистые полисахариды и крахмал, существенно улучшает продуктивность птицеводства [5, 11, 12]. Эти ферменты нейтрализуют ключевые антипитательные вещества кормов, такие как некрахмалистые полисахариды и часть амилозы. Это позволяет птице лучше усваивать дополнительные питательные вещества и энергию, что ведет к более эффективному использованию корма и снижению затрат на кормление [5, 6, 7]. Кроме того, ферменты дают большую гибкость в составлении рационов, открывая путь к использованию более разнообразного и экономичного сырья [1, 2, 3].

Оптимальное решение для достижения высокой экономической и производственной эффективности – применение мультиэнзимных препаратов, произведенных под конкретную сырьевую базу, либо использование отдельных ферментов с учетом особенностей основного сырья непосредственно в хозяйстве. Надлежащее применение экзогенных ферментов, а также тщательный выбор ингредиентов для корма позволит сократить затраты на энергию, протеин и прочие питательные вещества [12].

Цель научно-исследовательской работы – использование ферментных композиций в рационах с зерном нового урожая в кормлении цыплят-бройлеров.

Материалы и методы. В период выполнения опытов цыплята-бройлеры кросса Росс-308 содержались в условиях центра нутрициологии сельскохозяйственных животных и птицы ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ под управлением кафедры «Кормление и разведение сельскохозяйственных животных». Все условия содержания и кормления соответствовали нормативным требованиям кросса Росс-308. Для проведения научно-хозяйственного опыта

продолжительностью 35 дней было сформировано 4 группы цыплят-бройлеров (контрольная и три опытные) по 120 голов в каждой. Для повышения надежности полученных данных каждая группа была разделена на три секции (повторности) по 40 голов. Таким образом, в опыте участвовало 480 цыплят, размещенных в 12 секциях. Кормление осуществлялось сбалансированными комбикормами, разработанными в соответствии с установленными стандартами и учитывающими все стадии развития птицы (таблица 1).

Таблица 1 – Схема опыта
Table 1 – Scheme of experiment

Подопытные группы / Experimental groups	Особенности кормления / Feeding features
контрольная / control	Общехозяйственный рацион (ОП) / General household ration (GH)
I опытная / experimental I	ОП+Мегазим Х 100 г на 1 тонну комбикорма / GH+Megazim X 100 g per 1 ton of compound feed
II опытная / experimental II	ОП+ Мультизим APX – 100 г на 1 тонну комбикорма / GH + Multizim ARCH – 100 g per 1 ton of compound feed
III опытная / experimental III	ОП+ Мегазим А – 100 г на 1 тонну комбикорма / GH + Megazim A 100 g per 1 ton of compound feed

В состав стартового полнорационного комбикорма ПК-5-0 входили зерновые (пшеница, кукуруза), шроты (соевый, подсолнечный), рыбная мука, комплекс аминокислот (включая лизин, метионин, треонин, валин, аргинин, изолейцин), подсолнечное масло, соль Экстра, монокальцийфосфат, безводный сульфат натрия, витамин В₄, известняковая крупка и премикс П5-1. Премикс П5-1 содержал Мегазим Х и Мегазим Р10000 в количестве 100 г на тонну.

Рецептура комбикорма ПК-5-1 (РОСТ) была аналогична ПК-5-0, но использовался премикс П5-2, также содержащий Мегазим Х и Мегазим Р10000 по 100 г на тонну.

Финишный комбикорм ПК-6-1 состоял из пшеницы, кукурузы, соевого и подсолнечного шрота, аминокислот, подсолнечного масла, соли Экстра, монокальцийфосфата, безводного сульфата натрия, витамина В₄, известняковой крупки и премикса П5-3, который также включал Мегазим Х и Мегазим Р10000 по 100 г на тонну.

Различия в кормлении контрольной и опытных групп цыплят-бройлеров заключались в следующем: в рацион цыплят-бройлеров I опытной группы дополнительно вводили Мегазим Х (100 г/т), цыплятам-бройлерам II опытной группы – Мультизим APX (100 г/т), цыплятам-бройлерам III опытной группы – Мегазим А (100 г/т).

В ходе опыта вели учет динамики живой массы, затрат кормов, оценивали морфологические и биохимические показатели крови подопытной птицы, а также рассчитывали экономическую эффективность от применения ферментных препаратов.

Результаты исследований и их обсуждение. В ходе проведения научно-хозяйственного опыта на цыплятах-бройлерах проводили индивидуальное взвешивание птицы в возрасте 1, 7, 14, 21, 28, 35 суток.

Это позволило в динамике зафиксировать изменения живой массы подопытных цыплят-бройлеров, рассчитать среднесуточный и абсолютный прирост (таблица 2). Затраты корма на 1 кг прироста цыплят-бройлеров также представлены в таблице 2.

В ходе научно-хозяйственного опыта было установлено достоверное превосходство цыплят опытных групп над контрольной. По завершении опыта (в возрасте 35 дней) контрольное взвешивание выявило, что цыплята I опытной группы показали достоверно более высокую среднюю живую массу по сравнению с контрольной группой. Средняя живая масса в I опытной группе составила 2 224,96 г, что на 235,54 г (10,59 %) превышает показатель контрольной группы (при уровне достоверности $P > 0,999$). Цыплята II и III опытных групп также продемонстрировали увеличение живой массы относительно контрольной группы на 65,92 г и 6,96 г соответственно.

Наибольшее количество корма за весь период выращивания потребили цыплята-бройлеры контрольной группы (425,136 кг) и цыплята II опытной группы (425,030 кг). Наименьшее потребление комбикорма зафиксировано в I и III опытных группах, составив 424,891 кг и 424,957 кг, соответственно.

Таблица 2 – Живая масса цыплят-бройлеров и затраты корма на 1 кг прироста
Table 2 – Live weight of broiler chickens and feed consumption per 1 kg of gain

Группы / Groups	Показатели / Indicators	Возрастные периоды, сутки / Age periods, day					
		0-7	8-14	15-21	22-28	29-35	0-35
контрольная / control	Живая масса, г / Live weight, g	42,34 ± 0,46	188,26 ± 2,73	444,44 ± 5,78	773,17 ± 19,53	1302,08 ± 19,41	1989,42 ± 29,31
	Абсолютный прирост, г / Absolute increase, g	17510,00	30741,20	39448,00	63468,80	82481,20	233649,20
	Потреблено, г / Consumed, g	22446,00	48696,00	82602,00	118272,00	153120,00	425136,00
	Затраты корма на 1 кг прироста, кг / Feed costs per 1 kg of gain, kg	1,28	1,58	2,09	1,86	1,86	1,82
I опытная / experimental I	Живая масса, г / Live weight, g	42,40 ± 0,45	193,75 ± 2,40	447,07 ± 5,55**	813,15 ± 20,40	1445,25 ± 21,33***	2224,96 ± 35,50***
	Абсолютный прирост, г / Absolute increase, g	18162,40	30398,00	43930,00	75852,00	93564,80	261907,20
	Потреблено, г / Consumed, g	22200,00	48697,00	82602,00	118272,00	153120,00	424891,00
	Затраты корма на 1 кг прироста, кг / Feed costs per 1 kg of gain, kg	1,22	1,60	1,88	1,56	1,64	1,62
II опытная / experimental II	Живая масса, г / Live weight, g	42,65 ± 0,45	196,83 ± 2,30*	453,31 ± 5,32	793,46 ± 19,46	1311,85 ± 18,91	2055,34 ± 30,28
	Абсолютный прирост, г / Absolute increase, g	18501,60	30777,20	40818,00	62206,40	89218,80	241522,00
	Потреблено, г / Consumed, g	22342,00	48694,00	82602,00	118272,00	153120,00	425030,00
	Затраты корма на 1 кг прироста, кг / Feed costs per 1 kg of gain, kg	1,21	1,58	2,02	1,90	1,72	1,76
III опытная / experimental III	Живая масса, г / Live weight, g	42,44 ± 0,50	201,56 ± 3,06**	457,95 ± 6,24	766,05 ± 19,66	1264,76 ± 21,03	1996,38 ± 31,15
	Абсолютный прирост, г / Absolute increase, g	19094,80	30766,80	36972,00	59844,80	87774,40	234452,80
	Потреблено, г / Consumed, g	22290,00	48673,00	82602,00	118272,00	153120,00	424957,00
	Затраты корма на 1 кг прироста, кг / Feed costs per 1 kg of gain, kg	1,17	1,58	2,23	1,98	1,74	1,81

Затраты корма на килограмм прироста живой массы распределились следующим образом: контрольная группа – 1,82 кг, I опытная – 1,62 кг, II опытная – 1,76 кг, III опытная – 1,81 кг.

Среднесуточный прирост живой массы цыплят-бройлеров представлен на рисунке 1.

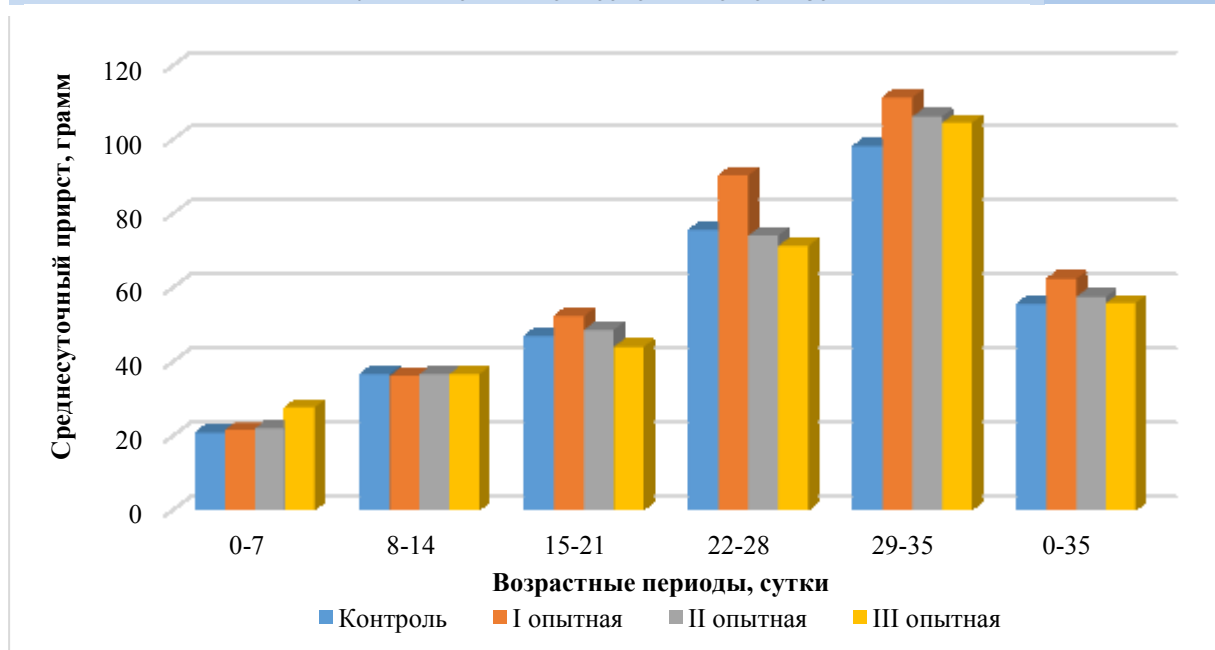


Рисунок 1 – Среднесуточный прирост живой массы цыплят-бройлеров, г
Figure 1 – Average daily weight gain of broiler chickens, g

В таблице 3 отражены биохимические показатели крови подопытных цыплят-бройлеров в возрасте 35 суток.

Таблица 3 – Биохимические показатели крови подопытных цыплят-бройлеров в возрасте 35 суток
Table 3 – Biochemical blood parameters of experimental broiler chickens at the age of 35 days

Группы / Groups	Общий белок, г/л / Total protein, g/l	Холестерин, ммоль/л / Cholesterol, mmol/L	Триглицериды, ммоль/л / Triglycerides, mmol/L	Кальций, ммоль/л / Calcium, mmol/l	Фосфор, ммоль/л / Phosphorus, mmol/L	АсАТ, ед./л / AsAT, units/l	АлАТ, ед./л / ALAT, units/l
Контрольная / Control	40,09 ± 0,77	3,21 ± 0,39	2,20 ± 0,32	3,30 ± 0,05	1,69 ± 0,04	277,84 ± 5,24	5,78 ± 0,50
I опытная / Experimental I	42,57 ± 0,51	3,61 ± 0,25	2,45 ± 0,81	3,55 ± 0,04	1,75 ± 0,02	296,60 ± 2,44	6,10 ± 0,61
II опытная / Experimental II	41,27 ± 0,38	3,45 ± 0,54	2,27 ± 0,74	3,31 ± 0,04	1,67 ± 0,03	287,71 ± 4,02	5,91 ± 0,47
III опытная / Experimental III	41,05 ± 0,33	3,72 ± 0,70	2,39 ± 0,47	3,52 ± 0,02	1,77 ± 0,05	291,31 ± 2,52	6,00 ± 0,84

Из таблицы 3 видно, что все биохимические показатели крови цыплят-бройлеров находились в пределах физиологической нормы, следовательно, все цыплята-бройлеры участвующие в опыте были физически здоровы.

В ходе исследования было установлено, что более высокое значение общего белка в плазме крови (в возрасте 35 суток) наблюдалось у цыплят-бройлеров I опытной группы в сравнении со сверстниками из контрольной, II и III опытных групп. Цыплята-бройлеры I опытной группы превосходили сверстников из контрольной группы на 6,19 %, цыплята-бройлеры из II и III опытных групп также превосходили подопытных цыплят контрольной группы на 3,15 % и 3,70 % соответственно. Это позволяет предположить, что Мегазим X в составе рационов I опытной группы с неотлежавшимся зерном нового урожая, способствует усилению интенсивности роста.

Минеральные вещества необходимы для поддержания водного и кислотно-щелочного баланса в организме. Они регулируют распределение воды, участвуют в генерации нервных импульсов и их проведении по нервным волокнам. Минералы также влияют на активность ферментов и общие функции организма. У цыплят-бройлеров минеральный обмен имеет свою специфику: поступление и выведение минеральных веществ не всегда сбалансировано, что сказывается на их продуктивности.

Соотношение кальция и фосфора в рационе цыплят-бройлеров кросса Росс-308 важно для обеспечения нормального кальциево-фосфорного обмена, который необходим для формирования костного скелета. В наших опытах было соблюдено оптимальное соотношение кальция и доступного фосфора в бройлерных рационах, что подтверждается данными таблицы 3, где отмечено, что данные биохимические показатели в опытных группах имели тенденцию к повышению в пределах референтных значений.

Вопросы обмена липидов в организме птицы имеют важное значение, поскольку липиды служат энергоемким субстратом: при окислении 1,0 г жира образуется 9,3 ккал энергии, что в 2,2 раза больше, чем при окислении белков и углеводов. Жиры мобилизуют кальций из внутриклеточного депо, регулируют многие биологические процессы в крови, стимулируют пищеварительную функцию поджелудочной железы и повышают содержание липазы в панкреатическом соке [4]. С целью контроля над липидным обменом были проанализированы в крови триглицериды и холестерин. Данные показатели во всех группах были в пределах физиологических значений.

Анализ на АсАТ (аспартатаминотрансферазу) и АлАТ (аланинаминотрансферазу) указывает на состояние печени и интенсивность белкового обмена. Известно, что изменение активности АсАТ может быть вызвано интенсивным ростом цыплят-бройлеров. Из таблицы 3 видно, что цыплята-бройлеры I опытной группы превосходили аналогов из контрольной группы по активности АсАТ на 6,75 %. Цыплята-бройлеры II и III опытных групп на 3,55 % и 4,85 %, соответственно, также превосходили аналогов из контрольной группы. По активности АлАТ в сыворотке крови цыплят-бройлеров сохранилась такая же тенденция, как и по АсАТ: цыплята-бройлеры I опытной группы превосходили сверстников контрольной группы на 5,54 %, цыплята-бройлеры II и III опытных превосходили цыплят-бройлеров контрольной группы на 2,25 % и 3,81 % соответственно.

Экономическая эффективность производства мяса цыплят-бройлеров (таблица 4) рассчитывалась на основе текущих цен на комбикорма и исследуемые кормовые добавки. Помимо затрат на корм и добавки, учитывалась стоимость приобретения суточных цыплят.

Прибыльность производства мяса цыплят-бройлеров определяется не только прямыми расходами на корма, добавки и молодняк, но и эффективностью их роста. Ключевыми показателями являются общий прирост живой массы птицы за период откорма и расход корма на каждый килограмм полученного прироста.

Таблица 4 – Экономическая эффективность влияния ферментных композиций на продуктивность цыплят-бройлеров при использовании в кормлении зерна нового урожая

Table 4 – Economic efficiency of the effect of enzyme compositions on the productivity of broiler chickens when using new-crop grain in feeding

Показатели / Indicators	Группы / Groups			
	контрольная / control	I опытная / experimental I	II опытная / experimental II	III опытная / experimental III
Затраты (стоимость комбикормов, кормовых добавок и суточных цыплят), руб. / Costs (cost of compound feed, feed additives, and day-old chicks), RUB	29 292,00	29 204,48	29 215,95	29 206,45
Себестоимость 1 кг прироста, руб. / Cost per 1 kg of growth, RUB	125,37	111,51	120,97	124,57
Цена реализации (в среднем), руб./кг / Selling price (average), RUB/kg	130,00			
Выручка от реализации, руб. / Revenue from sales, RUB.	30 374,50	34 048,30	31 397,60	30 478,50
Прибыль/убыток, руб. / Profit/loss, RUB	1 082,50	4 843,82	2 181,65	1 272,05
Уровень рентабельности, % / Profitability level, %	3,7	16,6	7,5	4,4

Экономическая оценка показала, что первая опытная группа не только обеспечила лучший прирост, но и оказалась наиболее прибыльной. Прибыль от этой группы составила 4843,82 руб., а рентабельность достигла 16,6 %, что на 12,9 % выше, чем у цыплят из контрольной группы.

Заключение. Введение как отдельных кормовых ферментов, так и мультиферментных композиций, в комбикорма с зерном нового урожая для цыплят-бройлеров оказывает положительное влияние на продуктивность птицы, что проявляется в улучшении коэффициента конверсии корма и увеличении прироста живой массы. Механизм действия включает снижение активности антипитательных факторов и стимуляцию роста пробиотической микрофлоры. Опытные данные свидетельствуют о том, что комбикорм, произведенный на основе зерна нового урожая, обогащенный ферментом Мегазим Х (100 г/тону), обеспечил превосходство цыплят I опытной группы по показателям живой массы, себестоимости 1 кг прироста и рентабельности над сверстниками из других подопытных групп. В связи с полученными результатами, рекомендуется введение фермента Мегазим Х в комбикорм в дозировке 100 г/тону.

Conclusion. The introduction of both individual feed enzymes and multi-enzyme compositions into compound feed with new-crop grain for broiler chickens has a positive effect on poultry productivity, which is manifested in an improvement of the feed conversion ratio and an increase in live weight gain. The mechanism of action includes a decrease in the activity of antinutrient factors and an increase in the growth of probiotic microflora. The experimental data show that the feed produced from the new harvest grain, enriched with the enzyme Megazim X (100 g/t), provided the superiority of the chickens of the I experimental group in terms of live weight, cost of 1 kg of growth and profitability over the peers from the other experimental groups. In connection with the results obtained, it is recommended to introduce the enzyme Megazim X into the feed at a dosage of 100 g/t.

Библиографический список

1. Соничев Б. Е. и др. Влияние мультиферментных препаратов в составе рациона на гематологические показатели цыплят-бройлеров. Главный зоотехник. 2023. № 9 (242). С. 27-36.
2. Соничев Б. Е. и др. Влияние различных мультиферментных препаратов на переваримость и использование питательных веществ цыплятами-бройлерами. Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2023. № 9 (218). С. 3-14.
3. Даскиев Р. А. и др. Влияния ферментных композиций на продуктивность цыплят-бройлеров при использовании зерна нового урожая. Вестник Курганской ГСХА. 2025. № 4 (56). С. 34-43.
4. Егоров И. А. и др. Возрастные изменения биохимических показателей крови у мясных цыплят (*Gallus Gallus*L.). Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 4. С. 820-830.
5. Касанова Н. Р. и др. Изучение влияния ферментативного препарата на рост и показатели крови цыплят бройлеров. Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2022. Т. 252. № 4. С. 99-103.
6. Костенко А. С., Касанова Н. Р., Микрюкова Е. Ю. Влияние бетаина на прирост живой массы цыплят. Проблемы и пути развития ветеринарной и зоотехнической наук: материалы Международной научно-практической конференции. Саратов, 2021. С. 639-642.
7. Соколова Т. М. и др. Натуральный продукт в рационе цыплят-бройлеров. Птицеводство. 2018. № 9. С. 25-29.
8. Околелова Т. М., Енгашев С. В. Минимизация рисков при использовании свежееубранного зерна в комбикормах для птицы. Ветеринария и кормление. 2020. № 1. С. 8-12.
9. Павленко А. В., Горнеев А. А. Практические советы по использованию зерна нового урожая. Эффективное животноводство. 2019. № 7 (155). С. 70-71.
10. Остренко К. С. и др. Роль антиоксидантов в комбикормах для петухов родительского стада. Птицеводство. 2018. № 8. С. 23-25.
11. Шпынова С. А., Ядрищенская О. А., Басова Е. А. Кормовая добавка на основе природного сырья. Птицеводство. 2018. № 8. С. 26-28.
12. Щербинин С. Эффективное использование ферментов для зерна нового урожая. Животноводство России. 2023. № 7. С. 48.
13. Jeyasri R. et al. An overview of abiotic stress in cereal crops: negative impacts, regulation, biotechnology and integrated omics. Plants. 2021. V. 10. No 7. Art. 1472.
14. Nayik G. A., Tufail T., Ansari M. J. Cereal grains: composition, nutritional attributes, and potential applications. CRC Press, 2023.
15. Emtseva M. V. The use of Vrn genes for creation of triticale forms with different length of vegetation period. Agric. Biol. 2019. V. 55. Pp. 3-14.
16. Olugbire O. O., Olorunfemi S., Oke D. O. Global utilisation of cereals: sustainability and environmental issues. Agro-Science. 2021. V. 20. No 1. Pp. 9-14.
17. Samtiya M., Aluko R. E., Dhewa T. Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: an overview. Food Production, Processing and Nutrition. 2020. V. 2. No 1. P. 6.

References

1. Sonichev B. E. et al. The effect of multi-enzyme preparations in the diet on the hematological parameters of broiler chickens. Chief Zootechnician. 2023. No 9 (242). Pp. 27-36.
2. Sonichev B. E. et al. The effect of various multi-enzyme preparations on the digestibility and utilization of nutrients by broiler chickens. Feeding of Farm Animals and Feed Production. 2023. No 9 (218). Pp. 3-14.
3. Daskiev R. A. et al. Influence of enzyme compositions on the productivity of broiler chickens when using grain from a new harvest. Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy. 2025. No 4 (56). Pp. 34-43.
4. Egorov I. A. et al. Age-related changes in biochemical blood parameters in meat chickens (*Gallus Gallus*L.). Agricultural Biology. 2018. V. 53. No 4. Pp. 820-830.
5. Kasanova N. R. et al. Study of the effect of an enzymatic preparation on the growth and blood parameters of broiler chickens. Proceedings of the Kazan State Veterinary Academy named after N. E. Bauman. 2022. Vol. 252. No 4. Pp. 99-103.

6. Kostenko A. S., Kasanova N. R., Mikryukova E. Yu. The effect of betaine on the live weight gain of chickens. Problems and Ways of Development of Veterinary and Animal Science: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Saratov, 2021. Pp. 639-642.
7. Sokolova T. M. et al. Natural Product in the Diet of Broiler Chickens. Poultry Farming. 2018. No 9. Pp. 25-29.
8. Okololova T. M., Engashev S. V. Minimization of Risks When Using Freshly Harvested Grain in Poultry Feed. Veterinary Medicine and Feeding. 2020. No 1. Pp. 8-12.
9. Pavlenko A. V., Gorneyev A. A. Practical tips for using new-crop grain. Effective Animal Husbandry. 2019. No 7 (155). Pp. 70-71.
10. Ostrenko K. S. et al. The role of antioxidants in compound feed for roosters of the parent flock. Poultry Farming. 2018. No 8. Pp. 23-25.
11. Shpynova S. A., Yadrishchenskaya O. A., Basova E. A. Feed additive based on natural raw materials. Poultry Farming. 2018. No 8. Pp. 26-28.
12. Shcherbinin S. Effective use of enzymes for new-crop grain. Animal Husbandry of Russia. 2023. No 7. P. 48.
13. Jeyasri R. et al. An overview of abiotic stress in cereal crops: negative impacts, regulation, biotechnology and integrated omics. Plants. 2021. V. 10. No 7. Art. 1472.
14. Nayik G. A., Tufail T., Anjum F. M., Ansari M. J. Cereal grains: composition, nutritional attributes, and potential applications. CRC Press, 2023.
15. Emtseva M. V. The use of Vrn genes for creation of triticale forms with different length of vegetation period. Agric. Biol. 2019. V. 55. Pp. 3-14.
16. Olugbire O. O., Olorunfemi S., Oke D. O. Global utilization of cereals: sustainability and environmental issues. Agro-Science. 2021. V. 20. No 1. Pp. 9-14.
17. Samtiya M., Aluko R. E., Dhewa T. Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: an overview. Food Production, Processing and Nutrition. 2020. V. 2. No 1. P. 6.

Информация об авторах

Даскиев Руслан Ахметович, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: daskiev.r@megamix.ru

Федорова Елена Юрьевна, доктор биологических наук, доцент, профессор, Московский городской педагогический университет (Российская Федерация, 129226, г. Москва, 2-й Сельскохозяйственный проезд, 4), e-mail: elefedor@yandex.ru

Водяникова Вера Владимировна, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: vera.shkalenko@mail.ru

Николаев Сергей Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

Чехранова Светлана Викторовна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: schekhranova@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

Authors' Information

Daskiev Ruslan Akhmetovich, postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: daskiev.r@megamix.ru

Fedorova Elena Yuryevna, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor, Moscow City Pedagogical University (Russian Federation, 129226, Moscow, 2nd Agricultural Passage, 4), e-mail: elefedor@yandex.ru

Vodyannikova Vera Vladimirovna, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: vera.shkalenko@mail.ru

Nikolaev Sergey Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

Chekhranova Svetlana Viktorovna, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: schekhranova@mail.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

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-50

THE HYBRID OF THE RUSSIAN AND SIBERIAN STURGEON PHYSIOLOGICAL STATE WHEN THE ATTRACTANTS' DIFFERENT QUANTITIES ARE USED IN FEEDING

¹Isakov A. D., ¹Poddubnaya I. V., ²Ryadnov A. A.

¹Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov
Saratov, Russian Federation

²Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: isakov.work12@mail.ru, poddubnayaiv@yandex.ru, radnov@mail.ru

Received 02.02.2026

Submitted 30.03.2026

Abstract

Introduction. This paper presents the results of an experiment examining the growth processes, blood condition, and chemical analysis of muscle tissue in hybrid Russian and Siberian sturgeons exposed to varying dosages of the DEL'AR Salmon attractant during aquarium rearing. Based on the data obtained, body

weight gains were calculated, allowing for an objective assessment of the attractant's effectiveness at different supplement levels. The greatest body weight gain was observed in the experimental group receiving a dosage of 0.3 g of DEL'AR Salmon attractant per 1 kg of feed. In this group, fish exhibited higher growth rates and improved feed intake, indicating a positive effect of the supplement on feeding behavior and metabolism. Blood analysis of the hybrid Russian and Siberian sturgeon showed that metabolic processes were within normal physiological limits in all experimental groups. Moreover, biochemical blood tests of fish from the second experimental group indicate favorable liver function and a balanced protein, carbohydrate, and mineral metabolism, indicating a greater physiological adaptation to the attractant. A chemical analysis of muscle tissue revealed a relatively high protein content in the second experimental group, averaging 17.5 %, and an average fat content of approximately 2 %. Therefore, the optimal dosage of DEL'AR "Salmon" attractant for feeding hybrid Russian and Siberian sturgeon is 0.3 g per 1 kg of feed. This amount of attractant in the sturgeon diet promotes growth rates and maintains optimal hematological parameters.

Keywords: *attractants, sturgeon fish, sturgeon fish hybrids, artificial breeding of sturgeon fish, feeding of sturgeon fish, and hematological parameters of sturgeon fish.*

Citation. Isakov A. D., Poddubnaya I. V., Ryadnov A. A. The hybrid of the Russian and Siberian sturgeon physiological state when the attractants' different quantities are used in feeding. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 460-469 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-50.

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 639.3.043

ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ГИБРИДА РУССКОГО И СИБИРСКОГО ОСЕТРА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В КОРМЛЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ КОЛИЧЕСТВ АТТРАКТАНТА

¹Исаков А. Д., аспирант

¹Поддубная И. В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

²Ряднов А. А., доктор биологических наук, профессор

¹Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова
Саратов, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. В работе представлены результаты эксперимента по изучению ростовых процессов, состояния крови и химического анализа мышечной ткани гибрида русского и сибирского осетров под влиянием различных доз аттрактанта «Лосось» DEL'AR при выращивании в аквариумах. На основании полученных данных были рассчитаны приросты массы тела рыб, что позволило объективно оценить эффективность использования аттрактанта при разных уровнях добавки. Наибольший прирост массы тела отмечен в опытной группе, где использовалась дозировка 0,3 г аттрактанта «Лосось» DEL'AR на 1 кг комбикорма. В этой группе рыбы отличались более высокой интенсивностью роста и лучшей поедаемостью корма, что свидетельствует о положительном влиянии добавки на пищевое поведение и обмен веществ. Анализ крови гибрида русского и сибирского осетров показал, что во всех экспериментальных группах метаболические процессы находились в пределах физиологической нормы. При этом результаты биохимического исследования крови рыб второй опытной группы свидетельствуют о благоприятном функциональном состоянии печени и сбалансированности белкового, углеводного и минерального обмена, что указывает на более высокую физиологическую адаптацию организма к применению аттрактанта. Химический анализ мышечной ткани показал довольно высокий процент белка во 2-й опытной группе – в среднем 17,5 %, средняя доля жира была в районе 2 %. Таким образом, оптимальной дозировкой аттрактанта «Лосось» DEL'AR, используемой в кормлении гибрида русского и сибирского осетров, является 0,3 г на 1 кг комбикорма. Применение данного количества аттрактанта в рационе осетровых рыб способствует повышению скорости роста и поддерживает гематологические показатели на оптимальном уровне.

Ключевые слова: *аттрактанты, осетровые рыбы, гибриды осетровых рыб, искусственное разведение осетровых рыб, кормление осетровых рыб, гематологические показатели осетровых рыб.*

Цитирование. Исаков А. Д., Поддубная И. В., Ряднов А. А. Физиологическое состояние гибрида русского и сибирского осетра при использовании в кормлении различных количеств аттрактанта. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 460-469. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-50.

Авторский вклад. Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации и в равной степени несут ответственность за соблюдение этических норм в отношении публикации, распространения и использования результатов научного исследования.

Конфликт интересов. Все авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение Рост и темпы развития рыб в значительной степени определяются условиями внешней среды, а также физиологическим состоянием организма. Существенную роль среди факторов, влияющих на ростовые процессы, играет обеспеченность полноценным кормом и его доступность. В условиях индустриального рыбоводства осетровые виды, как правило, содержатся на рационах искусственного происхождения. В связи с этим особое значение приобретает высокая поедаемость кормов, позволяющая снизить производственные затраты и повысить эффективность выращивания.

Одним из способов повышения результативности работы рыбоводных хозяйств является применение аттрактантов. Под аттрактантами понимают соединения, способные вызывать у рыб и других гидробионтов пищевую реакцию и привлекать их к источнику корма. Применение аттрактантов способствует повышению эффективности кормления, ускорению роста рыб, регулированию численности популяций, а также снижению стрессовой нагрузки на организм.

Для достижения наилучшего результата важно правильно использовать эти вещества: их добавляют непосредственно в состав сухих комбикормов или применяют в виде растворов, обрабатывающих кормовые гранулы либо поверхность воды.

Согласно результатам ряда исследований, введение аттрактантов в кормовые смеси повышает их привлекательность для рыб, что, в свою очередь, способствует увеличению скорости и интенсивности потребления пищи. Экспериментальные данные также указывают на влияние этих веществ на поведенческие реакции рыб, включая улучшение ориентации в пространстве и более эффективный поиск пищи. Вместе с тем различные типы аттрактантов могут по-разному воздействовать на процессы пищеварения и темпы роста, поэтому для определения оптимальных доз и форм применения необходимы дополнительные исследования [1, 2, 3]. Таким образом, целью работы явилось определение влияния оптимального количества аттрактанта «Лосось» DEL`AR, используемого в кормлении, на ростовые процессы, показатели крови и химический состав мышечной ткани гибрида осетра.

Материалы и методы исследования. На основании данных, полученных при проведении исследований по введению в рационы рыб усилителей вкуса различными учеными [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10], определено количество и способ введения аттрактанта в рацион гибрида, полученного при скрещивании русского и сибирского осетра (*Acipenser gueldenstaedtii* × *Acipenser baerii*).

В научно-исследовательской лаборатории «Прогрессивные биотехнологии в аквакультуре» ФГБОУ ВО «Вавиловский университет» была проведена серия экспериментальных исследований. Основной целью работы стало изучение воздействия аттрактанта «Лосось» DEL`AR на физиологическое состояние гибридного осетра.

Для реализации поставленной задачи по методу подбора пар-аналогов сформировали экспериментальную группу, включавшую 40 особей гибрида. Средняя масса рыб в выборке составила 270 г. Животных равномерно, по 10 экземпляров, распределили по четырём аквариумам вместимостью 250 л.

На всём протяжении экспериментального периода осуществляли систематический мониторинг гидрохимических показателей водной среды. Ежедневно в полдень проводили замеры ключевых параметров: фиксировали температуру воды, уровень pH и концентрацию растворённого кислорода.

Кормление подопытных особей выполняли трижды в сутки – строго в 9:00, 13:00 и 17:00. В качестве корма использовали полнорационный комбикорм с гранулами диаметром 4 мм. Размер гранул подбирали с учётом массы рыб (200-500 г) в соответствии с предусмотренной схемой опыта (таблица 1).

Таблица 1 – Организация экспериментальных групп, 2025 г.

Table 1 – Design of experimental groups, 2025

Контрольная / Control	Полнорационный комбикорм (ПК) / Complete compound feed (CCF)
1-я опытная / test group 1	ПК с добавлением аттрактанта «Лосось» DEL`AR, 0,15 г на 1 кг комбикорма / CCF with the addition of DEL`AR Salmon Attractant, 0.15 g per 1 kg of compound feed
2-я опытная / test group 2	ПК с добавлением аттрактанта «Лосось» DEL`AR, 0,3 г на 1 кг комбикорма / CCF with the addition of DEL`AR Salmon Attractant, 0.3 g per 1 kg of compound feed
3-я опытная / test group 3	ПК с добавлением аттрактанта «Лосось» DEL`AR, 0,6 г на 1 кг комбикорма / CCF with the addition of DEL`AR Salmon Attractant, 0.6 g per 1 kg of compound feed

При кормлении использовался корм компании ООО «Прометрика» г. Саратов «Оптимума CWSS». Кормовая смесь включала следующие основные ингредиенты: рыбную муку, крилевую муку, мясную муку и другие компоненты животного происхождения, муку из зародышей пшеницы, кукурузный и пшеничный глютен, гидролизат коллагенового белка, лецитин и рыбий жир. Кроме того, в состав рациона входили функциональные добавки и биологически активные вещества, такие как β -глюканы, маннанолигосахариды, антиоксиданты, а также комплекс минеральных и витаминных компонентов, аминокислоты и функциональные добавки. Химический состав корма представлен в таблице 2.

Каждые 10 дней проводили корректировку норм кормления на основании данных контрольных взвешиваний. Суточную дозу корма рассчитывали по стандартной методике с обязательным учётом трёх ключевых факторов: температуры воды, концентрации растворённого кислорода и массы рыб.

В качестве добавки, стимулирующей потребление корма, применяли аттрактант «Лосось 10.05.003 Z» DEL`AR. Препарат характеризуется выраженным ароматом, способствующим повышению поедаемости кормовых смесей.

Таблица 2 – Состав комбикорма по химическим показателям, 2025 г.

Table 2 – Chemical characteristics of the compound feed, 2025

Питательный профиль / Nutritional profile		Витаминный профиль / Vitamin profile		Липидный профиль / Lipid profile	
Протеин, % / Protein, %	46-48	Витамин А (Ретинол), МЕ/кг / Vitamin A (Retinol), IU/kg	12000	Омега 3, % / Omega 3, %	19
Жир, % / Fat, %	15-18	Витамин D3, МЕ /кг / Vitamin D3, IU /kg	2100	Омега 6, % / Omega 6, %	16
Клетчатка, % / Fiber, %	1,9	Витамин Е, мг/кг / Vitamin E, mg/kg	340	EPA+DHA, %	11
Фосфор, % / Phosphorus, %	1	Витамин С, мг/кг / Vitamin C, mg/kg	525		
Зола, % / Ash, %	8				

По внешнему виду это порошкообразная смесь с характерным рыбным запахом, вводится в рацион осетровых рыб путем орошения корма раствором, в который предварительно вносился данный аттрактант. В состав аттрактанта «Лосось 10.05.003 Z» DEL`AR входят в качестве действующих веществ: вкусоароматические вещества, в том числе натуральные (21 %), а также вспомогательные вещества – мальтодекстрин и усилители вкуса и аромата (глутамат натрия и рибонуклеотиды натрия). Пищевая ценность 100 г продукта: белки 0,5 г, жиры 0,1 г, углеводы 78,2 г.

Динамика ихтиомассы отслеживалась с декадной периодичностью. В рамках каждой контрольной точки выполняли индивидуальное взвешивание 10 представителей популяции на электронных весах с погрешностью ± 1 г. После сбора первичных данных определяли среднее значение массы рыбы, которое использовали для дальнейшего анализа роста.

Рыбоводно-биологические показатели определяли по следующим формулам [14-16]:

- абсолютный прирост ($P_{аб}$) = $m_k - m_o$;
- среднесуточный прирост ($P_{ср.сут.}$) = $(m_k - m_o) / t$;
- относительный прирост (A_o) = $((W_l - W_o) : W_o) \times 100$;
- коэффициент массонакопления (K_m) = $((m_k^{1/3} - m_o^{1/3}) \times 3) / t$;

где m_k и m_o – конечная и начальная масса рыбы (г), t – продолжительность исследования (сут.).

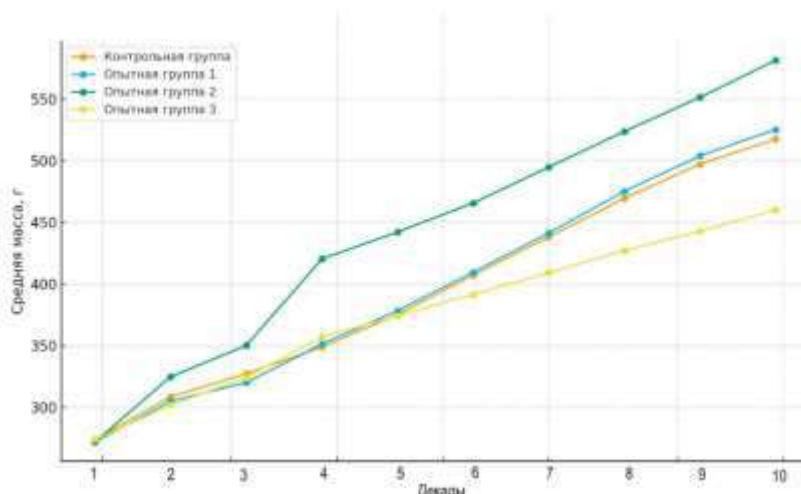
Полученные экспериментальные данные подвергнуты статистической обработке по методике Плохинского Н. А., с применением программно-вычислительного пакета MS Excel 2007. Достоверность различий выборок оценивали по критерию Стьюдента.

Результаты исследований. В процессе выращивания гибрида русского и сибирского осетра в аквариумной системе с использованием аттрактанта «Лосось» DEL`AR обеспечивался оптимальный гидрохимический режим, соответствующий биологическим потребностям вида. На протяжении всего эксперимента температура воды поддерживалась на уровне $+20,0 \pm 1,0$ °С. Концентрация растворённого кислорода стабильно находилась в диапазоне 6,3-6,7 мг/л, а показатель pH сохранялся на отметке около 7,8 (таблица 3).

Таблица 3 – Физико-химический анализ воды, 2025 г.
Table 3 – Physical and chemical analysis of water, 2025 г.

Показатель / Indicator	Значение / Value
Температура, °C / Temperature, °C	19,0-21,0
pH	7,8
Кислород, мг/л / Oxygen, mg/l	6,5
Углекислота, мг/л / Carbon dioxide, mg/l	8,0
Солевой аммиак, мг/л / Salt ammonia, mg/l	0,1
Нитриты, мг/л / Nitrites, mg/l	0,2
Нитраты, мг/л / Nitrates, mg/l	0,5
Общее железо, мг/л / Total iron, mg/l	0,7
Хлориды, мг/л / Chlorides, mg/l	2,0
Сульфаты, мг/л / Sulfates, mg/l	3,0
Щелочность, мг/л / Alkalinity, mg/l	1,5

Основными показателями, определяющими физиологическое состояние рыбы, являются ростовые процессы и состояние крови. С целью оценки влияния различных доз аттрактанта на метаболические процессы у рыб в рамках проведённого исследования была изучена динамика изменения средней массы тела (рисунок 1).

Рисунок 1 – Показатели динамики средней массы гибридного осетра, г
Figure 1 – Dynamics of the average weight of hybrid sturgeon, g

Уже на первой неделе эксперимента особи второй опытной группы, которым в основной рацион добавляли 0,3 г аттрактанта, демонстрировали более интенсивный прирост массы в сравнении с контрольной и остальными экспериментальными группами. К окончанию исследования средняя масса рыб в этой группе составила $581,8 \pm 2,5$ г, что на 56,3 г превышало показатель контрольной группы ($\geq 0,999$).

В 1-й опытной группе, где в рацион дополнительно вводили аттрактант из расчёта 0,15 г на 1 кг корма, начиная с четвёртой декады эксперимента также отмечалось превышение средней массы особей по сравнению с контрольными рыбами.

Для более детальной оценки эффективности применения аттрактанта были рассчитаны абсолютный, относительный и среднесуточный приросты, а также коэффициент масонакопления у гибрида осетра. При этом выживаемость рыб во всех исследуемых группах составила 100 %. Наиболее высокие значения по всем указанным показателям были зафиксированы во второй опытной группе. Анализ данных эксперимента показал, что наибольший абсолютный прирост средней массы был зафиксирован у рыб, получавших аттрактант в дозировке 0,3 г/кг корма (таблица 4). Превышение над показателем контрольной группы составило 66,1 г, что подтверждает эффективность выбранной дозировки.

Таблица 4 – Динамика прироста массы и показатели выживаемости гибридного осетра (масса 2025 г)
Table 4 – Dynamics of mass gain and survival indicators of the hybrid sturgeon (body weight 2025 g)

Показатель / Indicator	контрольная группа / control group	1-я опытная группа / test group 1	2-я опытная группа / test group 2	3-я опытная группа / test group 3
Средняя масса начальная, г / Average initial weight, g	274,0 ± 1,38	272,0 ± 0,91	272,0 ± 0,91	274,0 ± 1,38
Средняя масса конечная, г / The average final weight, g	517,7 ± 2,69	525,5 ± 2,34	581,8 ± 2,5***	460,5 ± 2,6
Абсолютный прирост, г / Absolute increase, g	243,7	253,5	309,8	186,5
Относительный прирост, % / Relative increase	66,14	68,54	80,67	53,70
Среднесуточный прирост, г / Average daily increase, g	2,71	2,82	3,44	2,07
Коэффициент массонакопления, ед. / Mass accumulation coefficient, units	0,051	0,053	0,062	0,041
Выживаемость, % / Survival rate, %	100	100	100	100

***P ≥ 0,999.

У особей из этой же экспериментальной группы также наблюдался более высокий относительный и среднесуточный прирост массы гибрида осетра: 80,67 % и 3,44 г, что на 14,53 % и 0,73 г выше, соответственно, чем в контрольной группе. Группа, получавшая аттрактант в дозировке 0,3 г/кг корма, продемонстрировала коэффициент накопления массы на 0,011 единиц выше, чем в контрольной группе. Данный факт свидетельствует об улучшении усвояемости корма и более благоприятном физиологическом состоянии рыб. При этом именно во второй экспериментальной группе, где применяли аттрактант DEL'AR «Лосось» в указанной дозировке, отмечен наиболее интенсивный рост – он превосходил темпы прироста массы в двух других экспериментальных группах. Это напрямую коррелирует с повышением потребления корма под действием аттрактанта.

В завершение эксперимента у трёх рыб из каждой группы был проведен забор крови из сердца с последующим определением клинических и биохимических показателей крови.

Результаты анализа гематологических характеристик гибрида осетра показали, что состояние крови во многом определяется рационом, возрастом рыб и условиями их содержания (таблица 5).

Таблица 5 – Характеристика клинических показателей крови гибрида осетра (n = 3), 2025 г.

Table 5 – Characteristics of clinical parameters of blood of hybrid sturgeon (n=3), 2025

Показатель / Indicator	Единицы измерения / Measurement units	контрольная группа / control group	1-я опытная группа / test group 1	2-я опытная группа / test group 2	3-я опытная группа / test group 3
Лейкоциты / White blood cells	10 ⁹ /л / 10 ⁹ /l	32,57 ± 0,26	36,60 ± 1,91	35,30 ± 2,66	35,70 ± 1,06*
Эритроциты / Red blood cells	10 ¹² /л / 10 ¹² /l	1,27 ± 0,12	1,37 ± 0,18	1,37 ± 0,23	1,30 ± 0,06
Гемоглобин / Hemoglobin	г/л / g/l	90,33 ± 0,88	96,00 ± 7,37	116,33 ± 2,6***	91,33 ± 1,20
СОЭ / ESR	мм/час / mm/hour	5,00 ± 1,15	6,00 ± 0,58	5,00 ± 1,15	5,67 ± 0,33

*P ≥ 0,95; ***P ≥ 0,999.

Улучшенная поедаемость корма во второй опытной группе обусловила наиболее благоприятные значения морфологических показателей и уровня гемоглобина. При этом в других опытных группах, где дозировка аттрактанта составляла 1,5 и 3 г/кг корма, зафиксировано достоверное увеличение количества эритроцитов – на 0,1×10¹²/л, а также концентрации гемоглобина – на 5,67 и 26,00 г/л соответственно. Полученные данные свидетельствуют о положительном влиянии аттрактанта на эритропоэз и интенсификацию газообменных процессов у рыб. Анализ биохимических показателей крови гибрида осетра, выращенного в лабораторных условиях с добавлением аттрактанта DEL'AR Salmon в рацион, позволил оценить активность печёночных ферментов – аланинаминотрансферазы (АЛТ) и

аспартатаминотрансферазы (АСТ). Также были проанализированы концентрации прямого и общего билирубина, сывороточного белка, креатинина, щелочной фосфатазы, глюкозы, кальция и фосфора (см. таблицу 6). Результаты оценки билирубинового обмена свидетельствовали о том, что функциональное состояние печени у гибрида русского и сибирского осетра во всех экспериментальных группах соответствовало физиологической норме.

В то же время во второй опытной группе наблюдалось наиболее оптимальное соотношение фракций билирубина, что свидетельствует о сниженной метаболической нагрузке на печень и более эффективном процессе обезвреживания и выведения продуктов распада гемоглобина. В контрольной, первой и третьей опытных группах показатели билирубина были выше по сравнению со второй опытной группой.

Активность аминотрансфераз в сыворотке крови имела выраженные межгрупповые различия. В контрольной группе отмечалась наибольшая активность как аспартатаминотрансферазы, так и аланинаминотрансферазы, что может свидетельствовать о более интенсивной функциональной нагрузке на печёночную ткань. В опытных группах наблюдалось снижение активности данных ферментов, наиболее выраженное во второй опытной группе, где уменьшение активности аланинаминотрансферазы сочеталось с умеренным снижением аспартатаминотрансферазы. Данная особенность указывает на более стабильное состояние мембран гепатоцитов и отсутствие признаков цитолитических процессов.

Таблица 6 – Значения отдельных биохимических показателей сыворотки крови гибрида осетра (n = 3), 2025 г.

Table 6 – Values of individual biochemical parameters of blood serum of hybrid sturgeon (n=3), 2025

Показатель / Indicator	Единицы измерения / Measurement units	контрольная группа / control group	1-я опытная группа / test group 1	2-я опытная группа / test group 2	3-я опытная группа / test group 3
Билирубин общий / Total bilirubin	мкмоль/л / mmol/l	21,93 ± 2,47	22,53 ± 2,09	15,00 ± 1,61	19,17 ± 0,34
Билирубин прямой / Direct bilirubin	мкмоль/л / mmol/l	4,87 ± 0,33	5,73 ± 0,19	4,20 ± 0,25	5,30 ± 0,47
АСТ / AST	Ед./л / units/l	79,13 ± 3,47	73,67 ± 2,98	65,70 ± 2,73*	72,43 ± 6,47
АЛТ / ALT	Ед./л / units/l	117,60 ± 14,48	109,80 ± 2,31	68,97 ± 11,39	89,50 ± 4,24
Белок общий / Total protein	г/л / g/l	78,20 ± 1,51	69,70 ± 3,33	77,10 ± 1,73	76,23 ± 5,56
Креатинин / Creatinine	мкмоль/л / mmol/l	125,47 ± 7,73	148,63 ± 4,32	100,77 ± 5,52	141,13 ± 8,25
Щелочная фосфатаза / Alkaline phosphatase	Ед./л / units/l	151,17 ± 5,66	58,27 ± 8,75***	50,70 ± 5,69***	106,03 ± 6,78**
Глюкоза / Glucose	ммоль/л / mmol/l	3,20 ± ,35	3,10 ± 0,35	3,33 ± 0,43	3,27 ± 0,43
Кальций / Calcium	ммоль/л / mmol/l	3,97 ± 0,03	4,1 ± 0,17	3,67 ± 0,24	3,70 ± 0,20
Фосфор / Phosphorus	ммоль/л / mmol/l	4,47 ± 0,35	4,40 ± 0,35	4,43 ± 0,38	4,50 ± 0,20

*P ≥ 0,95; **P ≥ 0,99; ***P ≥ 0,999.

Коэффициент де Ритиса, отражающий соотношение активности аспартатаминотрансферазы и аланинаминотрансферазы, в контрольной и первой опытной группах имел сходные значения и составлял около 0,67, что характерно для преобладания активности аланинаминотрансферазы. В третьей опытной группе данный показатель увеличивался до 0,81, тогда как во второй опытной группе коэффициент де Ритиса был максимальным и приближался к 0,95. Повышение данного показателя во второй опытной группе свидетельствует о более сбалансированном ферментативном профиле и оптимальном функциональном состоянии печени и сердца.

Концентрация общего белка в сыворотке крови рыб контрольной и опытных групп оставалась в целом стабильной. При этом во второй опытной группе значения показателя практически соответствовали контрольным и превышали таковые в первой опытной группе,

что свидетельствует о сохранности синтетической функции печени и нормальном течении белкового обмена у особей данной группы. Анализ уровня креатинина выявил его минимальные значения во второй опытной группе по сравнению с остальными экспериментальными группами. Это может указывать на более рациональное использование белковых субстратов и меньшую нагрузку на мышечную ткань и выделительную систему. В первой и третьей опытных группах содержание креатинина было повышенным, что может быть связано с усилением катаболических процессов.

Активность щелочной фосфатазы в экспериментальных группах была ниже, чем в контрольной, при этом наиболее заметное снижение наблюдалось во второй опытной группе. В сочетании с сохранением стабильных уровней кальция и фосфора это свидетельствует о нормальном минеральном обмене и правильном протекании процессов формирования костной и хрящевой ткани.

Показатели углеводного обмена во всех исследуемых группах находились на сопоставимом уровне, что свидетельствует об отсутствии стрессовых реакций и стабильном энергетическом обеспечении организма рыб. Концентрации кальция и фосфора также не демонстрировали выраженных отклонений, подтверждая сбалансированность кальциево-фосфорного обмена у гибрида русского и сибирского осетра [11].

Для оценки физиологического состояния необходимы исследования химического состава мышечной ткани. По окончании опыта были взяты образцы мышечной ткани у трех особей гибрида осетра из каждой группы для определения химического состава мяса рыбы.

Исследованы показатели: массовая доля влаги, массовая доля жира, массовая доля сырой золы, массовая доля кальция, массовая доля фосфора (таблица 7).

Таблица 7 – Результаты исследований образцов мышечной ткани (n = 3), 2025 г.

Table 7 – Results of muscle tissue sample analyses (n = 3), 2025

Показатель / Indicator	контрольная группа / control group	1-я опытная группа / test group 1	2-я опытная группа / test group 2	3-я опытная группа / test group 3
Массовая доля влаги, % / Mass fraction of moisture, %	76,72 ± 1,95	80,00 ± 1,17	78,07 ± 0,66	80,27 ± 1,04
Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, %	17,43 ± 0,61	16,65 ± 0,35	17,94 ± 0,38	17,15 ± 0,49
Массовая доля жира, % / Mass fraction of fat, %	4,27 ± 1,25	2,23 ± 0,26	3,13 ± 0,74	1,47 ± 0,71
Массовая доля сырой золы, % / Mass fraction of crude ash, %	0,97 ± 0,03	0,77 ± 0,3*	0,73 ± 0,12	0,57 ± 0,03**
Массовая доля кальция Ca), % / Mass fraction of calcium Ca), %	0,31 ± 0,08	0,32 ± 0,3	0,35 ± 0,01	0,30 ± 0,02
Массовая доля фосфора (P), % / Mass fraction of phosphorus (P), %	0,03 ± 0,01	0,03	0,02 ± 0,01	0,04 ± 0,01

*P ≥ 0,95; **P ≥ 0,99.

На основании проведенного исследования можно заключить, что введение аттрактанта в дозировке 0,3 г на кг корма оказывает положительное влияние на питательную ценность мышечной ткани гибрида осетра. Так, во второй опытной группе содержание белка было максимальным среди всех экспериментальных групп и составило 17,94 %, что на 0,51 % превышало показатель контрольной группы, а также на 1,29 % и 0,79 % – по сравнению с первой и третьей опытными группами соответственно. Эта же группа показала наибольшее содержание кальция, превысив контрольные значения на 0,04 %. Содержание жира во второй опытной группе оказалось ниже, чем в контрольной, на 1,14 %, однако оставалось выше, чем в остальных экспериментальных группах.

Установлено, что дозировка аттрактанта «Лосось» DEL`AR в 0,6 г/кг комбикорма оказывает негативное влияние на обменные процессы у гибридных осетров, о чём свидетельствует замедление их роста в сравнении с группами, получавшими 0,15 г и 0,3 г препарата на 1 кг массы тела рыбы.

Выводы. Оптимальной дозировкой аттрактанта «Лосось» DEL`AR признана величина 0,3 г/кг комбикорма: именно она обеспечила наиболее высокие темпы роста гибрида русского и сибирского осетра относительно контрольной группы и вариантов с дозами 0,15 г и 0,6 г/кг. Гематологический анализ подтвердил, что во всех группах обменные процессы протекали в пределах физиологической нормы. При этом у рыб второй опытной группы отмечены наиболее

благоприятные показатели функционального состояния печени и сбалансированности белково-углеводного и минерального обмена, что свидетельствует о более высокой физиологической адаптации к условиям эксперимента. Химический анализ мышечной ткани 2-й опытной группы показал довольно высокий процент белка, в среднем 17,5 %, средняя доля жира была в районе 2 %. Полученные данные позволяют рассматривать количество аттрактанта 0,3 г на 1 кг корма как оптимальное для выращивания гибрида осетровых.

Conclusions. When using a dosage of 0.3 g per 1 kg of compound feed, the attractant «Salmon» DEL`AR leads to improved growth performance in the hybrid of Russian and Siberian sturgeon, compared to groups receiving dosages of 0.15 g and 0.6 g per 1 kg of compound feed.

A hematological analysis of the Russian-Siberian sturgeon hybrid revealed that metabolic processes in all study groups remained within physiological norms. Notably, fish in the second experimental group exhibited the most favorable hepatic functional state and a balanced protein, carbohydrate, and mineral metabolism, indicating greater physiological adaptation of the organism to the experimental conditions.

Chemical analysis of muscle tissue from the second experimental group showed a relatively high protein content, averaging 17.5 %, with an average fat content of approximately 2 %.

These findings suggest that an attractant dosage of 0.3 g per 1 kg of feed can be considered optimal for rearing the sturgeon hybrid.

Библиографический список

1. Басонов О. А., Судавкова А. В. Особенности роста и развития осетровых и их гибридных форм в промышленных условиях. Аграрный научный журнал. 2023. № 5. С. 62-66.
2. Рабазанов Н. И., Маммаев М. А. Технологические факторы при выращивании посадочного материала стерляди в установке с замкнутым циклом водоснабжения. Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2022. № 2 (199). С. 63-75.
3. Поддубная И. В., Васильев А. А., Сучков В. В. Эффективность выращивания гибридов осетровых рыб с использованием в рационе биологически активных веществ. Аграрный научный журнал. 2022. № 2. С. 50-53.
4. Кочетков Н. И. и др. Современные подходы к исследованию эффективности пробиотиков в аквакультуре. Успехи современной биологии. 2024. Т. 144. № 5. С. 550-584.
5. Шкаленко В. В. и др. Совершенствование пород осетровых рыб. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 4 (68). С. 252-257.
6. Мельченков Е. А. и др. Сравнительные результаты выращивания чистых видов и гибридных форм сибирского и русского осетров. Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2021. № 2 (181). С. 20-33.
7. Васильев И. Н. Использование биологически активных добавок и аттрактантов в кормах для рыб. Современные проблемы аквакультуры. 2018. Т. 10. № 2. С. 60-65.
8. Kamler E. et al. Optimization of feeding attractants in sturgeon aquaculture: a review. Aquaculture International. 2024. Vol. 32. No 1. Pp. 1-21.
9. Hu J. et al. Weight estimation and monitoring in sturgeon aquaculture using deep learning. Fishes. 2024. Vol. 9. No. 11.
10. Денисенко О. С. К вопросу о возможности комплексного использования в аквакультуре каротинсодержащих препаратов в составе искусственных комбикормов для осетровых видов рыб. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство, 2019. № 2. С. 102-110.
11. Siddiqui S. Q. et al. Meta-analysis of attractant use in sturgeon aquaculture: effects on growth and feed efficiency. Aquaculture Nutrition. 2022. Vol. 28. № 4. Pp. 1123-1135.
12. Suchkov V. V. Efficiency of use of combined feeds by a hybrid of Russian and Siberian sturgeon at different levels of biologically active additive "Abiotonik". Aquaculture Research. 2023. Vol. 54. N5. Pp. 1678-1687.

References

1. Basonov O. A., Sudakova A. V. Features of growth and development of sturgeon and their hybrid forms in industrial conditions. Agrarian Scientific journal. 2023. No 5. Pp. 62-66.
2. Rabazanov N. I., Mammaev M. A. Technological factors in the cultivation of sterlet planting material in a closed-loop installation water supply. Feeding of farm animals and feed production. 2022. № 2 (199). Pp. 63-75.
3. Poddubnaya I. V., Vasiliev A. A., Suchkov V. V. The effectiveness of growing hybrids of sturgeon fish using biologically active substances in the diet. Agrarian Scientific Journal. 2022. No 2. Pp. 50-53.
4. Kochetkov N. I. et al. Modern approaches to the study of the effectiveness of probiotics in aquaculture. Successes of modern biology. 2024. Vol. 144. No 5. Pp. 550-584.
5. Shkalenko V. V. et al. Improvement of Sturgeon Fish Breeds. Proceedings of the Nizhny Novgorod Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2022. No 4 (68). Pp. 252-257.
6. Melchenkov E. A. et al. Comparative Results of Growing Pure Species and Hybrid Forms of Siberian and Russian Sturgeon. Fish Farming and Fisheries. 2021. No 2 (181). Pp. 20-33.
7. Vasilyev I. N. Use of biologically active additives and attractants in fish feed. Modern Problems of Aquaculture. 2018. Vol. 10. No 2. Pp. 60-65.
8. Kamler E. et al. Optimization of feeding attractants in sturgeon aquaculture: a review. Aquaculture International. 2024. Vol. 32. No 1. Pp. 1-21.
9. Hu J. et al. Weight estimation and monitoring in sturgeon aquaculture using deep learning. Fishes. 2024. Vol. 9. No 11.
10. Denisenko O. S. On the question of the possibility of complex use in aquaculture of carotene-containing preparations in the composition of artificial compound feeds for sturgeon species. Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries, 2019. No 2. Pp. 102-110.

11. Siddiqui S. Q. et al. Meta-analysis of attractant use in sturgeon aquaculture: effects on growth and feed efficiency. *Aquaculture Nutrition*. 2022. Vol. 28. No 4. Pp. 1123-1135.

12. Suchkov V. V. Efficiency of use of combined feeds by a hybrid of Russian and Siberian sturgeon at different levels of biologically active additive "Abiotonik". *Aquaculture Research*. 2023. Vol. 54. N 5. Pp. 1678-1687.

Информация об авторах

Исаков Андрей Дмитриевич, аспирант, ФГБОУ ВО Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина, 4/3), SPIN-код: 6308-7647, РИНЦ AuthorID: 1315384, e-mail: isakov.work12@mail.ru

Поддубная Ирина Васильевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина, 4/3), SPIN-код 4555-6523, РИНЦ AuthorID: 691539, ORCID 0000-0002-8565-5633, WoS Researcher ID AAE-3605-2019, Scopus AuthorID 57225231208, e-mail: poddubnayaiv@yandex.ru

Ряднов Алексей Анатольевич, доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), SPIN-код 3533-9646, РИНЦ AuthorID: 425524, ORCID 0000-0001-6381-9353, WoS Researcher ID D-1975-2017, Scopus AuthorID 57503246100, e-mail: radnov@mail.ru

Authors' Information

Isakov Andrey Dmitrievich, postgraduate student, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, 410012, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., 4/3), SPIN code: 6308-7647, RINTS AuthorID: 1315384, e-mail: ad.isakov@gmail.com

Poddubnaya Irina Vasilievna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, 410012, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., 4/3), SPIN-code 4555-6523, RINTS AuthorID: 691539, ORCID 0000-0002-8565-5633, WoS Researcher ID AAE-3605-2019, Scopus AuthorID 57225231208, e-mail: poddubnayaiv@yandex.ru

Ryadnov Aleksey Anatolyevich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), SPIN-code 3533-9646, RINTS AuthorID: 425524, ORCID 0000-0001-6381-9353, WoS Researcher ID D-1975-2017, Scopus AuthorID 57503246100, e-mail: radnov@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-51

THE JERSEY FIRST-CALF COWS DAIRY PRODUCTIVITY AND THE INTERRELATION OF THE ECONOMICALLY USEFUL CHARACTERISTICS

¹Kulenko V. O., ¹Chekhranova S. V., ¹Nikolaev S. I., ¹Vodyannikova V. V., ¹Vorontsova E. S.,
²Krikunov N. A., ³Khakimov I. N.

¹Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

²Molvest JSC

Voronezh, Russian Federation

³Samara State Agrarian University
Samara, Russian Federation

Corresponding author E-mail: schekhranova@mail.ru

Received 22.12.2025

Submitted 25.03.2026

The study was conducted within the framework of the agreement dated 14.05.2018 no. D/A-2429-18 on the topic: "The effect of using a granular mineral and vitamin complex in cattle diets".

Abstract

Introduction. To effectively conduct selective breeding work with cattle, it is necessary to understand the potential variability in animal productivity indicators and the correlations between them. The aim of the study was to evaluate the economically valuable traits of Jersey first-calf heifers and their relationships. **Materials and methods.** The object of the study were Jersey first-calf heifers (n=186) with their first completed lactation. Digital data obtained from the Selex Information and Analysis System (IAS) reports were processed using descriptive statistics methods in Microsoft Excel. The study analyzed data on milk yield over 305 days of the first lactation, the mass fraction of fat and protein in milk, the yield of these components in milk, live weight, and age at first fruitful insemination. Correlations between milk yield and other economically valuable traits were also established. The mean values of the features, errors of the mean, standard deviation of the mean, coefficients of variation and correlation were calculated. **Results and conclusions.** The milk productivity of Jersey cows was assessed during the study. The average milk yield from the 186 first-calf heifers analyzed was 5,851.15 kg, with a 15.19 % variability, indicating the feasibility of further selection based on this trait. It is also worth noting that Jersey cows have relatively high milk quality, with a fat content of 4.71 % and a protein content of 4.25 %. Calculating the correlation coefficients revealed a weak, positive, and statistically insignificant relationship between milk yield over 305 days of the first lactation and the fat and protein content of milk. A similar relationship was found between milk yield and live weight of heifers at the first successful insemination. A weak (+0.20), but statistically significant, relationship was found between milk yield and the age of animals at first successful insemination. Thus, the variability of the milk yield trait and the weak correlations with milk quality parameters allow for selection of cows of this breed for increased milk yield.

Keywords: Jersey cattle breed, Jersey cows, first-calf cows, and milk production of Jersey cows.

Citation. Kulenko V. O., Chekhranova S. V., Nikolaev S. I., Vodyannikova V. V., Vorontsova E. S., Krikunov N. A., Khakimov I. N. The Jersey first-calf cows dairy productivity and the interrelation of the economically useful characteristics. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 469-477 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-51.

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 final version presented.

Conflict of interest. The authors did not declare a conflict of interest.

УДК 636.2.034+636.2.082.1

МОЛОЧНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ДЖЕРСЕЙСКИХ КОРОВ-ПЕРВОТЁЛОК И ВЗАИМОСВЯЗЬ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПОЛЕЗНЫХ ПРИЗНАКОВ

¹Куленко В. О., аспирант

¹Чехранова С. В., доктор сельскохозяйственных наук, доцент

¹Николаев С. И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹Водяникова В. В., доктор биологических наук, доцент

¹Воронцова Е. С., кандидат биологических наук

²Крикунов Н. А., кандидат сельскохозяйственных наук

³Хакимов И. Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

²АО «Молвест»

г. Воронеж, Российская Федерация

³ФГБОУ ВО Самарский ГАУ

г. Самара, Российская Федерация

Исследование проведено в рамках договора от 14.05.2018. По Д/А-2429-18 по теме: "Влияние использования гранулированного минерально-витаминного комплекса в рационах крупного рогатого скота".

Актуальность. Для эффективности проводимой селекционно-племенной работы с крупным рогатым скотом необходимо иметь понимание возможной вариативности продуктивных показателей животных и корреляционной взаимосвязи между ними. Целью работы была оценка хозяйственно-полезных признаков коров-первотёлок джерсейской породы и их взаимосвязи. **Материалы и методы.** Объектом исследований стали коровы-первотёлки джерсейской породы ($n = 186$) имеющие первую законченную лактацию. Цифровой материал, полученный на основании отчетов ИАС «Сел-экс», был обработан с использованием методов описательной статистики Microsoft Excel. В ходе исследований были проанализированы данные по удою за 305 дней первой лактации, массовой доли жира и белка в молоке, выходу данных компонентов с молоком, живой массе и возрасту при первом плодотворном осеменении, а также установлены корреляционные взаимосвязи между удоем и другими хозяйственно-полезными признаками. Были рассчитаны средние значения признаков, ошибки средней, среднее квадратичное отклонение средней, коэффициенты вариации и корреляции. **Результаты и выводы.** В ходе исследований были оценены показатели молочной продуктивности коров джерсейской породы. В среднем удои от анализируемых 186 коров-первотёлок составил 5 851,15 кг при вариативности признака 15,19 %, что свидетельствует о возможности проведения дальнейшего отбора коров по данному признаку. При этом стоит отметить у коров данной породы относительно высокие качественные показатели молока, массовая доля жира составляет 4,71 %, белка – 4,25 %. При расчете коэффициентов корреляции была установлена положительная слабая по силе и статистически не значимая связь между удоем за 305 дней первой лактации и массовой долей жира и белка в молоке. Аналогичная взаимосвязь обнаружена между удоем и живой массой тёлки при первом плодотворном осеменении. Слабая (+ 0,20), но статистически значимая связь была выявлена между показателем удою и возрастом животных при первом плодотворном осеменении. Таким образом, вариативность признака по удою и слабые взаимосвязи с качественными показателями молока позволяют вести селекцию коров данной породы на повышение удоев.

Ключевые слова: джерсейская порода КРС, коровы джерсейской породы, коровы-первотёлки, молочная продуктивность джерсейских коров.

Цитирование. Куленко В. О., Чехранова С. В., Николаев С. И., Водяникова В. В., Воронцова Е. С., Крикунов Н. А., Хакимов И. Н. Молочная продуктивность джерсейских коров-первотёлок и взаимосвязь хозяйственно-полезных признаков. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 469-477. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-51.

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. Молочное скотоводство играет ключевую роль в продовольственной безопасности и экономическом развитии России. В связи с этим, селекция крупного рогатого скота, направленная на увеличение молочной продуктивности и улучшение качественных показателей молока, приобретает особую актуальность [7].

Одной из основных задач молочного скотоводства Российской Федерации является правильный выбор разводимой породы в условиях определенного региона. От этого во многом зависит продуктивность животных, качество молока и молочной продукции, а также продолжительность хозяйственного использования коров [5].

Важнейшая задача племенного дела сегодня – дальнейшее генетическое совершенствование разводимых пород животных. Этот процесс сводится не только к выявлению лучших генотипов, но и к их максимальному использованию в воспроизводстве популяций. Интенсивность отбора маточного поголовья по основным селекционным признакам является эволюционной, то есть постепенной в улучшении качества разводимого скота той или иной породы. Для достижения намеченных целей необходимо определить направление селекционно-племенной работы с крупным рогатым скотом и в первую очередь – параметры основных признаков, по которым животные будут отбираться в различные селекционные группы [8].

В последнее время во всем мире и в Российской Федерации увеличивается популярность коров джерсейской породы. Продуктивность коров данной породы не так высока по сравнению с коровами голштинской породы, однако среди достоинств следует отметить более высокую массовую долю жира и белка в молоке. В то же время джерсейские коровы обладают более высокой конверсией корма, хорошими адаптивными качествами и устойчивостью к болезням. Все эти аспекты делают эту породу конкурентоспособной на мировом рынке молочной продукции [6, 11, 12].

Однако, даже внутри породы существуют значительные индивидуальные различия по составу молока, обусловленные генетическими факторами [9]. При этом стоит отметить, что не менее важным фактором эффективного отбора в молочном животноводстве является ранняя оценка продуктивных качеств животных [4].

А для эффективности проводимой селекционно-племенной работы с крупным рогатым скотом необходимо иметь понимание возможной изменчивости продуктивных показателей животных под воздействием условий окружающей среды, особенностей наследования хозяйственно-полезных признаков и корреляционной взаимосвязи между ними [2].

Целью работы была оценка хозяйственно-полезных признаков коров-первотёлочек джерсейской породы и их взаимосвязи.

Материалы и методы. Исследование было проведено на коровах-первотёлках джерсейской породы ($n = 186$) в условиях предприятия Воронежской области, принадлежащего компании «Молвест». Для этого были использованы данные, полученные на основании отчетов из информационно-аналитической системы «Селэкс» по коровам-первотёлкам, имеющим законченную первую лактацию. Цифровой материал был биометрически обработан с использованием методов описательной статистики Microsoft Excel. В ходе исследований были проанализированы данные по удою за 305 дней первой лактации, массовой доли жира и белка в молоке, выходу данных компонентов с молоком, живой массе и возрасту при первом плодотворном осеменении с установлением селекционно-генетических параметров стада (средняя величина признака, ошибка репрезентативности средней, среднее квадратичное отклонение, коэффициент вариации), а также установлены корреляционные взаимосвязи между удоем и другими хозяйственно-полезными признаками (массовой долей жира и белка в молоке, выходом жира и белка с молоком, живой массой и возрастом при первом плодотворном осеменении). Для оценки распределения значений по удою, и качественным признакам молока был использован метод построения вариационных рядов.

Результаты исследований и их обсуждение. Одной из задач селекционно-племенной работы является создание однородных по селекционируемым признакам стад, хотя молочная продуктивность коров обладает высокой степенью изменчивости [3]. По степени изменчивости признаков можно судить о разнообразии особей в популяции (стаде), а, следовательно, и о возможности проведения отбора [10].

В таблице 1 представлены данные молочной продуктивности коров джерсейской породы по первой лактации.

Таблица 1 – Показатели молочной продуктивности коров по первой лактации
Table 1 – Indicators of milk productivity in the first lactation

Показатель / Indicator	Параметры / Parameters		
	$\bar{X} \pm Sx$	$\sigma \pm m_{\sigma}$	$Cv \pm m_{Cv}, \%$
Удой за 305 дней лактации, кг / Yield per 305 days of lactation, kg	5 851,15 $\pm$ 65,17	888,79 $\pm$ 46,08*	15,19 $\pm$ 0,79*
Массовая доля жира за 305 дн., % / Mass fraction of fat per 305 days, %	4,71 $\pm$ 0,03	0,37 $\pm$ 0,02*	7,91 $\pm$ 0,41*
Жир за 305 дн., кг / Fat per 305 days, kg	275,57 $\pm$ 3,56	48,55 $\pm$ 2,52*	17,62 $\pm$ 0,91*
Массовая доля белка за 305 дн., % / Protein content per 305 days, %	4,25 $\pm$ 0,01	0,14 $\pm$ 0,01*	3,25 $\pm$ 0,17*
Белок за 305 дн., кг / Protein per 305 days, kg	248,99 $\pm$ 2,86	39,04 $\pm$ 2,02*	15,68 $\pm$ 0,81*

Примечание: * – статистически значимо ($p < 0,05$).Note: * – statistically significant ($p < 0.05$).

Удой за 305 дней первой лактации у джерсейских коров был на уровне 5 851,15 кг, а среднее квадратичное отклонение, которое является показателем разнообразия данного показателя, составило 888,79 кг. Размах между минимальным (2925 кг) и максимальным (8 446 кг) значениями по удою за первую лактацию составил 5 521 кг, а коэффициент вариации по данному признаку оказался равным 15,19 %, что свидетельствует о его средней вариабельности.

На основании метода построения вариационных рядов можно наглядно увидеть распределение значений признаков молочной продуктивности по рангам (классам) и частоту встречаемости анализируемого признака (количество животных в определенном классе).

На рисунке 1 наглядно показано, что по удою за 305 дней первой лактации джерсейских коров выделяются три класса с высокой частотой распределения, это модальный класс с диапазоном 5 685,52-6 375,65 кг и частотой встречаемости 36,02 %, и еще два соседних класса с частотами 24,74 % (4 995,39-5 685,52 кг) и 16,67 % (3 675,65-7 065,78 кг).

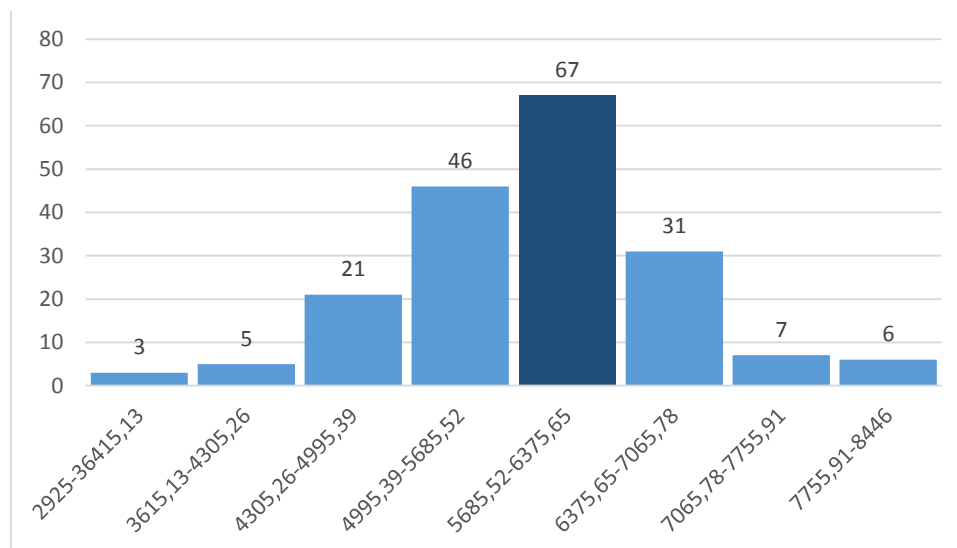


Рисунок 1 – Вариационный ряд средних значений по удою за 305 дней первой лактации у джерсейских коров

Figure 1 – Variance series of average milk yield for 305 days of first lactation in Jersey cows

Таким образом, достаточное разнообразие значений по удою за 305 дней лактации дает возможность для дальнейшей успешной селекции по этому признаку.

Средний показатель по массовой доле жира за первую лактацию у коров джерсейской породы составил 4,71 % с незначительной вариабельностью признака, о чем можно судить по коэффициенту вариации, равному 7,91 %. При этом размах между минимальным (3,69 %) и максимальным значением (5,80 %) составил 2,11 %.

Из вариационного ряда средних значений по массовой доле жира в молоке джерсейских коров четко выделяется лидирующий класс с диапазоном 4,47-4,73 % и частотой встречаемости 28,00 %. Также можно отметить еще два класса с меньшими частотами: в диапазоне 4,21-4,47 % – 21,51 %, в диапазоне 4,73-4,99 % – 23,12 % (рисунок 2).

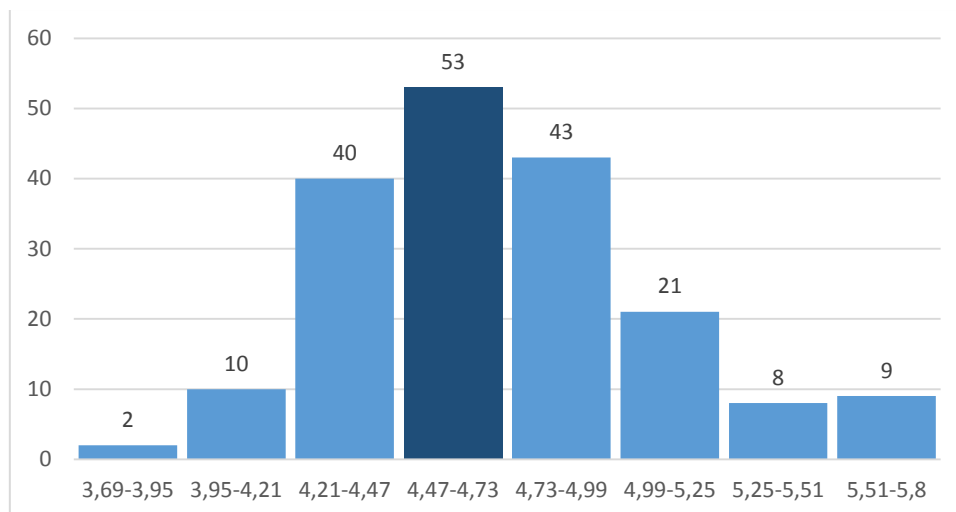


Рисунок 2 – Вариационный ряд средних значений по массовой доле жира в молоке за 305 дней первой лактации у джерсейских коров

Figure 2 – Variance series of average values of milk fat content for 305 days of first lactation in Jersey cows

Несмотря на довольно незначительную вариабельность признака по массовой доле жира в молоке, коэффициент вариации по выходу жира составил 17,62 %, что можно объяснить средней степенью разнообразия удоев за 305 дней первой лактации.

Наименьшую изменчивость имел показатель массовой доли белка в молоке, он находился в диапазоне 3,94-4,73 %, среднее квадратичное отклонение фиксировалось на уровне 0,14 %, а коэффициент вариации составил 3,25 %. Наибольшая частота встречаемости (31,18 %) по данному признаку была отмечена в диапазоне 4,24-4,34 % (рисунок 3). Также можно отметить соседний класс с диапазоном 4,14-4,24 % и частотой встречаемости 24,73 %.

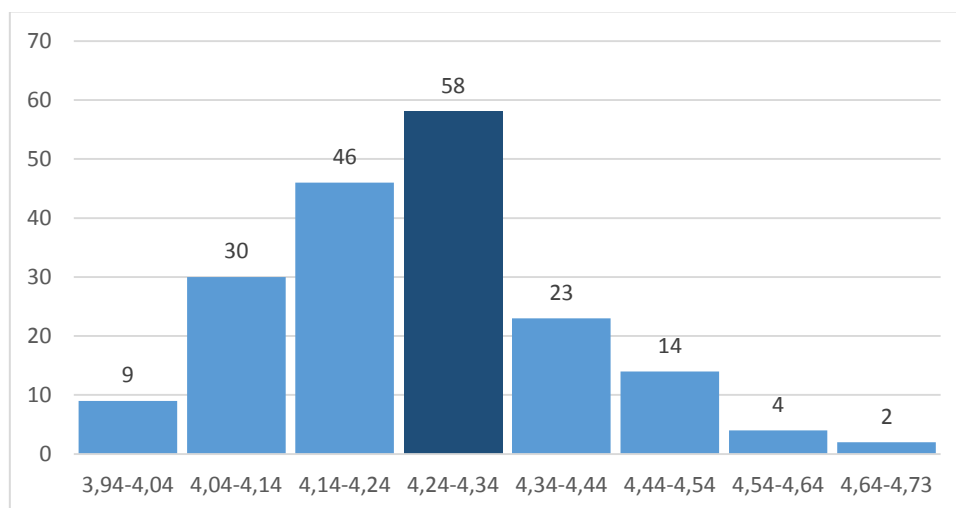


Рисунок 3 – Вариационный ряд средних значений по массовой доле белка в молоке за 305 дней первой лактации у джерсейских коров

Figure 3 – Variational series of average values of the mass fraction of protein in milk for 305 days of first lactation in Jersey cows

Выход белка за 305 дней первой лактации джерсейских коров в среднем составил 248,99 кг при вариабельности данного признака 15,68 %.

На формирование молочной продуктивности коров оказывают влияние множество паратипических факторов, основным из которых является живая масса животного при первом плодотворном осеменении. А возраст первого осеменения, или другими словами возраст физиологической готовности животных к воспроизводству аналогично влияет на показатели дальнейшей продуктивности [1].

Данные по живой массе тёлочек, их возрасту при первом плодотворном осеменении представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Живая масса, возраст первого плодотворного осеменения и первого отела
Table 2 – Live weight, age of first fertile insemination and first calving

Показатель / Indicator	Параметры / Parameters		
	$\bar{X} \pm S_x$	$\sigma \pm m_\sigma$	$C_v \pm m_{C_v}, \%$
Живая масса 1 плодотворного осеменения, кг / Live weight of 1 fertile insemination, kg	$276,58 \pm 2,16$	$29,45 \pm 1,53^*$	$10,65 \pm 0,55^*$
Возраст 1 плодотворного осеменения, мес. / Age of 1 fruitful insemination, months	$13,08 \pm 0,16$	$2,24 \pm 0,12^*$	$17,10 \pm 0,89^*$
Возраст 1 отела, мес. / Age of 1 calving, months	$22,15 \pm 0,17$	$2,26 \pm 0,12^*$	$10,18 \pm 0,53^*$

Примечание: * – статистически значимо ($p < 0,05$).

Note: * – statistically significant ($p < 0,05$).

Первое плодотворное осеменение у тёлочек джерсейской породы отмечалось при достижении возраста 13,08 месяцев при вариативности данного признака 17,10 %. Нужно отметить, что минимальный возраст первого плодотворного осеменения фиксировался на уровне 11 месяцев. Средняя живая масса коров джерсейской породы при первом плодотворном осеменении составила в среднем 276,58 кг с вариативностью признака 10,65 %. Средний возраст при первом отеле оказался на уровне 22,15 месяцев при коэффициенте вариации данного признака 10,18 %.

Все хозяйственно-полезные признаки коров в той или иной степени генетически связаны между собой, и между ними имеют место сложные зависимости. Изучение сопряженности селекционных признаков позволяет при отборе животных усиливать действие положительных качеств, ослабляя нежелательные, но при этом вести селекцию по меньшему числу признаков, что намного проще. И в этом случае значительно ускоряются темпы генетического совершенствования стада крупного рогатого скота. В племенной работе с молочным скотом очень большое значение имеет корреляционная взаимосвязь между удоём, содержанием жира и белка в молоке. Характер колебаний этих связей обусловлен генетическими особенностями животных каждого конкретного стада и комплексом факторов внешней среды. С помощью отбора можно изменить взаимосвязи между признаками в желательном направлении [10].

В таблице 3 представлены данные корреляционной взаимосвязи удоя коров-первотёлок джерсейской породы с другими хозяйственно-полезными признаками.

Таблица 3 – Корреляционная взаимосвязь удоя с хозяйственно-полезными признаками
Table 3 – Correlation between milk yield and economic indicators

Показатель / Indicator	Удой за 305 дней лактации, кг / Yield per 305 days of lactation, kg
Массовая доля жира за 305 дн., % / Mass fraction of fat for 305 days, %	$+ 0,04 \pm 0,07$
Жир за 305 дн., кг / Fat per 305 days, kg	$+ 0,89 \pm 0,02^*$
Массовая доля белка за 305 дн., % / Protein content after 305 days, %	$+0,03 \pm 0,07$
Белок за 305 дн., кг / Protein per 305 days, kg	$+0,98 \pm 0,003^*$
Живая масса 1 плодотворного осеменения, кг / Live weight of 1 fertile insemination, kg	$+0,13 \pm 0,07$
Возраст 1 плодотворного осеменения, мес. / Age of the first fertile insemination, months	$+0,20 \pm 0,07^*$
Возраст 1 отела, мес. / Age of the first calving, months	$+0,20 \pm 0,07^*$

Примечание: * – статистически значимо ($p < 0,05$).

Note: * – statistically significant ($p < 0,05$).

Анализируя данные по взаимосвязи удоя за 305 дней первой лактации с массовой долей жира, отмечен коэффициент корреляции, равный +0,04, что свидетельствует об очень слабой положительной корреляции, не имеющей статистической значимости. При этом между удоем и выходом жира с молоком была обнаружена сильная статистически значимая корреляционная взаимосвязь, равная +0,89. Коэффициент корреляции между удоем и массовой долей белка в молоке составил +0,03, что свидетельствует о корреляции очень слабой силы, а взаимосвязь между удоем за 305 дней первой лактации и выходом белка оказалась очень сильной, равной +0,98.

В связи с вышесказанным, отбор по одному из показателей (содержание жира и белка в молоке), может иметь положительный эффект, и сопровождаться повышением связанных с ним признаков молочной продуктивности джерсейских коров.

Существует устойчивая взаимосвязь между живой массой в период первого плодотворного осеменения и продуктивностью в первую лактацию. Однако в ходе наших исследований данная взаимосвязь оказалась очень слабой +0,13, при этом не имеющая статистической значимости.

Аналогично положительный коэффициент корреляции был получен между удоем за 305 дней первой лактации и возрастом первого плодотворного осеменения, а также возрастом первого отела. Сила данной взаимосвязи была слабой (+0,20), однако статистически значимой.

Заключение. В ходе исследований были оценены показатели молочной продуктивности коров джерсейской породы. В среднем удой от анализируемых 186 коров-первотёлок составил 5851,15 кг при вариабельности признака 15,19 %, что свидетельствует о возможности проведения дальнейшего отбора коров по данному признаку. При этом стоит отметить у коров данной породы относительно высокие качественные показатели молока, массовая доля жира составляет 4,71 %, белка – 4,25 %. При расчете коэффициентов корреляции была установлена положительная слабая по силе и статистически не значимая связь между удоем за 305 дней первой лактации и массовой долей жира и белка в молоке. Аналогичная взаимосвязь обнаружена между удоем и живой массой тёлочек при первом плодотворном осеменении. Слабая (+0,20), но статистически значимая связь была выявлена между показателем удоя и возрастом животных при первом плодотворном осеменении. Таким образом, вариабельность признака по удою и слабые взаимосвязи с качественными показателями молока позволяют вести селекцию коров данной породы на повышение удоёв.

Conclusion. During the research, the milk production indicators of Jersey cows were evaluated. On average, the milk yield from the analyzed 186 first-calf cows was 5851.15 kg, with a variability of 15.19 %, which indicates the possibility of further selection of cows based on this indicator. It is worth noting that cows of this breed have relatively high milk quality indicators, with a fat content of 4.71 % and a protein content of 4.25 %. When calculating the correlation coefficients, a positive, weak, and statistically insignificant relationship was found between the milk yield for the first 305 days of lactation and the mass fraction of fat and protein in the milk. A similar relationship was found between the milk yield and the live weight of the heifers at the first successful insemination. A weak (+0.20), but statistically significant, relationship was found between the milk yield and the age of the animals at the first successful insemination. Thus, the variability of the milk yield trait and the weak relationship with milk quality indicators allow for the selection of cows of this breed to increase their milk yield.

Библиографический список

1. Баймишев Х. Б., Баймишев М. Х., Баймишев Р. Х. Молочная продуктивность и воспроизводительная способность первотёлок голштинской породы в зависимости от живой массы при первом осеменении. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 3. С. 70-75.
2. Загороднев Ю. П., Елизарова И. Б. Селекционно-генетические параметры продуктивности молочного скота в зависимости от линейной принадлежности. Наука и Образование. 2022. Т. 5. № 1.
3. Иванова И. П. Селекционно-генетические параметры в селекции молочного скота. Молочнохозяйственный вестник. 2021. № 3 (43). С. 59-67.
4. Ляшук Р. Н., Шендаков А. И., Ляшук А. Р. Взаимосвязь продуктивности первотёлок голштинской породы с последующей молочной продуктивностью. Биология в сельском хозяйстве. 2024. № 1 (42). С. 3-8.
5. Морозова Н. И. и др. Молочная продуктивность коров джерсейской породы в зависимости от линейной принадлежности. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 8. С. 166-170.
6. Олейник С. А., Лесняк А. В. Влияние интенсивности роста телок джерсейской породы в период онтогенеза на их молочную продуктивность. Сибирский журнал медико-биологических наук и сельского хозяйства. 2023. Т. 15. № 5. С. 201-227.
7. Олейник С. А., Лесняк А. В. Влияние полиморфизма генов BGN и CASB на продуктивные показатели молочного скота джерсейской породы. Пермский аграрный вестник. 2025. № 3 (51). С. 119-126.

8. Санова З. С. Уровень молочной продуктивности джерсейских коров в зависимости от генеалогии. Аграрный вестник Урала. 2021. № 1 (204). С. 60-69.
9. Зарубежнова Д. В. и др. Состав молока коров джерсейской породы с разным генотипом локусов генов соматотропинового каскада. Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2025. Т. 264. № 4. С. 96-101.
10. Шевелева О. М., Связенина 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.
11. Юхина Д. Э. Воспроизводительная способность джерсейских коров разных линий. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2024. Т. 16. № 4. С. 55-59.
12. Oleinik S. A., Lesnyak A. V. Assessment of the Productive Qualities of the First Heifers of the Jersey Breed. International Conference on Innovations in Sustainable Agricultural Systems. Springer Nature Switzerland, 2024. Pp. 218-228.

References

1. Baimishev Kh. B., Baimishev M. Kh., Baimishev R. Kh. Dairy productivity and reproductive capacity of first-calf Holstein cows depending on their live weight at first insemination. Proceedings of the Samara State Agricultural Academy. 2024. No. 3. Pp. 70-75.
2. Zagorodnev Yu. P., Elizarova I. B. Selection and genetic parameters of dairy cattle productivity depending on their line affiliation. Science and Education. 2022. V. 5. No. 1.
3. Ivanova I. P. Selection and genetic parameters in the selection of dairy cattle. Dairy Bulletin. 2021. No. 3 (43). Pp. 59-67.
4. Lyashuk R. N., Shendakov A. I., Lyashuk A. R. Relationship of the productivity of first-calf heifers of the Holstein breed with subsequent milk productivity. Biology in Agriculture. 2024. No. 1 (42). Pp. 3-8.
5. Morozova N. I. et al. Dairy productivity of Jersey cows depending on their line affiliation. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2024. No. 8. Pp. 166-170.
6. Oleinik S. A., Lesnyak A. V. The effect of the growth rate of Jersey heifers during ontogenesis on their dairy productivity. Siberian Journal of Medical and Biological Sciences and Agriculture. 2023. Vol. 15. No. 5. Pp. 201-227.
7. Oleinik S. A., Lesnyak A. V. Influence of BGH and CASB Gene Polymorphism on the Productive Performance of Jersey Cattle. Perm Agricultural Bulletin. 2025. No. 3 (51). Pp. 119-126.
8. Sanova Z. S. The level of dairy productivity of Jersey cows depending on the genealogy. Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 1 (204). Pp. 60-69.
9. Zarubezhnova D. V. et al. Composition of milk from Jersey cows with different genotypes of somatotropin cascade gene loci. Scientific Notes of the Kazan Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman. 2025. Vol. 264. No. 4. Pp. 96-101.
10. Sheveleva O. M., Svyazhenina M. A., Chasovshchikova M. A. Selection and genetic parameters of selection of cows by milk productivity in the improvement of the cattle herd. Proceedings of the Kurgan State Agricultural Academy. 2023. No. 1 (45). Pp. 60-68.
11. Yuhina D. E. Reproductive capacity of Jersey cows of different lines. News Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostycheva. 2024. Vol. 16. No. 4. Pp. 55-59.
12. Oleinik S. A., Lesnyak A. V. Assessment of the Productive Qualities of the First Heifers of the Jersey Breed. International Conference on Innovations in Sustainable Agricultural Systems. Springer Nature Switzerland, 2024. Pp. 218-228.

Информация об авторах

Куленко Владлен Олегович, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: kulenkovladlen@gmail.com

Чехранова Светлана Викторовна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: schekhranova@mail.ru

Николаев Сергей Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

Водяникова Вера Владимировна, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: vera.shkalenko@mail.ru

Воронцова Елена Сергеевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (400002, Волгоград, Университетский просп., 26), e-mail: esvoronts@mail.ru

Крикунов Николай Александрович, главный зоотехник, АО «Молвест», (Российская Федерация, 394016, г. Воронеж, ул. 45 Стрелковой Дивизии, 259), e-mail: n.krikunov@molvest.ru

Хакимов Исмагиль Насибуллович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Самарский ГАУ (Российская Федерация, 446442, Самарская область, г.о. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 7А), e-mail: hakimov_2@mail.ru

Authors' Information

Kulenko Vladlen Olegovich, Postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: kulenkovladlen@gmail.com

Chekhranova Svetlana Viktorovna, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: schekhranova@mail.ru

Nikolaev Sergey Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

Vodyannikova Vera Vladimirovna, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: vera.shkalenko@mail.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

Krikunov Nikolay Aleksandrovich, Chief Zootechnician, Molvest JSC, (Russian Federation, 394016, Voronezh, 45 Strelkovaya Divisia Str., 259), e-mail: n.krikunov@molvest.ru

Khakimov Ismagil Nasibullovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department, Samara State Agrarian University (Russian Federation, 446442, Samara region, Kinel, Ust-Kinelsky settlement, Sportivnaya Str., 7A), e-mail: xakimov_2@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-52

THE IMPROVING OF THE BROILER CHICKEN COMPOUND FEED NUTRITIONAL VALUE

¹Sukhanov R. A., ¹Nikolaev S. I., ¹Vodyannikova V. V., ²Sukhanova S. F.,
¹Chekhranova S. V., ¹Vorontsova E. S.

¹Volgograd State Agricultural University,
Volgograd, Russian Federation

²Saint Petersburg State Agrarian University,
Saint Petersburg, Russian Federation

Corresponding author e-mail: vodyannikovavolgau@bk.ru

Received 28.01.2026

Submitted 26.03.2026

The study was conducted under contract No. 6 dated May 13, 2024, on the topic: "Assessing the Efficiency of Extruded Compound Feed Components in Poultry Feeding".

Abstract

Introduction. The foundation of healthy and productive poultry farming is a balanced, protein-rich diet. Protein plays a key role in maintaining all vital body functions. Feed protein must meet three key criteria: be economically feasible, consistently available, and environmentally friendly. Adequate protein in the diet strengthens the defenses of farm animals and poultry, while a protein deficiency negatively impacts productivity. In intensive broiler chicken farming, where the purpose is to maximize live weight gain in a short period of time, meeting the high protein and energy needs of poultry is paramount. Various protein sources, both animal and plant origin, are used for this purpose. However, given current issues with the availability and cost of these resources, the search for sustainable alternative sources of protein and feed raw materials is a relevant area of research. **Research Object.** The study involved Ross-308 broiler chickens. **Materials and methods.** The study was conducted at the Center for Nutrigenomics of Farm Animals and Poultry, Volgograd State Agricultural University, under the supervision of the Department of Feeding and Breeding of Farm Animals. The study involved four experimental groups of broiler chickens (one control group and three experimental groups, namely, groups 1, 2, and 3). The study lasted 35 days. Each group consisted of 120 Ross-308 broiler chickens. The control group received a general farm diet containing soybean meal. The experimental groups received a diet with 50 %, 75 %, and 100 % of the soybean meal replaced with an equivalent amount of protein concentrate, respectively. **Results and conclusions.** The use of protein concentrate in compound feed for broiler chickens in the third experimental group demonstrated a number of significant advantages. In particular, nitrogen utilization improved by 2,95 % compared to the control group. This resulted in more efficient nitrogen accumulation in the chickens' bodies (an increase of 0,21 g, to 3,45 g) and, consequently, a decrease in its excretion with manure (2,56 g versus 2,71 g in the control group of broiler chickens). These data indicate that the protein concentrate contributes to increased productivity of broiler chickens and reduces their ecological footprint. In addition, the chickens of Group 3 showed improved deposition of calcium (0,03 g more than that of the broiler chickens in the control group) and phosphorus (the maximum value of 0,77 g, which is 0,03 g higher than that of the control group chickens). The efficiency of phosphorus utilization by chickens of Group 3 also increased by 1,18 %, reaching 57,05 %. Based on the results of the scientific and economic experiment, taking into account the costs of raising broiler chickens, the third experimental group achieved a total profit of 7501,45 rubles. This ensured a profitability rate of up to 21 %, which is 13.68 % higher than the profitability rate of the control group.

Keywords: broiler chicken diets, protein feed concentrates, nutritional value of compound feed, and soybean meal.

Citation. Sukhanov R. A., Nikolaev S. I., Vodyannikova V. V., Sukhanova S. F., Chekhranova S. V., Vorontsova E. S. The improving of the broiler chicken compound feed nutritional value. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 477-488 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-52.

Authors' contribution. All authors participated in the planning, execution, and analysis of the obtained research results. The submitted version of the article was approved by all authors.

Conflicts of Interest: The authors declared no conflicts of interest.

УДК 636.5.033.085.55

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПИТАТЕЛЬНОЙ ЦЕННОСТИ КОМБИКОРМОВ
ДЛЯ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ**¹Суханов Р. А., аспирант¹Николаев С. И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор¹Водяникова В. В., доктор биологических наук, доцент²Суханова С. Ф., доктор сельскохозяйственных наук, профессор¹Чехранова С. В., доктор сельскохозяйственных наук, доцент¹Воронцова Е. С., кандидат биологических наук¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский ГАУ

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Исследование проведено в рамках договора от 13.05.2024. № 6 по теме: " Оценка эффективности экстрадированных компонентов комбикормов в кормлении птицы".

Аннотация. Основа здорового и продуктивного птицеводства – это сбалансированное питание, богатое белком. Белок играет ключевую роль в поддержании всех жизненно важных функций организма. При этом кормовой белок должен соответствовать трем основным критериям: быть экономически оправданным, стабильно доступным и экологически безвредным. Достаточное количество белка в рационе укрепляет защитные силы сельскохозяйственных животных и птицы, напротив, дефицит белка негативно сказывается на продуктивности. В интенсивном выращивании цыплят-бройлеров, где цель – максимальный прирост живой массы за короткий срок, удовлетворение высоких потребностей сельскохозяйственной птицы в белке и энергии становится первостепенной задачей. Для этого применяются различные источники белка, как животного, так и растительного происхождения. Однако, учитывая текущие проблемы с доступностью и стоимостью этих ресурсов, поиск устойчивых альтернативных источников белка и кормового сырья является актуальным направлением исследований. **Объект исследования.** Объектом исследования являлись цыплята-бройлеры кросса Росс-308. **Материалы и методы.** Исследования проводились в условиях Центра нутригеномики сельскохозяйственных животных и птицы ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ под управлением кафедры «Кормление и разведение сельскохозяйственных животных» на 4 подопытных группах цыплят-бройлеров (контрольная и три опытных группы: 1-я, 2-я и 3-я, соответственно). Продолжительность исследований составила 35 дней. В каждой группе было по 120 голов цыплят-бройлеров кросса Росс-308. Контрольная группа получала общехозяйственный рацион с соевым шротом. Опытные группы получали рацион с заменой 50, 75 и 100 % соевого шрота на эквивалентное количество белкового концентрата соответственно. **Результаты и выводы.** Использование белкового концентрата в комбикорме для цыплят-бройлеров 3-й опытной группы продемонстрировало ряд значительных преимуществ. В частности, усвоение от принятого азота улучшилось на 2,95 % по сравнению с контрольной группой. Это привело к более эффективному накоплению азота в организме цыплят (увеличение на 0,21 г, до 3,45 г) и, как следствие, к уменьшению его выделения с пометом (2,56 г против 2,71 г в контрольной группе цыплят-бройлеров). Эти данные свидетельствуют о том, что белковый концентрат способствует повышению продуктивности цыплят-бройлеров и снижает их экологический след. Помимо этого, у цыплят 3-й группы наблюдалось улучшенное отложение кальция (на 0,03 г больше, чем у цыплят-бройлеров в контрольной группе) и фосфора (максимальное значение 0,77 г, что на 0,03 г выше, чем у цыплят контрольной группы). Эффективность использования фосфора цыплятами 3-й опытной группы также возросла на 1,18 %, достигнув 57,05 %. По итогам научно-хозяйственного опыта, учитывая затраты на выращивание цыплят-бройлеров, в 3-й опытной группе была достигнута общая прибыль в размере 7 501,45 рублей. Это обеспечило уровень рентабельности до 21 %, что на 13,68 % превышает рентабельность контрольной группы.

Ключевые слова: рационы цыплят-бройлеров, белковые кормовые концентраты, питательная ценность комбикормов, соевый шрот.

Цитирование. Суханов Р. А., Николаев С. И., Водяникова В. В., Суханова С. Ф., Чехранова С. В., Воронцова Е. С. Совершенствование питательной ценности комбикормов для цыплят-бройлеров. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 477-488. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-52.

Авторский вклад. В данной научно-исследовательской работе все авторы принимали участие в планировании, выполнении, а также анализе полученных результатов исследований. Представленный вариант статьи одобрен всеми авторами.

Конфликт интересов. О конфликте интересов авторы не заявляли.

Введение. При интенсивном ведении птицеводства в условиях промышленной технологии содержания сельскохозяйственной птицы биологически полноценное кормление является решающим фактором получения высокой продуктивности. В нашей стране произ-

водство кормов для сельскохозяйственной птицы сдерживается недостатком белковых кормов растительного и животного происхождения. Это приводит к зависимости производства мяса цыплят-бройлеров от соевого шрота. Выращиваемая на Дальнем Востоке, в Краснодарском крае и южных регионах России соя не покрывает потребностей птицеводства [3, 11]. То есть, в настоящее время существует потребность в поиске новых альтернативных источников белка для питания животных. В то же время рост населения планеты увеличивает нагрузку на продовольственную систему и, следовательно, на доступность белков. Крайне важно найти корма, которые будут обеспечивать сельскохозяйственных животных и птицу этими питательными веществами, не нанося вреда окружающей среде [6, 17].

Основным источником белка в рационе сельскохозяйственных животных (не относящихся к жвачным) и птицы, являются соевые бобы и продукты из сои. Однако такая зависимость проблематична с экологической точки зрения [16].

При составлении рационов необходимо учитывать не только питательную ценность корма и его воздействие на окружающую среду, но и финансовые затраты, а также, как отмечают Торнтон и соавторы (2023), национальный и региональный контекст [18]. Вместо того чтобы использовать корма, которые транспортируются на большие расстояния с использованием значительного количества ископаемого топлива, следует постепенно переходить на местные кормовые ингредиенты [15].

Белки – важнейшее питательное вещество для жизнедеятельности сельскохозяйственной птицы, позволяющее организму расти, восстанавливаться и защищаться от патогенных микроорганизмов. Однако, это один из самых дорогих ингредиентов кормовых смесей. Кроме того, выращивание сои связано с деградацией почв, интенсивным использованием химикатов и ископаемого топлива, а также глобальным потеплением. Отчасти это связано с тем, что соевые бобы выращивают в основном в определенных регионах мира, поэтому их приходится транспортировать на большие расстояния. Это дорогостоящий процесс, который оказывает значительное негативное воздействие на окружающую среду и не соответствует принципам устойчивого развития. В то же время рост населения планеты приводит к увеличению потребления белка, что еще больше усугубляет нагрузку на окружающую среду. Поэтому необходимо искать альтернативные корма, которые могли бы заменить сою или, по крайней мере, снизить ее долю в кормовом балансе [14].

Для бройлеров соя представляет собой экономически выгодный и высокоэффективный источник белка. Тем не менее, её включение в рацион должно быть строго дозировано: не более 20-25 % для цыплят первых 10 дней жизни, 30 % в период роста и 35 % на финишной стадии.

Исследования подтверждают, что правильно обработанная соя с применением ферментов может обеспечить впечатляющие привесы до 70 г/сутки без каких-либо потерь. Однако, если доля сои превышает 40 %, это может вызвать снижение темпов роста на 10-15 % из-за присутствия антипитательных факторов. Соевый шрот, составляющий основу большинства комбикормов для цыплят-бройлеров и обеспечивающий 20-30 % протеина, без надлежащей обработки несет риск снижения привесов на 10-15 % и ухудшения конверсии корма [1, 10].

Основным резервом снижения себестоимости кормов, а соответственно и себестоимости продукции животноводства и птицеводства, является удешевление белковой составляющей рецепта [2].

Альтернативные белковые ингредиенты растительного и животного происхождения, которые сегодня используются в кормах для цыплят-бройлеров, могут заменить соевый шрот, чтобы обеспечить непрерывность производства. Из-за множества проблем, высокой стоимости и конкуренции с другими продуктами питания с которыми приходится сталкиваться, использование сои постепенно сокращается. Все больше внимания уделяется нетрадиционным растительным и животным альтернативным ингредиентам, побочным продуктам, а также промышленным и сельскохозяйственным отходам [8, 9].

Следовательно, можно сделать вывод, что чрезмерная зависимость от соевых бобов в рационе цыплят-бройлеров не является рациональным решением и вызывает интерес к альтернативным источникам белка [19].

Цель научно-исследовательской работы – изучить влияние включения белкового концентрата в состав комбикорма на ключевые зоотехнические и экономические показатели при выращивании цыплят-бройлеров.

Объект исследования. Объектом исследования являлись цыплята-бройлеры кросса Росс-308.

Материал и методы. Опыт проходил в условиях Центра нутригеномики сельскохозяйственных животных и птицы ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ под управлением кафедры «Кормление и разведение сельскохозяйственных животных».

Согласно схеме опыта, исследование проводилось на 4 подопытных группах цыплят-бройлеров (одна контрольная группа и три опытных группы, соответственно 1-й, 2-й и 3-й группы). Подопытные группы были сформированы из суточных кондиционных цыплят-бройлеров кросса Росс-308. Продолжительность исследований составила 35 дней. Количество цыплят-бройлеров в каждой группе было по 120 голов. Необходимо отметить, что для нивелирования небольших, малейших отклонений, 120 голов были разделены на 3 секции по 40 голов в каждой (таблица 1).

Таблица 1 – Схема опыта по изучению эффективности использования белкового концентрата в кормлении цыплят-бройлеров

Table 1 – Scheme of the experiment to study the efficiency of using protein concentrate in feeding broiler chickens

Подопытные группы цыплят-бройлеров / Experimental groups of broiler chickens	Продолжительность исследований, дней / Duration of studies, days	Количество голов в группе/количество голов в секции/ повторности / Number of goals in the group/number of goals in the section/ repeats	Особенности в кормлении подопытных цыплят-бройлеров / Features of feeding experimental broiler chickens
Контрольная / Control	35	120/40/3	Общехозяйственный рацион (ОР) / General Farm Ration (GFR)
1-я опытная / Experimental 1	35	120/40/3	Рацион № 1 / Ration No. 1
2-я опытная / Experimental 2	35	120/40/3	Рацион № 2 / Ration No. 2
3-я опытная / Experimental 3	35	120/40/3	Рацион № 3 / Ration No. 3

Методика исследования разработана согласно методике проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы ФНЦ «ВНИТИП» [4] и рекомендациям по выращиванию кросса Росс-308 [12, 13].

В ходе исследования цыплята-бройлеры были разделены на подопытные группы для экспериментального кормления. Основу рациона для всех подопытных групп составлял общехозяйственный комбикорм, сбалансированный по всем питательным веществам в соответствии с рекомендациями по кормлению сельскохозяйственной птицы ФНЦ «ВНИТИП» [5], где протеин обеспечивался злаковыми культурами и соевым шротом. Различия заключались в следующем:

- контрольная группа цыплят-бройлеров получала общехозяйственный комбикорм без изменений (ОР);

- в комбикорм для цыплят-бройлеров 1-й опытной группы вводили те же компоненты, что и в общехозяйственный комбикорм, однако 50 % соевого шрота было заменено на эквивалентное количество белкового концентрата (Рацион № 1);

- для цыплят-бройлеров 2-й опытной группы в общехозяйственном рационе доля соевого шрота была снижена на 75 %, а недостающий белок восполнялся эквивалентным количеством белкового концентрата (Рацион № 2);

- для цыплят-бройлеров 3-й опытной группы соевый шрот был полностью исключен из комбикорма (100 % замена) и заменен эквивалентным количеством белкового концентрата, при этом остальные компоненты рациона оставались прежними (Рацион № 3).

Результаты и обсуждение. В птицеводстве, особенно при интенсивном выращивании бройлеров, оптимизация рациона по содержанию белка является ключевым фактором для достижения высоких производственных показателей [11]. Белок, как основной строительный материал и участник множества биохимических реакций, напрямую влияет на скорость роста, конверсию корма и общее состояние сельскохозяйственной птицы, особенно

цыплят-бройлеров [7]. Недостаток белка может привести к замедлению развития, снижению иммунитета и увеличению затрат на корма из-за низкой эффективности их усвоения. С другой стороны, избыточное количество белка также нежелательно, поскольку может создавать дополнительную нагрузку на метаболизм цыплят-бройлеров и увеличивать стоимость рациона без пропорционального роста продуктивности. Поэтому точное определение оптимального уровня белка, учитывающего возраст, породу и условия содержания цыплят-бройлеров, становится задачей первостепенной важности для птицеводческих предприятий, стремящихся к максимальной рентабельности [11]. Белковые концентраты способствуют не только увеличению продуктивности, но позволяют снизить экологическую нагрузку, минимизируя выделение азотистых соединений в окружающую среду.

Современные подходы к кормлению цыплят-бройлеров включают использование высококачественных белковых компонентов, которые позволяют точно сбалансировать рацион по всем незаменимым аминокислотам [6]. Такой подход обеспечивает максимальное использование питательных веществ, минимизирует потери и способствует росту и развитию сельскохозяйственной птицы.

В ходе проведения научно-хозяйственного опыта с суточного до 35-суточного возраста на цыплятах-бройлерах кросса Росс-308 проводились еженедельные индивидуальные взвешивания всего поголовья подопытных цыплят. Данные о динамике живой массы цыплят-бройлеров подопытных групп приведены на рисунке 1.

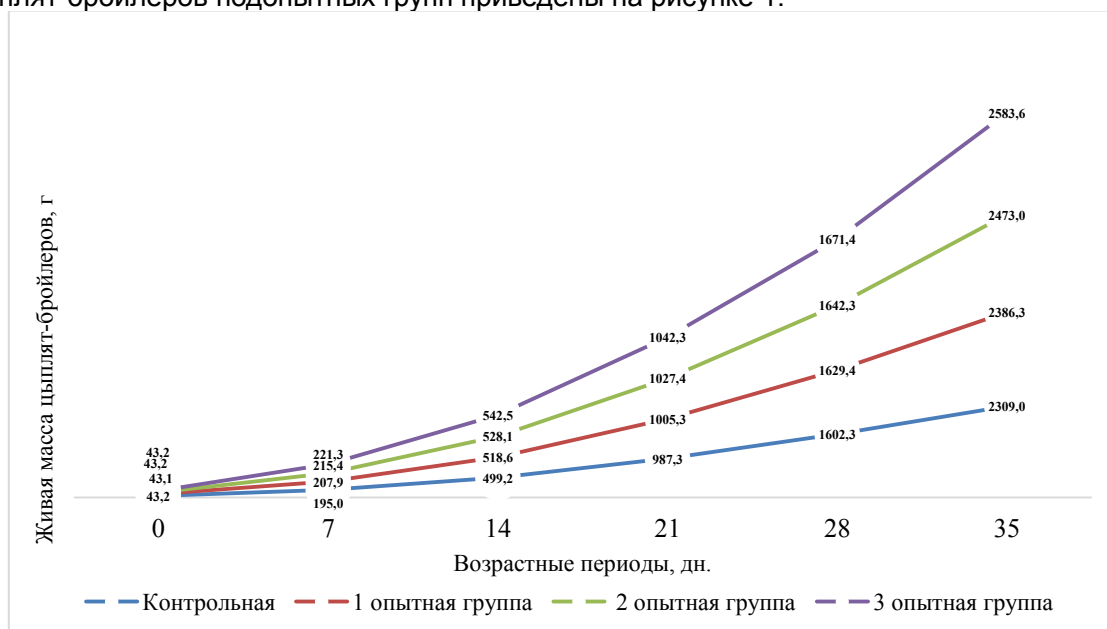


Рисунок 1 – Динамика живой массы цыплят-бройлеров подопытных групп
Figure 1 – Dynamics of live weight of broiler chickens in experimental groups

В начале научно-хозяйственного опыта средний вес цыплят-бройлеров во всех подопытных группах составлял 43,0 грамма.

По истечении первой недели научно-хозяйственного опыта были получены следующие данные: средняя живая масса цыплят-бройлеров 3-й опытной группы составила 221,3 г, что на 26,3 г или 11,9 % превышает показатель контрольной группы. Средняя живая масса цыплят 1-й опытной группы в этот период составила 207,9 г, демонстрируя разницу в 12,9 г или 6,2 % по сравнению с цыплятами-бройлерами контрольной группы. Цыплята-бройлеры 2-й опытной группы показали среднюю живую массу 215,4 г, что на 20,4 г или 9,5 % выше, чем цыплята в контрольной группе.

Через две недели, к 14-му дню научно-хозяйственного опыта были зафиксированы следующие показатели средней живой массы цыплят-бройлеров: 3-я опытная группа цыплят-бройлеров – 542,5 г, что на 43,3 г или 8,0 % выше, чем у цыплят в контрольной группе (499,2 г); цыплята-бройлеры 1-й опытной группы достигли средней живой массы 518,6 г, превышение над цыплятами контрольной группы составило 19,4 г или 3,7 %; цыплята-бройлеры 2-й опытной группы – 528,1 г, что на 28,9 г или 5,5 % больше, чем у цыплят контрольной группы.

К 21 дню результаты исследования динамики живой массы цыплят-бройлеров выявили явные преимущества у цыплят опытных групп, получавших комбикорм, в котором белковый концентрат, частично или полностью заменял соевый шрот. Цыплята 1-й опытной группы показали разницу в 18,0 г или 1,8 % (1 005,3 г), 2-й опытной группы – в 40,1 г или 3,9 % (1 027,4 г), а 3-й опытной группы – в 55,0 г или 5,3 % (1 042,3 г) относительно цыплят-бройлеров контрольной группы.

К 28-дневному возрасту различия в динамике живой массы цыплят-бройлеров стали еще более выраженными: 1-я опытная группа цыплят-бройлеров превосходила контрольную группу цыплят на 27,1 г или 1,7 % (1 629,4 г), 2-я опытная группа цыплят-бройлеров – на 40,0 г или 2,4 % (1 642,3 г), а цыплята-бройлеры 3-й опытной группы – на 69,1 г или 4,1 % (1 671,4 г), в то время как средняя масса цыплят-бройлеров контрольной группы составила 1 602,3 г.

К завершению периода выращивания, на 35-й день, цыплята-бройлеры 3-й опытной группы показали наилучшие результаты, достигнув средней живой массы 2 583,6 г, что на 274,6 г или 10,6 % больше, чем у цыплят контрольной группы (2 309,0 г). Цыплята 1-й опытной группы показали разницу в 77,3 г или 3,2 % (2 386,3 г), а цыплята-бройлеры 2-й опытной группы – в 164,0 г или 6,6 % (2 473,0 г). Это свидетельствует о том, что включение белкового концентрата в рацион, замещающего частично (Рацион № 1 и Рацион № 2) или полностью соевый шрот (Рацион № 3), эффективно стимулирует рост цыплят-бройлеров.

Для анализа эффективности замены соевого шрота на белковый концентрат в комбикормах для цыплят-бройлеров нами был проведен физиологический опыт по переваримости питательных веществ рационов подопытными цыплятами-бройлерами (таблицы 2).

Таблица 2 – Переваримость питательных веществ рационов подопытными цыплятами бройлерами, %
($\bar{X}+m\bar{x}$) (n = 6)

Table 2 – Digestibility of nutrients in diets of experimental broiler chickens, % ($\bar{X}+m\bar{x}$) (n=6)

Наименование питательного вещества рациона / Name of the dietary nutrient	Процент переваримости питательных веществ / Percentage of nutrient digestibility			
	Подопытные группы / Experimental groups			
	Контрольная / Control	1-я опытная / Experimental 1	2-я опытная / Experimental 2	3-я опытная / Experimental 3
Сухое вещество / Dry matter	75,92 ± 0,19	76,47 ± 0,18	76,92 ± 0,22**	77,18 ± 0,26***
Органическое вещество / Organic matter	79,21 ± 0,16	79,83 ± 0,19	79,94 ± 0,24	80,34 ± 0,27**
Сырой протеин / Crude protein	86,32 ± 0,29	87,00 ± 0,31	87,57 ± 0,41	88,12 ± 0,49**
Сырая клетчатка / Crude fiber	18,90 ± 0,09	19,23 ± 0,54	19,42 ± 0,17**	19,93 ± 0,25**
Сырой жир / Crude fat	82,35 ± 0,31	82,86 ± 0,55	83,32 ± 0,49	83,57 ± 0,69
БЭВ / Non-nitrogenous extractives	89,57 ± 0,65	90,51 ± 0,64	91,01 ± 0,71	91,47 ± 0,82

Примечание: здесь и далее *P ≤ 0,05; **P ≤ 0,01; ***P ≤ 0,001.

Note: here and below, *P ≤ 0.05; **P ≤ 0.01; ***P ≤ 0.001.

Результаты были следующие: по переваримости сухого вещества цыплятами-бройлерами самый лучший показатель был в 3-й опытной группе, где цыплята-бройлеры переваривали сухое вещество на 77,18 %, что на 1,26 % выше, по сравнению с цыплятами-бройлерами контрольной группы. В 1-й и во 2-й опытной группе были промежуточные показатели, и соответственно, по группам было 76,47 % и 76,92 %.

Переваримость цыплятами-бройлерами органического вещества в 3-й опытной группе была наивысшей и составила 80,34 %, что на 1,13 % выше по сравнению с цыплятами-бройлерами контрольной группы. Цыплята-бройлеры 1-й опытной группы переваривали органическое вещество на 79,83 %, что выше по сравнению с цыплятами контрольной группы на 0,62 %. Цыплята 2-й опытной группы переваривали органическое вещество на 79,94 %, что было выше на 0,73 % по сравнению с цыплятами-бройлерами контрольной группы.

После расчета переваримости сырого протеина был сделан вывод, что цыплята-бройлеры контрольной группы переваривали сырой протеин на 86,32 %, что на 1,8 % ниже по сравнению с цыплятами 3-й опытной группы. Разность между группами достоверна. Цыплята 1-й опытной группы переваривали сырой протеин на 87,0 %, что на 0,68 % выше по сравнению с цыплятами контрольной группы, а цыплята-бройлеры 2-й опытной группы переваривали сырой протеин на 87,57 %, что также выше по сравнению с цыплятами-бройлерами контрольной группы на 1,25 %.

Переваримость сырой клетчатки цыплятами-бройлерами 3-й опытной группы была на уровне 19,93 %, что на 1,0 % больше по сравнению с цыплятами-бройлерами контрольной группы, где переваримость составила 18,9 %. Переваримость сырой клетчатки цыплятами-бройлерами в 1-й опытной группе составила 19,23 %, что на 0,33 % больше по сравнению с цыплятами контрольной группы. Цыплята-бройлеры 2-й опытной группы переваривали сырую клетчатку на 19,42 %, что на 0,52 % лучше по сравнению с цыплятами контрольной группы.

Переваримость сырого жира цыплятами в 3-й опытной группе составила 83,57 %, что на 1,22 % лучше по сравнению с цыплятами-бройлерами контрольной группы, где переваримость сырого жира была 82,35 %. Цыплята-бройлеры 1-й опытной группы переваривали сырой жир на 82,86 %, что на 0,51 % выше по сравнению с цыплятами-бройлерами контрольной группы. Цыплята-бройлеры 2-й опытной группы переваривали сырой жир на 83,32 %, что на 0,97 % лучше по сравнению с цыплятами контрольной группы.

Переваримость безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) цыплятами-бройлерами контрольной группы составила 89,57 %, что хуже по сравнению со сверстниками 3-й опытной группы, где переваримость безазотистых экстрактивных веществ была 91,47 %. Цыплята-бройлеры 1-й опытной группы переваривали безазотистые экстрактивные вещества на 90,51 %, что на 0,94 % лучше по сравнению со сверстниками контрольной группы и цыплята-бройлеры 2-й опытной группы переваривали безазотистые экстрактивные вещества на 91,01 %, что на 1,44 % лучше по сравнению с цыплятами-бройлерами контрольной группы. Можно сделать заключение, что замена соевого шрота на белковый концентрат в процентном соотношении 50 % в комбикормах для цыплят-бройлеров 1-й опытной группы (Рацион № 1), 75 % в комбикормах для цыплят-бройлеров 2-й опытной группы (Рацион № 2) и на 100 % в комбикормах для цыплят 3-й опытной группы (Рацион № 3) положительно повлияла на переваримость питательных веществ рационов подопытными цыплятами-бройлерами.

Рисунок 2 показывает, что цыплята-бройлеры, получавшие белковый концентрат, лучше переваривали питательные вещества рационов.

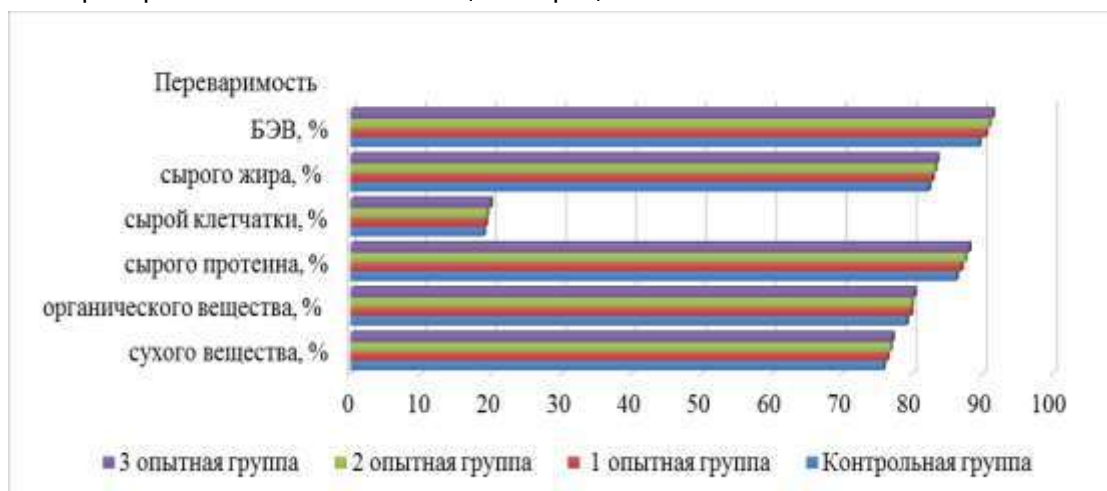


Рисунок 2 – Переваримость питательных веществ рационов подопытными цыплятами-бройлерами, %

Figure 2 – Digestibility of nutrients in diets by experimental broiler chickens, %

Использование азота, кальция, фосфора цыплятами-бройлерами представлено в таблице 3.

Проведенный физиологический опыт по изучению метаболизма азота у цыплят-бройлеров выявил существенные различия в его усвоении между опытными и контрольной группами, несмотря на незначительные расхождения в потреблении азота с кормом (менее 0,06 г). Наиболее заметное улучшение наблюдалось в 3-й опытной группе, где цыплята-бройлеры использовали 57,39 % полученного азота, что на 2,95 % превышает показатель у цыплят контрольной группы (54,44 %). Аналогично, цыплята 1-й и 2-й опытных групп продемонстрировали повышение эффективности использования азота на 1,76 % (до 56,20 %) и 2,38 % (до 56,82 %) соответственно. Эти результаты были статистически достоверны. Более того, в теле цыплят-бройлеров опытных групп было накоплено больше азота: 3,36 г в первой опытной (+ 0,12 г или 3,5 % к контрольной), 3,41 г во второй (+ 0,17 г или 5,0 %) и 3,45 г в третьей (+ 0,21 г или 6,1 %), по сравнению с 3,24 г в контрольной группе цыплят-бройлеров.

Таблица 3 – Использование азота, кальция, фосфора цыплятами-бройлерами, % ($\bar{X} \pm m\bar{x}$) (n = 6)
Table 3 – Use of nitrogen, calcium, phosphorus by broiler chickens, % ($\bar{X} \pm m\bar{x}$) (n=6)

Подопытные группы цыплят-бройлеров / Experimental groups of broiler chickens	Потреблено с кормом, г / Consumed with feed, g	Выделено с пометом, г / Excreted in feces, g	Отложено в теле, г / De- posited in body, g	Использовано от принятого, % / Used from intake, %
Азот / Nitrogen				
Контрольная / Control	5,95 ± 0,21	2,71 ± 0,07	3,24 ± 0,09	54,44 ± 0,16
1-я опытная / Experimental 1	5,98 ± 0,19	2,62 ± 0,08	3,36 ± 0,11	56,20 ± 0,17***
2-я опытная / Experimental 2	6,00 ± 0,27	2,59 ± 0,09	3,41 ± 0,10	56,82 ± 0,15***
3-я опытная / Experimental 3	6,01 ± 0,20	2,56 ± 0,05	3,45 ± 0,12	57,39 ± 0,19***
Кальций / Calcium				
Контрольная / Control	1,71 ± 0,12	0,66 ± 0,04	1,05 ± 0,09	60,85 ± 0,87
1-я опытная / Experimental 1	1,73 ± 0,09	0,67 ± 0,06	1,06 ± 0,08	61,37 ± 0,92
2-я опытная / Experimental 2	1,73 ± 0,11	0,66 ± 0,05	1,07 ± 0,11	61,59 ± 0,85
3-я опытная / Experimental 3	1,74 ± 0,10	0,66 ± 0,07	1,08 ± 0,07	62,14 ± 1,01
Фосфор / Phosphorus				
Контрольная / Control	1,32 ± 0,09	0,58 ± 0,07	0,74 ± 0,13	55,87 ± 1,49
1-я опытная / Experimental 1	1,34 ± 0,07	0,59 ± 0,08	0,75 ± 0,23	56,18 ± 1,32
2-я опытная / Experimental 2	1,34 ± 0,06	0,58 ± 0,06	0,76 ± 0,17	56,72 ± 1,05
3-я опытная / Experimental 3	1,35 ± 0,08	0,58 ± 0,05	0,77 ± 0,21	57,05 ± 1,41

Эффективность усвоения азота тесно коррелирует с усвоением кальция и фосфора, причем динамика показателей по последним двум элементам совпадает. В опытных группах цыплят-бройлеров наблюдалось улучшение усвоения кальция по сравнению с цыплятами контрольной группы. Наилучшие результаты по усвоению кальция показали цыплята-бройлеры 3-й опытной группы (62,14 %), превзойдя контрольную на 1,29 %. Первая и вторая опытные группы цыплят-бройлеров также продемонстрировали положительную динамику, улучшив показатели на 0,52 % и 0,74 %, соответственно.

По отложению кальция в теле, все группы цыплят-бройлеров показали высокие результаты. Наилучший показатель выявлен у цыплят-бройлеров 3-й опытной группы (1,08 г), что на 0,03 г или 2,8 % выше, чем у цыплят контрольной. Первая и вторая опытные группы также показали улучшение на 0,01 г (0,9 %) и 0,02 г (1,9 %), соответственно.

Аналогичная картина наблюдается и по фосфору – 3-я опытная группа цыплят-бройлеров лидировала по использованию принятого фосфора (57,05 %), превысив цыплят контрольной на 1,18 %; цыплята-бройлеры 1-й и 2-й опытных групп также показали более высокие результаты по использованию принятого фосфора по сравнению с цыплятами контрольной группы (на 0,31 % и 0,85 % соответственно). По отложению фосфора в теле, цыплята-бройлеры 3-й опытной группы вновь показали наилучший результат (0,77 г), опередив цыплят контрольной группы на 0,03 г или 3,9 %; цыплята-бройлеры 1-й и 2-й опытных групп также продемонстрировали улучшение на 0,01 г (1,3 %) и 0,02 г (2,6 %) соответственно.

Экономическая оценка является ключевым этапом при анализе эффективности использования белкового концентрата в кормлении цыплят-бройлеров. В рамках нашего научно-хозяйственного опыта мы провели экономический анализ эффективности замены соевого шрота белковым концентратом в комбикормах для цыплят-бройлеров (рисунок 3, 4).

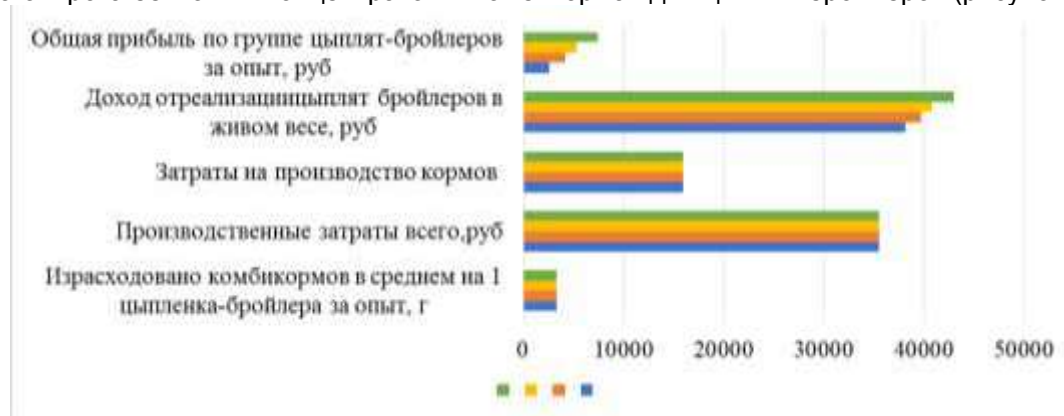


Рисунок 3 – Экономическая оценка эффективности использования белкового концентрата в кормлении цыплят-бройлеров

Figure 3 – Economic evaluation of the efficiency of using protein concentrate in feeding broiler chickens

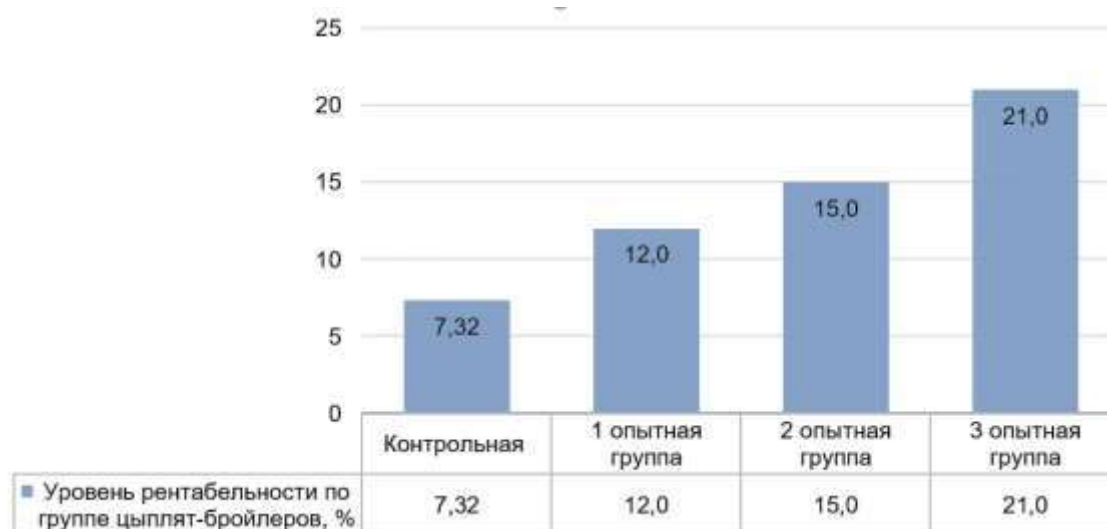


Рисунок 4 – Уровень рентабельности по группе цыплят-бройлеров, %

Figure 4 – Profitability level for the broiler chicken group, %

Важно отметить, что потребление комбикорма цыплятами-бройлерами кросса Росс-308 во всех подопытных группах было одинаковым и составляло в среднем 3,4 кг на одного цыпленка-бройлера за весь период научно-хозяйственного опыта. Поскольку цены на соевый шрот и белковый концентрат не различались, стоимость комбикорма для подопытных цыплят-бройлеров также была одинаковой – 39,20 рублей за 1 кг. Производственные затраты также оставались на одном уровне. Цена реализации одного килограмма живой массы цыпленка-бройлера была фиксированной и составляла 140,0 рублей.

Результаты научно-хозяйственного опыта показали, что общая выручка от реализации цыплят-бройлеров в живом весе в 3-й опытной группе достигла 43 042,78 рубля, что на 4 898,10 рублей превышает показатель контрольной группы (38 144,68 рубля). В 1-й опытной группе доход составил 39 739,10 рублей, что на 1 594,42 рубля больше, чем в контрольной группе. Во 2-й опытной группе доход достиг 40 853,96 рубля, превысив контрольную группу на 2 709,28 рублей.

Что касается рентабельности, то в контрольной группе она составила 7,32 %. В 3-й опытной группе рентабельность значительно возросла до 21,0 %, что на 13,68 % выше, чем в контрольной. В 1-й опытной группе рентабельность составила 12,0 %, во 2-й опытной группе – 15,0 %, что на 4,68 % и 7,68 % выше показателя рентабельности контрольной группы соответственно.

Заключение. В связи с растущей потребностью в экологических и экономически выгодных кормах для цыплят-бройлеров, были проведены научные исследования по изучению эффективности белкового концентрата. Результаты показали, что влияние этого концентрата на рост сельскохозяйственной птицы варьируется в зависимости от его доли в рационе и фазы роста цыплят-бройлеров. Особо стоит отметить положительное воздействие на окружающую среду, достигаемое при замене соевого шрота на ключевых этапах кормления цыплят-бройлеров, когда потребление корма наиболее интенсивно.

Исследования переваримости продемонстрировали явные преимущества у цыплят-бройлеров 3-й опытной группы: усвояемость органического вещества возросла на 1,13 %, сырой клетчатки – на 1,03 % (до 19,93 %), БЭВ – на 1,90 % (до 91,47 %), а сырого жира – на 1,22 % (до 83,57 %) по сравнению с цыплятами-бройлерами контрольной группы.

Анализ использования азота также подтвердил эффективность Рациона № 3 в 3-й опытной группе, где цыплята-бройлеры усваивали на 2,95 % больше азота (57,39 %) при сопоставимом потреблении, чем цыплята-бройлеры контрольной группы (54,44 %). Положительные тенденции были отмечены и в усвоении кальция и фосфора.

Экономическая оценка показала существенное улучшение рентабельности в 3-й опытной группе, достигнув 21,0 %.

Таким образом, применение белкового концентрата в рационе цыплят-бройлеров является экологически и экономически выгодным и способствует улучшению производственных показателей.

Conclusion. Due to the growing need for environmentally friendly and cost-effective broiler feed, scientific research was conducted to examine the effectiveness of protein concentrates. The results showed that the impact of these concentrates on poultry growth varies depending on their proportion in the diet and the growth phase of the broiler chickens. Of particular note is the positive environmental impact achieved by replacing soybean meal at key stages of broiler feeding, when feed consumption is highest. Digestibility studies demonstrated clear advantages in broiler chickens in the third experimental group: organic matter digestibility increased by 1.13 %, crude fiber by 1,03 % (to 19,93 %), non-nitrogenous extractives by 1,90 % (to 91,47 %), and crude fat by 1,22 % (to 83,57 %) compared to broiler chickens in the control group.

Nitrogen utilization analysis also confirmed the effectiveness of Diet No. 3 in broiler chickens in the third experimental group: chickens digested 2,95 % more nitrogen (57,39 %) with comparable intake than broiler chickens in the control group (54,44 %). Positive trends were also noted in calcium and phosphorus digestibility. An economic evaluation showed a significant improvement in profitability in the third experimental group, reaching 21,0 %.

Thus, the use of protein concentrate in broiler chicken diets is environmentally and economically beneficial and contributes to improved production performance.

Библиографический список

1. Водяников В. И., Спиридонов Д. Н., Николаев С. И., Шкаленко В. В., Агапов С. Ю. Снижение экологической нагрузки на окружающую среду при производстве мяса цыплят бройлеров. Стратегические эколого-экономические и социальные приоритеты и проектная деятельность в регионах: анализ и перспективы развития: материалы международной научно-практической конференции. Москва, 2022. С. 235-242.
2. Гавилей Е. В., Панькова С. Н., Катеринич О. А. Влияние частичной замены соевого шрота подсолнечным концентратом в рационе цыплят-бройлеров на продуктивность и физиологическое состояние птицы. Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. 2020. № 23 (1). С. 120-127.
3. Егоров И. А., Егорова Т. В., Криворучко Л. И., Ставцев А. Э. Белковый концентрат на основе белого люпина с высоким содержанием протеина. Птицеводство. 2018. № 9. С. 15-19.
4. Имангулов Ш. А., Егоров И. А., Околелова Т. М., Тищенко А. Н., Ленкова Т. Н., Паньков П. Н., Езерская А. В., Игнатова Г. В., Догадаева И. В., Авдонин Б. Ф., Петрина З. А., Борисова Т. В., Громова Т. И. Методика проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы. Сергиев Посад: Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства, 2000. 34 с.
5. Имангулов Ш. А., Егоров И. А., Околелова Т. М., Тищенко А. Н., Паньков П. Н., Игнатова Г. В., Ленкова Т. Н., Авдонин Б. Ф., Петрина З. А., Розанов Б. Л., Чеснокова Н. Я., Шевяков А. Н., Гогин А. Е., Егорова Т. В., Бадаева Д. М., Криворучко Л. И., Дадашко В. В., Менькин В. К., Топорова Л. В., Архипов А. В., Румянцев С. Д., Морозов А. М. Рекомендации по кормлению сельскохозяйственной птицы. Сергиев Посад: Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства, 2003. 144 с.
6. Лукашенко В. С., Салеева И. П., Овсейчик Е. А., Журавчук Е. В., Волик В. Г., Исмаилова Д. Ю. Кормовые добавки животного происхождения в кормлении цыплят-бройлеров. Птицеводство. 2021. № 9. С. 34-38.
7. Салеева И. П., Фисинин В. И., Лукашенко В. С., Волик В. Г. Вторичная переработка отходов птицеводства – источник белковых кормов для цыплят-бройлеров. Вестник Курганской ГСХА. 2025. № 2 (54). С. 36-44.
8. Самофалова О. В., Карапетян А. К., Николаев С. И., Чернышков А. С. Влияние нетрадиционного кормового сырья на морфологические и биохимические показатели крови бройлеров. Птицеводство. 2023. № 1. С. 29-33.
9. Самофалова О. В., Карапетян А. К., Николаев С. И., Шкаленко В. В., Чернышков А. С., Воронцова Е. С. Повышение мясной продуктивности цыплят-бройлеров при использовании нетрадиционных кормовых источников. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 4 (68). С. 349-355.
10. Самофалова О. В. и др. Эффективность использования нетрадиционных кормовых ингредиентов в кормлении цыплят-бройлеров и кур-несушек. Птицеводство. 2023. № 2. С. 26-29.
11. Суханова С. Ф. Оценка степени влияния кормовых факторов на продуктивные показатели биологического объекта. Инновационные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции в условиях международных санкций: сборник статей по материалам II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Курган: Курганский государственный университет, 2024. С. 117-120.
12. Aviagen. Бройлеры Ross 308: Нормативные показатели. 2022. https://aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/RUS_TechDocs/RossxRoss308_BroilerPerformanceObjectives2022_RU.pdf
13. Aviagen. Выращивание бройлеров кросса ROSS-308. 2025. <https://en.ppt-online.org/1689921>
14. Čumplík L., Zálesáková D., Novotný J., Kudlová L., Pavlata L., Šťastník O. Alternative Protein Sources in Poultry and Pig Nutrition. Animal Physiology and Animal Nutrition. 2026.
15. Pas Marinus et al. Adaptation of Livestock to New Diets Using Feed Components without Competition with Human Edible Protein Sources. A Review of the Possibilities and Recommendations. Animals. 2021. V. 11. Art. 2293.
16. Pootthachaya P., Puangsap W., Bunchalee P. Investigation of Nutritional Profile, Protein Solubility and In Vitro Digestibility of Various Algae Species as an Alternative Protein Source for Poultry Feed. Investigation of nutritional profile, protein solubility and in vitro digestibility of various algae species as an alternative protein source for poultry feed. Algal Research. 2023. V. 10. Art. 103147.
17. Siddiqui S. A., Osei-Owusu J., Yunusa B. M. Prospects of edible insects as sustainable protein for food and feed – a review. Journal of Insects as Food and Feed. 2023. V. 10. 10.1163/23524588-20230042.
18. Thornton P., Gurney-Smith H., Wollenberg E. Alternative sources of protein for food and feed. Current Opinion in Environmental Sustainability. 2023. V. 62. Art. 101277.

19. Wangui J. C., Taylor J. D., Barraza H., Hancock P., Kyriazakis I. One size does not fit all: Are there any sustainable alternatives to soybean in chicken systems? *Poultry Science*. 2025. V. 104. Issue 12. Art. 105957.

References

1. Vodyannikov V. I., Spiridonov D. N., Nikolaev S. I., Shkalenko V. V., Agapov S. Yu. Reducing the Environmental Impact of Broiler Chicken Meat Production. Strategic Environmental, Economic, and Social Priorities and Project Activities in the Regions: Analysis and Development Prospects: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Moscow, 2022. Pp. 235-242.
2. Gaviley E. V., Pankova S. N., Katerinich O. A. The effect of partial replacement of soybean meal with sunflower concentrate in the diet of broiler chickens on the productivity and physiological condition of the birds. *Actual Problems of Intensive Livestock Development*. 2020. No 23 (1). Pp. 120-127.
3. Egorov I. A., Egorova T. V., Krivoruchko L. I., Stavytsev A. E. Protein concentrate based on white lupine with the high protein content. *Poultry Farming*. 2018. No 9. Pp. 15-19.
4. Imangulov Sh. A., Egorov I. A., Okolelova T. M., Tishenkov A. N., Lenkova T. N., Pankov P. N., Ezerskaya A. V., Ignatova G. V., Dogadaeva I. V., Avdonin B. F., Petrina Z. A., Borisova T. V., Gromova T. I. Methodology for conducting scientific and production research on poultry feeding. *Sergiev Posad: All-Russian Research and Technological Institute of Poultry Farming*, 2000. 34 p.
5. Imangulova Sh. A., Egorov I. A., Okolelova T. N., Tishenkov A. N., Pankov P. N., Ignatova G. V., Lenkova T. N., Avdonin B. F., Petrina Z. A., Rozanov B. L., Chesnokova N. Ya., Shevyakov A. N., Gogin A. E., Egorova T. V., Badaeva D. M., Krivoruchko L. I., Dadashko V. V., Menkin V. N., Toporova L. V., Arkhipov A. V., Rummyantsev S. J., Morozov A. M. Recommendations for feeding poultry. *Sergiev Posad: All-Russian Scientific Research and Technological Institute of Poultry Farming*, 2003. 144 p.
6. Lukashenko V. S., Saleeva I. P., Ovseychik E. A., Zhuravchuk E. V., Volik V. G., Ismailova D. Yu. Feed additives of animal origin in feeding broiler chickens. *Poultry farming*. 2021. No 9. Pp. 34-38.
7. Saleeva I. P., Fisinin V. I., Lukashenko V. S., Volik V. G. Recycling of poultry waste is a source of protein feed for broiler chickens. *Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*. 2025. No 2 (54). Pp. 36-44.
8. Samofalova O. V., Karapetyan A. N., Nikolaev S. I., Chernyshkov A. N. The influence of non-traditional feedstocks on morphological and biochemical parameters of broiler blood. *Poultry farming*. 2023. No 1. Pp. 29-33.
9. Samofalova O. V., Karapetyan A. N., Nikolaev S. I., Shkalenko V. V., Chernyshkov A. N., Vorontsova E. S. Increasing meat productivity of broiler chickens using non-traditional feed sources. *Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and higher professional education*. 2022. No 4 (68). Pp. 349-355.
10. Samofalova O. V. et al. The effectiveness of using non-traditional feed ingredients in feeding broiler chickens and laying hens. *Poultry farming*. 2023. No 2. Pp. 26-29.
11. Sukhanova S. F. Assessment of the degree of influence of feed factors on the productive indicators of a biological object. *Innovative technologies for the production and processing of agricultural products under international sanctions: a collection of articles based on the materials of the II All-Russian (national) Scientific and Practical Conference*. Kurgan: Kurgan State University, 2024. Pp. 117-120.
12. Aviagen. Ross 308 broilers: Regulatory targets for 2022. https://aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/RUS_TechDocs/Ross308_BroilerPerformanceObjectives2022_RU.pdf
13. Aviagen. Development of ROSS-308. 2025 cross broilers. <https://en.ppt-online.org/1689921>
14. Čumplík L., Zálesáková D., Novotný J., Kudlová L., Pavlata L., Šťastník O. Alternative Protein Sources in Poultry and Pig Nutrition. *Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2026.
15. Pas Marinus et al. Adaptation of Livestock to New Diets Using Feed Components without Competition with Human Edible Protein Sources. A Review of the Possibilities and Recommendations. *Animals*. 2021. V. 11. Art. 2293.
16. Pootthachaya P., Puangsap W., Bunchalee P. Investigation of Nutritional Profile, Protein Solubility and In Vitro Digestibility of Various Algae Species as an Alternative Protein Source for Poultry Feed. *Investigation of nutritional profile, protein solubility and in vitro digestibility of various algae species as an alternative protein source for poultry feed*. *Algal Research*. 2023. V. 10. Art. 103147.
17. Siddiqui S. A., Osei-Owusu J., Yunusa B. M. Prospects of edible insects as sustainable protein for food and feed – a review. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2023. V. 10. 10.1163/23524588-20230042.
18. Thornton P., Gurney-Smith H., Wollenberg E. Alternative sources of protein for food and feed. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 2023. V. 62. Art. 101277.
19. Wangui J. C., Taylor J. D., Barraza H., Hancock P., Kyriazakis I. One size does not fit all: Are there any sustainable alternatives to soybean in chicken systems? *Poultry Science*. 2025. V. 104. Issue 12. Art. 105957.

Информация об авторах

Суханов Роман Александрович, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: zoovet12@yandex.ru

Николаев Сергей Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

Водяникова Вера Владимировна, доктор биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: vodyannikovavolgau@bk.ru

Суханова Светлана Фаилевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО СПбГАУ (Российская Федерация, 196601, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, 2), e-mail: nauka007@mail.ru

Чехранова Светлана Викторовна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: schekhranova@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

Authors' Information

Sukhanov Roman Aleksandrovich, Postgraduate Student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: zoovet12@yandex.ru

Nikolaev Sergey Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

Vodyannikova Vera Vladimirovna, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: vodyannikovavolgau@bk.ru
Sukhanova Svetlana Failevna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Saint Petersburg State Agrarian University (Russian Federation, 196601, Saint Petersburg, Pushkin, Peterburgskoe shosse, 2), e-mail: nauka007@mail.ru
Chekhranova Svetlana Viktorovna, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: schekhhranova@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

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-53

THE NON-DRUG WAY TO INCREASE COWS' FERTILITY**Shevtsova A. I., Kocharyan A. K., Kocharyan V. D., Pereryadkina S. P.**

Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: kvd707@mail.ru

Received 20.01.2026

Submitted 23.03.2026

Abstract

Introduction. The reproductive performance of cows is a critical aspect of livestock farm profitability. Good reproductive performance significantly impacts economic benefits, reducing animal maintenance costs and increasing overall productivity. Currently, emphasis is placed on drug-free methods of improving fertility, allowing for better reproductive results without the use of hormonal agents or other medications. One such approach is uterine vibratory massage, a physiotherapeutic technique aimed at stimulating blood flow and improving reproductive system function. This article examines the comparative impact of vibratory massage and traditional hormonal therapy on fertility indicators (insemination index, service period, fertilization) and the dynamics of uterine recovery and ovarian function after a course of vibration massage. **Material and Methods.** The study was conducted in 2024-2025 at the Derzhava livestock complex, part of the Donskoye SP LLC (Kalachevsky District, Volgograd Region). The study subjects were high-yielding Holstein cows aged 2–5 years. Initially, a retrospective analysis of the prevalence of obstetric and gynecological pathologies in fresh cows was conducted in 2024. To compare the effectiveness of treatment methods, two groups of cows with postpartum pathologies were selected based on the analog principle. All animals were kept under identical feeding and housing conditions.

The first (control) group received traditional hormonal therapy. The second (experimental) group received a course of vibratory massage with medication support. The following methods were used to comprehensively assess the animals' condition and treatment results: clinical observation, rectal and vaginal examinations, and ultrasound diagnostics. **Results and Conclusions.** During an in-depth examination of 200 cows in the postpartum period, a service period (>61 days) was detected in 46.5 % (93 heads). Of these, 45.2 % (42 cows) were caused by ovarian dysfunction. Among these disorders, ovarian hypofunction was predominant (23.7 %), while luteal (13.9 %) and follicular (7.5 %) cysts were recorded less frequently. In the treatment of ovarian hypofunction (n=22), the use of the hormonal drug "Follimag" (1st experimental group) showed higher efficiency compared to the non-drug method of uterine vibratory massage (2nd experimental group). In the 1st group, the restoration of the estrous cycle was 81.8 % versus 63.6 % in the 2nd group, and the fertilization rate after two inseminations was 63.6 % versus 45.4 %, respectively. Although hormonal treatment demonstrates higher efficacy rates, non-drug methods such as vibratory massage are equally effective. Analyzing the data obtained, it can be noted that the non-drug treatment demonstrated an advantage in terms of cost effectiveness and was more cost-effective, with costs 1.09 times lower than those of the hormonal drug Follimag. Furthermore, this method is equally effective in reducing the number of infertile days in affected animals before the onset of heat, which is two days longer than with hormonal therapy. Thus, the non-drug approach not only reduces treatment costs but also ensures high efficacy, making it the preferred treatment for ovarian dysfunction in cows. It can also be combined with hormonal therapy for enhanced results.

Keywords: cows' fertility, sexual cycle, non-drug treatment methods for cows, cows' ovarian dysfunction, cows' uterine vibration massage.

Citation. Shevtsova A. I., Kocharyan A. K., Kocharyan V. D., Pereryadkina S. P. The non-drug way to increase cows' fertility. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 488-495 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-53.

Authors' contributions. The authors represented in this publication actively participated in the development of the study concept, its implementation, and subsequent analysis of the obtained data. Each of the authors reviewed the final version of the paper and expressed their consent with its content.

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

УДК 619:618:636.2.034

НЕМЕДИКАМЕНТОЗНЫЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ФЕРТИЛЬНОСТИ У КОРОВ**Шевцова А. И., аспирант****Кочарян А. К., аспирант****Кочарян В. Д., кандидат биологических наук, доцент****Перерядкина С. П., кандидат ветеринарных наук, доцент**

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Репродуктивная способность коров – важнейший аспект прибыльности животноводческих хозяйств. Хорошая воспроизводительность существенно сказывается на экономической выгоде, сокращая издержки на содержание животных и повышая общую производительность. В настоящее время акцент делается на немедикаментозные способы улучшения фертильности, позволяющих добиться лучших результатов в воспроизводстве без использования гормональных препаратов и других лекарств. Одним из таких подходов является вибромассаж матки – физиотерапевтическая методика, цель которой – активизация кровотока и улучшение функционирования репродуктивной системы. В статье рассматриваются сравнительная оценка влияния вибромассажа и традиционной гормональной терапии на показатели фертильности (индекс осеменения, сервис-период, оплодотворяемость) и динамика восстановления матки и функции яичников после проведенного курса вибромассажа. **Материал и методы.** Исследование проводилось в 2024–2025 гг. на базе животноводческого комплекса «Держава», входящего в состав ООО «СП «Донское» (Калачевский район, Волгоградской области). Объектом изучения послужили высокопродуктивные коровы голштинской породы в возрасте 2-5 лет. На начальном этапе был проведен ретроспективный анализ распространенности акушерско-гинекологических патологий у новотельных животных за 2024 год. Для сравнительной оценки эффективности методов лечения было подобрано две группы коров с послеродовой патологией по принципу аналогов. Все животные содержались в идентичных условиях кормления и содержания.

Первая (контрольная) группа получала традиционную гормональную терапию. Вторая (опытная) группа получала курс вибромассажа с медикаментозной поддержкой. Для комплексной оценки состояния животных и результатов лечения применялись следующие методы: клиническое наблюдение, ректальное и вагинальное исследование, ультразвуковая диагностика. **Результаты и выводы.** В рамках углубленного обследования 200 коров в послеродовом периоде у 46,5 % (93 голов) был выявлен сервис-период (> 61 дня). Из них у 45,2 % (42 коровы) причиной являлись дисфункции яичников. Среди этих нарушений доминировала гипофункция яичников (23,7 %), реже регистрировались лютеиновые (13,9 %) и фолликулярные (7,5 %) кисты. При лечении гипофункции яичников (n = 22) применение гормонального препарата «Фоллимаг» (1-я опытная группа) показало более высокую эффективность по сравнению с немедикаментозным методом вибромассажа матки (2-я опытная группа). В 1-й группе восстановление половой цикличности составило 81,8 % против 63,6 % во 2-й группе, а оплодотворяемость после двух осеменений – 63,6 % против 45,4 % соответственно. Несмотря на то, что лечение гормональным препаратом демонстрирует более высокие показатели эффективности, немедикаментозный метод, такой как вибромассаж, не уступает по результативности. Анализируя полученные данные, можно отметить, что немедикаментозный способ лечения продемонстрировал преимущество по экономическим показателям и оказался более экономичным, с затратами на 1,09 раза ниже по сравнению с применением гормонального препарата «Фоллимаг». При этом предлагаемый метод не уступает по показателям сокращения количества бесплодных дней у больных животных до наступления охоты, что на 2 дня больше, чем при гормональной терапии. Таким образом, немедикаментозный подход не только снижает затраты на лечение, но и обеспечивает высокую результативность, что делает его предпочтительным методом лечения дисфункции яичников у коров. Его также можно совмещать с гормональной терапией для достижения более высокого результата.

Ключевые слова: фертильность коров, половая цикличность, немедикаментозные методы лечения коров, дисфункциональное состояние яичников коров, вибромассаж матки коров.

Цитирование. Шевцова А. И., Кочарян А. К., Кочарян В. Д., Перерядкина С. П. Немедикаментозный способ повышения фертильности у коров. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 488-495. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-53.

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. Репродуктивные нарушения у коров, такие как гипофункция яичников, ановуляция, воспалительные процессы матки, значительно снижают показатели оплодотворяемости и увеличивают период между отелами. Традиционные методы лечения часто

включают медикаментозную терапию, которая может иметь побочные эффекты и требует затрат на препараты [1, 3]. В связи с этим поиск эффективных немедикаментозных способов, способствующих восстановлению и поддержанию репродуктивной функции, является актуальной задачей ветеринарной медицины и животноводства [9, 11].

Вибромассаж матки представляет собой метод физиотерапии, при котором на область матки воздействуют механическими колебаниями определенной частоты и амплитуды [7, 12]. Эти вибрации способствуют:

- улучшению кровообращения в тканях матки и яичников, что обеспечивает лучшее питание и кислородное снабжение клеток;
- стимуляции обменных процессов и ускорению регенерации тканей;
- снижению воспалительных процессов за счет улучшения лимфооттока и уменьшения отечности;
- нормализации гормонального фона через влияние на нервные окончания и рефлекторные механизмы.

Таким образом, вибромассаж способствует восстановлению нормальной функции яичников и матки, что повышает вероятность успешного оплодотворения и вынашивания беременности [2, 5].

Исследования и практический опыт показывают, что вибромассаж матки имеет некоторые преимущества, как немедикаментозный способ:

- отсутствие побочных эффектов, характерных для медикаментозной терапии;
- возможность применения у животных с противопоказаниями к лекарственным препаратам [6];
- экономическая эффективность за счет снижения затрат на лекарства и сокращения дней бесплодия;
- простота и безопасность процедуры при правильном выполнении.

Для достижения максимального эффекта вибромассаж рекомендуется применять в комплексе с другими мероприятиями по улучшению условий содержания, кормления и ветеринарного контроля [4, 11]. Важно учитывать, что процедура противопоказана при острых воспалительных процессах с выраженной болью, травмах половых органов и некоторых системных заболеваниях [10].

Также необходимо строго соблюдать санитарные нормы и правила гигиены, чтобы избежать занесения инфекции [8].

Цель исследования – сравнительная оценка эффективности вибромассажа матки и яичников как немедикаментозного метода восстановления репродуктивной функции у коров и разработка практических рекомендаций по его применению в условиях животноводческих хозяйств.

Материал и методы исследования. Исследование проводилось в 2024-2025 гг. на базе животноводческого комплекса «Держава», входящего в состав ООО «СП «Донское» (Калачевский район, Волгоградской области). Объектом исследования послужили высокопродуктивные коровы голштинской породы в возрасте 2-5 лет, содержащиеся в корпусе на 3 400 голов. На предварительном этапе был проведен ретроспективный анализ распространенности акушерско-гинекологических патологий у новотельных коров в количестве 2 100 голов за 2024 год.

Для сравнительной оценки эффективности методов лечения был проведен эксперимент. Из поголовья, с диагностированными послеродовыми патологиями (эндометрит, субинволюция матки, дисфункция яичников), по принципу аналогов (с учетом возраста, даты отела, диагноза и продуктивности) были сформированы две опытные группы по 11 голов в каждой. Все животные содержались в идентичных условиях кормления и содержания.

Первая (контрольная) группа получала традиционную гормональную терапию. На 62-й день после отела проводили подкожную инъекцию препаратом «Фоллимаг» (СЖК, 1000 МЕ), однократно; внутримышечная инъекция препарата «Хелсивит» в дозе 5 мл однократно. Проведен ручной массаж матки через прямую кишку 3-5 минут и УЗИ-мониторинг. На 83-й день после отела: повторная инъекция «Фоллимаг» (1000 МЕ п/к); внутримышечно и «Е-селен» в дозе 5 мл. Выполнены массаж матки и УЗИ-контроль.

Коровам второй опытной группы проводили вибромассаж матки и яичников на 62-й, 68-й, 74-й, 80-й и 82-й день после отела однократно через прямую кишку с продолжительностью 10 минут. Перед каждой процедурой выполняли фиксацию животного и гигиениче-

скую обработку наружных половых органов. Внутримышечно вводили препарат «Хелсивит» один раз на 62-й день после отела, затем на 83-й день, однократно, в дозе 5 мл. Проводили контроль состояния половых органов методом ультразвукового исследования на 74-й, 80-й и 82-й день после вибромассажа.

Для комплексной оценки состояния животных и результатов лечения применялись следующие методы: ежедневная оценка общего состояния, аппетита, поведения, признаков стресса или дискомфорта животных; ректальное и вагинальное исследования; ультразвуковое исследование для оценки структуры матки (тонус, наличие экссудата, инволюция) и яичников (наличие и тип фолликулов, желтых тел) проводилось в установленные схемой дни. Для оценки эффективности вибромассажа в первую очередь отслеживали регулярность эструсного цикла, количество овуляций, а также показатели оплодотворяемости и интервал между отелами.

Расчет материальных затрат на лечение подопытных групп животных проводили по формуле $M_{зк} = D \cdot \Gamma \cdot K$, где D – стоимость одной дозы препарата, Γ – количество голов в группе, K – кратность введения препарата.

Первичные данные, полученные в результате клинических и инструментальных исследований, заносились в электронные таблицы Microsoft Excel. Для оценки достоверности различий между группами по изучаемым показателям в дальнейшем планируется использование методов вариационной статистики с помощью программного пакета Statistica. Различия будут считаться статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования. Акушерско-гинекологические патологии у коров представляют собой важную проблему в животноводстве, поскольку они значительно влияют на репродуктивное здоровье животных, их продуктивность и, в конечном счете, на экономическую эффективность молочного производства. В данной работе мы также рассмотрели несколько наиболее распространенных акушерско-гинекологических патологий у коров в условиях животноводческого комплекса «Держава», в котором находится 2 100 голов дойных новотельных коров.

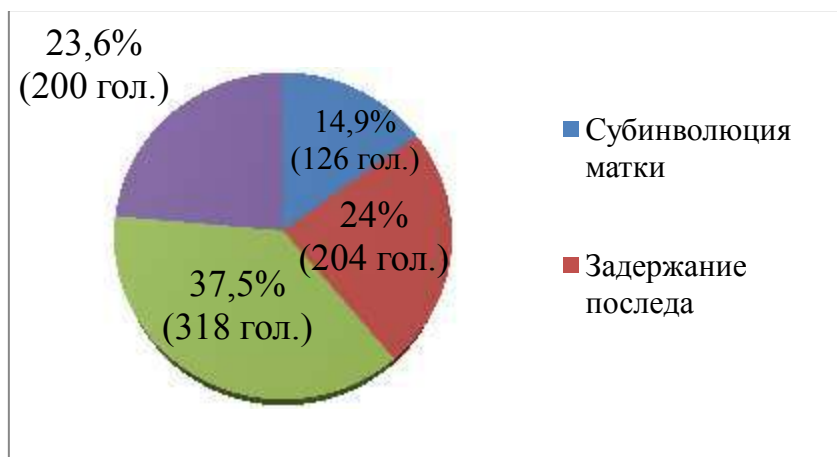


Рисунок 1 – Распространенность послеродовых патологии у новотельных коров в ЖК «Держава» за 2024 год

Figure 1 – Prevalence of postpartum pathology in newly calved cows at Derzhava farm in 2024

По данным, представленным на диаграмме, мы можем наблюдать, что наиболее часто встречаемой патологией является послеродовой эндометрит, что составляет 37,5 % от числа других акушерско-гинекологических заболеваний в послеродовой период. Показатель дисфункционального состояния яичников составил 23,6 % от числа послеродовых патологий репродуктивных органов за 2024 год в условиях ООО «СП «Донское». Всего было выявлено патологий у 848 голов коров, что составляет 40 % от количества новотельных животных. Акушерско-гинекологические патологии могут существенно нарушить функцию яичников, а это, в свою очередь, снижает фертильность коров. Ранняя диагностика и лечение послеродовых заболеваний являются ключевыми аспектами для восстановления репродуктивного здоровья и повышения продуктивности коров.

В нашем исследовании было учтено 200 коров в послеродовом периоде, из которых у 93 животных был выявлен сервис-период – более 61 дня. У 42 коров диагностировали дисфункцию яичников, тогда как у 51 животного причиной удлиненного периода от отёла до успешного осеменения стали другие факторы. На втором и третьем месяцах после отёла были получены данные о распространённости дисфункционального состояния яичников у коров.

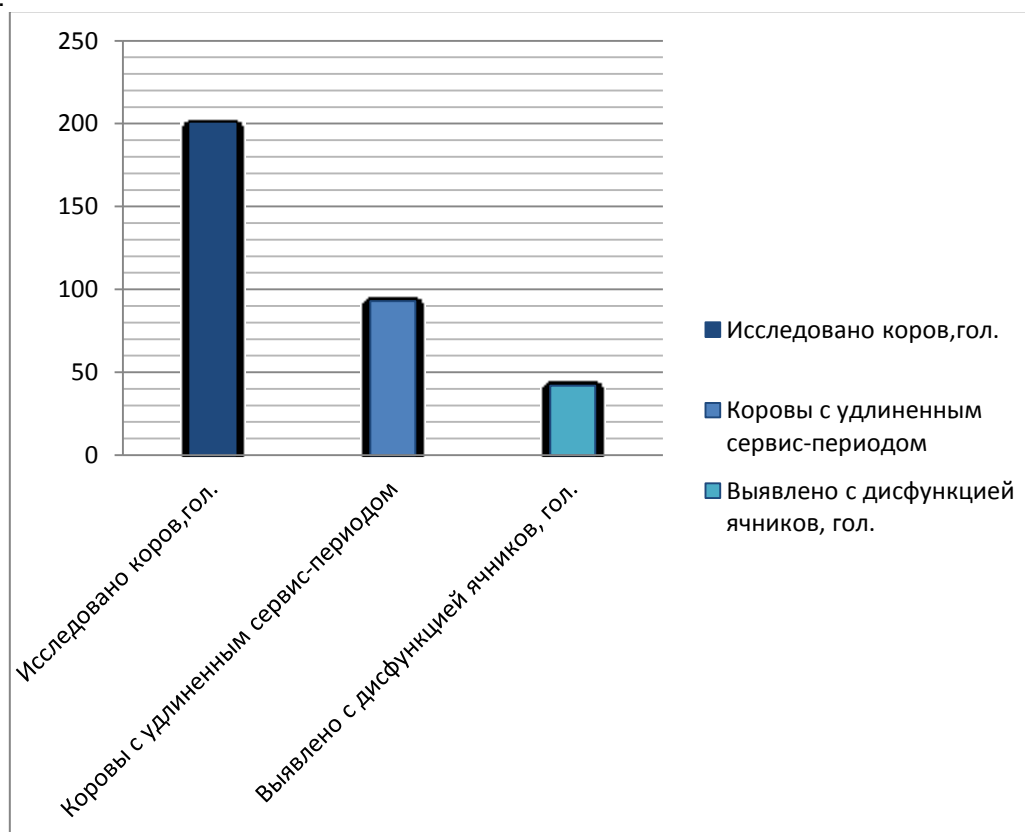


Рисунок 2 – Уровень встречаемости овариальных дисфункций у бесплодных коров
Figure 2 – Prevalence of ovarian dysfunction in infertile cows

Согласно рисунку 2 у 46,5 % исследуемых животных, что составляет 93 головы из 200, был обнаружен увеличенный период от отёла до последующего оплодотворения. В связи с данными показателями, мы выявили частоту возникновения форм дисфункционального состояния яичников у коров в условиях ООО «СП «Донское».

Таблица 1 – Частота распространения дисфункционального состояния яичников у коров
в ЖК «Держава» за 2024 г.

Table 1 – Frequency of prevalence of dysfunctional ovaries in cows in the Derzhava dairy farm in 2024

Хозяйство / Farm	Всего исследовано коров (гол.) / Total cows studied (pcs)	Число бесплодных коров (гол.) / Number of infertile cows	Формы дисфункционального состояния яичников / Forms of dysfunctional ovarian condition						
			Гипофункция яичников / Ovarian hypofunction	Кисты / Cysts					
				Фолликулярные / Follicular		Лютеиновые / Luteal			
				Кол-во гол. / number of cows	%	Кол-во гол. / number of cows	%	Кол-во гол. / number of cows	%
ООО «СП «Донское» / Donskoe farm	200	93	22	23,7	7	7,5	13	13,9	

Из данных таблицы 1, мы видим, что при акушерско-гинекологическом обследовании выявлялись такие патологии, как фолликулярные и лютеиновые кисты, при этом гипофункция яичников у коров встречалась чаще всего, составляя 23,7 % случаев. Реже регистрировались лютеиновые (13,9 %) и фолликулярные (7,5 %) кисты.

Основываясь на результатах проведенного экспериментального исследования, можно отметить, что ввиду высокой частотой возникновения дисфункционального состояния яичников у коров на данном предприятии, использование гормональной терапии, для устранения данной патологии, связано с большими финансовыми затратами. Стоимость препаратов, необходимость многократного проведения инъекций и контроль за их применением, существенно увеличивают расходы на лечение и усложняют процесс ветеринарного обслуживания. Кроме того, длительное использование гормональных средств может иметь побочные эффекты и вызывать привыкание у животных, что снижает эффективность терапии в долгосрочной перспективе. В связи с этим возникает острая необходимость разработки и внедрение альтернативных немедикаментозных методов лечения, которые позволили бы снизить нагрузку на организм коров и уменьшить затраты хозяйства.

Одним из таких перспективных подходов является вибромассаж матки, стимулирующий кровообращение и нормализацию функционирования репродуктивной системы без применения лекарственных средств. Этот метод обладает доступностью, простотой в использовании и безопасностью, что делает его особенно привлекательным для широкого внедрения в условиях сельскохозяйственных предприятий. Применение вибромассажа позволяет не только повысить эффективность лечения дисфункций яичников, но и улучшить общее состояние животных, повысить иммунитет и сократить сроки восстановления после родов.

В работе представлены данные, позволяющие сравнить эффективность медикаментозного и немедикаментозного методов комплексного лечения данной патологии у коров согласно таблице 1.

Таблица 2 – Влияние гормонального препарата «Фоллимаг» на восстановление половой цикличности и ее полноценность в сравнительном аспекте с вибромассажем при гипофункции яичников (n = 22)

Table 2 – The effect of the hormonal drug "Follimag" on the restoration of the sexual cycle and its completeness in a comparative aspect with vibration massage in ovarian hypofunction (n=22)

Группа / Group	Кол-во исследуемых животных, гол. / Number of animals studied	Восстановление половой цикличности / Sexual cyclicity restoring		Оплодотворяемость после двух осеменений / Fertilization after two inseminations	
		Коров, гол. / Number of cows	%	Коров, гол. / Number of cows	%
1-я опытная группа / Test group 1	11	9	81,8	7	63,6
2-я опытная группа / Test group 2	11	7	63,6	5	45,4

Анализируя данные таблицы, можно сказать, что показатель восстановления половой цикличности составил 81,8 %, а оплодотворяемость после двух осеменений была выше в 1,4 раза (63,6 %), чем во второй группе (где показатели составили 63,6 % и 45,4 % соответственно), в которой применяли немедикаментозный метод повышения фертильности.

Несмотря на то, что лечение гормональным препаратом демонстрирует более высокие показатели эффективности, немедикаментозный метод, такой как вибромассаж, не уступает ему по результативности. Вибромассаж обеспечивает стимуляцию кровообращения и нормализацию функций репродуктивной системы без применения лекарственных средств, что снижает риск побочных эффектов и делает процесс терапии более безопасным для животных. Кроме того, немедикаментозный подход способствует улучшению общего состояния коров и может быть использован как самостоятельный метод или в комплексе с медикаментозным лечением. Таким образом, несмотря на преимущества гормональной терапии, вибромассаж представляет собой эффективную и экономически выгодную альтернативу, которая позволяет достигать сопоставимых результатов в восстановлении репродуктивной функции у коров.

Обобщающим результатом экономического обоснования является таблица 3, в которой в сравнительном аспекте указана экономическая эффективность при повышении фертильности у коров медикаментозным и немедикаментозным методами.

Таблица 3 – Экономическая оценка повышения фертильности у коров медикаментозным и немедикаментозным методами

Table 3 – Economic evaluation of increasing fertility in cows using medicinal and non-medicinal methods

Показатели / Indicators	Группы животных / Animal groups	
	1-я опытная («Фоллимаг») / 1 st test (Follimag)	2-я опытная (Вибромассаж) / 2 nd test (Vibromassage)
Кол-во коров подвергнутых лечению, гол. / Number of cows treated	11	11
Выздоровело, гол. / Recovered	9	7
Продолжительность лечения, дн. / Duration of treatment, days	23	23
Количество дней до прихода в охоту, дн. / Number of days before sexual maturity, days	26	28
Количество дней бесплодия / Number of days of infertility	83	85
Стоимость лечения одной головы, руб. / The cost of treatment of one cow, RUB	181,55	166,22
Затраты на лечение группы животных, руб. / Costs of treating a group of animals, RUB	1 997,05	1 828,5

Анализируя полученные данные, можно отметить, что немедикаментозный способ лечения продемонстрировал преимущество по экономическим показателям: затраты оказались на 1,09 раза ниже по сравнению с применением гормонального препарата «Фоллимаг». При этом данный метод не уступает по показателям сокращения количества бесплодных дней у больных животных до наступления охоты, что на 2 дня больше, чем при гормональной терапии. Таким образом, немедикаментозный подход не только снижает затраты на лечение, но и обеспечивает высокую результативность, что делает его предпочтительным методом лечения дисфункции яичников у коров. Также можно совмещать вибромассаж с гормональной терапией для более высокого результата.

Заключение. Вибромассаж матки является перспективным немедикаментозным способом повышения фертильности у коров. Он способствует улучшению кровообращения, нормализации гормонального баланса и восстановлению репродуктивной функции без использования лекарственных средств. Внедрение данного метода в практику животноводческих хозяйств может значительно повысить эффективность воспроизводства и снизить экономические потери, связанные с репродуктивными нарушениями.

Вибромассаж у коров рекомендуется применять для повышения фертильности, особенно при дисфункциях яичников и задержке восстановления репродуктивного цикла. Процедуры лучше начинать на второй-третьей неделе после отёла, проводя 4-6 сеансов по 10-15 минут 1-2 раза в неделю. Вибромассаж улучшает кровообращение в области малого таза, стимулирует нормализацию гормонального баланса и способствует скорейшему восстановлению охотных циклов, что увеличивает шансы на успешное зачатие. При этом важно избегать использования метода при острых воспалениях и тяжелых заболеваниях репродуктивной системы. Такой немедикаментозный подход помогает сократить бесплодные периоды и повысить эффективность воспроизводства, особенно в сочетании с правильным уходом и питанием. Для дальнейшего развития и широкого применения вибромассажа необходимы дополнительные исследования, направленные на оптимизацию методики и оценку долгосрочных результатов.

Conclusion. Uterine vibratory massage is a promising non-drug method for increasing fertility in cows. It improves blood circulation, normalizes hormonal balance, and restores reproductive function without the use of drugs. Implementing this method into livestock farming practices can significantly improve reproductive efficiency and reduce economic losses associated with reproductive disorders.

Vibratory massage is recommended for cows to improve fertility, especially in cases of ovarian dysfunction and delayed restoration of the reproductive cycle. It is best to begin treatment in the second or third week after calving, performing sessions 1-2 times a week for 10-15 minutes for 4-6 sessions. Vibratory massage improves blood circulation in the pelvic area, stimulates hormonal balance, and promotes the rapid restoration of estrus cycles, increasing the chances of successful conception. However, it is important to avoid using this method in cases of acute inflammation and severe reproductive system diseases. This non-drug approach helps reduce infertility and improve fertility, especially when combined with proper care and nutrition. Further research is needed to optimize the technique and evaluate long-term results for the further development and widespread use of vibration massage.

Библиографический список

1. 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.
2. Безбородов Н. В., Тюрина С. Ф. Гормональные изменения в крови коров при стимуляции воспроизводительной функции. Вестник КрасГАУ. 2016. № 4. С. 165-172.
3. Кочарян В. Д., Перерядкина С. П., Файзулина Н. С. Эффективность применения адресной доставки лекарственных средств для профилактики воспалительных заболеваний репродуктивных органов у коров в пурпериальный период. Известия Нижневолжского Агро университета комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 4 (56). С. 162-170.
4. Кузьмина Т. И. и др. Способы повышения фертильности мужских гамет при оплодотворении ооцитов коров in vitro. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2014. № 35. С. 84-88.
5. Никитин В. Я. и др. О профилактике и лечению акушерско-гинекологических заболеваний коров. Вестник АПК Ставрополья. 2015. № 1. С. 19-22.
6. Полегаева К. С. и др. Видовой состав микроорганизмов при воспалении слизистой оболочки матки у коров. Вестник АГАТУ. 2023. № 2 (10). С. 11-20.
7. Смирнова Е. М., Кузнецова Т. В. Немедикаментозные методы стимуляции репродуктивной системы у сельскохозяйственных животных. Вестник аграрной науки. 2019. № 8 (2). 37 с.
8. Суров Д. В. Стимуляция и регуляция половой функции у коров. Вестник молодежной науки Алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 1. С. 261-264.
9. Чеходарики Ф. Н., Чохатариди Л. Г. Новое в стимуляции половой охоты коров и телок. Известия Горского государственного аграрного университета. 2018. Т. 55. № 2. С. 105-109.
10. Brown D. J., Williams P. The role of physical therapies in bovine reproductive health. Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice. 2017. No 33 (1). Pp. 101-115.
11. Johnson L. A., Smith R. K. Non-pharmacological approaches to improving fertility in dairy cows. Journal of Animal Reproduction Science. 2018. V. 195. Pp. 12-20.
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. Bakanova K. A. et al. Verification of the diagnosis and therapy of cows with chronic endometritis. Proceedings of the Nizhnevolzhskiy Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2016. No 2 (42). Pp. 190-197.
2. Bezborodov N. V., Tyurina S. F. Hormonal changes in the blood of cows during stimulation of reproductive function. Proceedings of the KrasGAU. 2016. No 4. Pp. 165-172.
3. Kocharyan V. D., Pereryadkina S. P., Fayzulina N. S. The Effectiveness of Targeted Drug Delivery for the Prevention of Inflammatory Diseases of the Reproductive Organs in Cows during the Puerperal Period. Proceedings of the Nizhnevolzhskiy Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2019. No 4 (56). Pp. 162-170.
4. Kuzmina T. I. et al. Methods of increasing the fertility of male gametes during in vitro fertilization of cow oocytes. Proceedings of the St. Petersburg State Agrarian University. 2014. No 35. Pp. 84-88.
5. Nikitin V. Ya. et al. On the prevention and treatment of obstetric and gynecological diseases in cows. Proceedings of the AIC Stavropolye region. 2015. No 1. Pp. 19-22.
6. Polegaeva K. S. et al. Species composition of microorganisms in the inflammation of the uterine mucosa in cows. Proceedings of the AGATU. 2023. No 2 (10). Pp. 11-20.
7. Smirnova E. M., Kuznetsova T. V. Non-drug methods of stimulating the reproductive system in farm animals. Bulletin of Agrarian Science. 2019. No 8 (2). 37 p.
8. Surov D. V. Stimulation and regulation of sexual function in cows. Bulletin of Youth Science of the Altai State Agrarian University. 2016. No 1. Pp. 261-264.
9. Chokharidi F. N., Chokharidi L. G. New in the stimulation of sexual hunting of cows and heifers. Proceedings of the Gorskii State Agrarian University. 2018. Vol. 55. No 2. Pp. 105-109.
10. Brown D. J., Williams P. The role of physical therapies in bovine reproductive health. Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice. 2017. No 33 (1). Pp. 101-115.
11. Johnson L. A., Smith R. K. Non-pharmacological approaches to improving fertility in dairy cows. Journal of Animal Reproduction Science. 2018. V. 195. Pp. 12-20.
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

Шевцова Алевтина Игоревна, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: alevtinka.yurkina@mail.ru

Кочарян Артем Каренович, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26).

Кочарян Валентина Даниловна, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7519-5883>, e-mail: kvd707@mail.ru

Перерядкина Светлана Петровна, кандидат ветеринарных наук, доцент, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: pereryadkina.svetlana@mail.ru

Authors' Information

Shevtsova Alevtina Igorevna, postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: alevtinka.yurkina@mail.ru

Kocharyan Artem Karenovich, postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26).

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

Svetlana Petrovna Pereryadkina, Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: pereryadkina.svetlana@mail.ru

THE GENOTYPIC FACTORS FOR THE INCREASING THE HOLSTEIN COWS MILK PRODUCTIVITY¹Samorodova A. A., ²Nikolaev S. I., ¹Baimishev Kh. B., ¹Baimishev M. Kh., ²Vorontsova E. S.,
²Chekhranova S. V., ¹Guseva V. A.¹Samara State Agrarian University
Ust-Kinelsky Urban Settlement, Kinel, Samara Region, Russian Federation
²Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: baimishev_hb@mail.ru

Received 02.02.2026

Submitted 30.03.2026

The study was conducted within the framework of the agreement dated 05/14/2018 No D/A-2429-18 on the topic: "The effect of using a granular mineral and vitamin complex in cattle diets".**Abstract**

Introduction. The main factor in increasing milk productivity in cows is improving the conditions for realizing their genetic potential and improving the methods of selection and breeding work. A number of authors point to the need to develop methods for the effective use of interline crosses as an efficient technique for expressing interline heterosis. The aim of the study was to increase milk productivity in Holstein cows using interline reciprocal crossing. **Materials and methods.** For the purpose of conducting experimental studies, four groups of first-calf heifers, 12 heads each, were formed: the first group – Reflection Sovering line; the second group - With Back Ideal line; the third group was obtained from interline reciprocal crossing of Reflection Sovering line sires with With Back Ideal line cows. The fourth group consisted of crossing bulls of the Whis Back Ideal line with cows of the Reflection Sovering line. The selection into groups was carried out using the analog pair method. **Results and conclusions.** Based on the conducted research, it was established that first-calf heifers obtained from reciprocal crosses (♂ Reflection Sovering × ♀ Whis Back Ideal) and (♂ Whis Back Ideal × ♀ Reflection Sovering) surpassed their peers from pure Reflection Sovering and Whis Back Ideal lines in milk yield over 305 days of lactation, milk fat yield, protein content and dry matter. In addition, they had a lower somatic cell count, as well as optimal (within the physiological norm) urea and milk pH values. The study data indicate the effectiveness of interline reciprocal crossbreeding in Holstein cows, with the best results obtained when crossing With Back Ideal bulls with Reflection Sovereign cows.

Keywords: Holstein cattle breed, Holstein cows, productivity of Holstein cows, inbreeding of cattle, and selection of dairy cattle.**Citation.** Samorodova A. A., Nikolaev S. I., Baimishev Kh. B., Baimishev M. Kh., Vorontsova E. S., Chekhranova S. V., Guseva V. A. The genotypic factors for the increasing the Holstein cows' milk productivity. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 496-501 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-54.**Authors' contribution.** The team of authors working on this study made a direct contribution to the planning, execution and analytical processing of the results obtained. The co-authors of the submitted article reviewed and approved the proposed final version.**Conflict of interest.** The authors claim that there is no conflict of interest.

УДК 636.2.034+636.234.1

ГЕНОТИПИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ПОВЫШЕНИЯ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ КОРОВ ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ¹Самородова А. А., соискатель
²Николаев С.И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор
¹Баймишев Х. Б., доктор биологических наук, профессор
¹Баймишев М. Х., доктор ветеринарных наук, профессор
²Воронцова Е. С., кандидат биологических наук
²Чехранова С. В., доктор сельскохозяйственных наук, доцент
¹Гусева В. А., студент¹ФГБОУ ВО Самарский ГАУ
п.г.т. Усть-Кинельский, г. Кинель, Самарская область, Российская Федерация
²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация**Исследование проведено в рамках договора от 14.05.2018 No Д/А-2429-18 по теме: "Влияние использования гранулированного минерально-витаминного комплекса в рационах крупного рогатого скота".****Актуальность.** Основным фактором увеличения молочной продуктивности у коров является улучшение условий для реализации генетического потенциала и совершенствование методов селекционно-племенной работы. Ряд авторов указывает на необходимость разработки способов ре-

зультативного использования межлинейных кроссов, как эффективного приёма для проявления межлинейного гетерозиса. Целью исследования являлось повышение уровня молочной продуктивности у коров голштинской породы с использованием межлинейного реципрокного скрещивания.

Материалы и методы. С целью проведения экспериментальных исследований было скомплектовано четыре группы первотёлок по 12 голов: первая группа – линии Рефлекшн Соверинг; вторая группа – линии Вис Бэк Айдиал; третья группа получена от межлинейного реципрокного скрещивания быков производителей линии Рефлекшн Соверинг с коровами линии Вис Бэк Айдиал; четвёртая группа – от скрещивания быков производителей линии Вис Бэк Айдиал с коровами линии Рефлекшн Соверинг. Отбор в группы проводился с применением метода пар аналогов. **Результаты и выводы.** На основании проведенных исследований установлено, что первотёлки, полученные от реципрокных скрещиваний (♂ Рефлекшн Соверинг × ♀ Вис Бэк Айдиал) и (♂ Вис Бэк Айдиал × ♀ Рефлекшн Соверинг), превосходили своих сверстниц из чистых линий Рефлекшн Соверинг и Вис Бэк Айдиал по удою за 305 дней лактации, выходу молочного жира, содержанию белка и сухого вещества. Кроме того, у них отмечалось более низкое содержание соматических клеток, а также оптимальные (в пределах физиологической нормы) показатели мочевины и pH молока. Данные исследования указывают на эффективность межлинейного реципрокного скрещивания у коров голштинской породы, причем лучшие результаты получены при скрещивании быков линии Вис Бэк Айдиал с коровами линии Рефлекшн Соверинг.

Ключевые слова: голштинская порода КРС, коровы голштинской породы, продуктивность коров голштинской породы, межлинейное скрещивание скота, селекция молочного скота.

Цитирование. Самородова А. А., Николаев С. И., Баймишев Х. Б., Баймишев М. Х., Воронцова Е. С., Чехранова С. В., Гусева В. А. Генотипические факторы повышения молочной продуктивности коров голштинской породы. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 496-501. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-54.

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. Основным фактором увеличения молочной продуктивности у коров является улучшение условий для реализации генетического потенциала и совершенствование методов селекционно-племенной работы [1, 2]. Используемые в производстве молока в промышленных комплексах технологии предполагают выполнение организационно-технических задач по реализации максимального проявления наследственно обусловленной продуктивности коров [3, 4]. В молочном скотоводстве при применении крупномасштабной селекции важным приёмом является эффективность использования линий [5, 6, 7]. Ряд авторов указывает на необходимость разработки способов результативного использования межлинейных кроссов как эффективного приёма для проявления межлинейного гетерозиса [1, 8, 9, 10]. Таким образом, поиск методов повышения генетического потенциала разводимых линий голштинской породы за счёт использования межлинейного реципрокного скрещивания является актуальным.

Цель исследования – повышение уровня молочной продуктивности у коров голштинской породы за счет использования межлинейного реципрокного скрещивания. Для выполнения поставленной цели решались следующие задачи:

- изучить уровень молочной продуктивности первотёлок исследуемых групп;
- определить физико-химический состав и качественные показатели молока исследуемых групп первотёлок.

Объектом исследования выступали первотёлки голштинской породы разных генотипов.

Материалы и методы. С целью проведения экспериментальных исследований было скомплектовано четыре группы первотёлок по 12 голов: первая группа – линии Рефлекшн Соверинг; вторая группа – линии Вис Бэк Айдиал; третья группа получена от межлинейного реципрокного скрещивания быков производителей линии Рефлекшн Соверинг с коровами линии Вис Бэк Айдиал; четвёртая группа – от скрещивания быков производителей линии Вис Бэк Айдиал с коровами линии Рефлекшн Соверинг. Отбор в группы проводился с применением метода пар аналогов.

Молочную продуктивность определяли от 5 первотёлок из каждой группы путём контрольных доек через каждые 10 дней за 305 дней лактации. Качественные свойства секрета молочной железы определяли по концентрации жира, белка. Пробы молока отбирались по методике, установленной ГОСТ 3622-68 «Молоко, молочные продукты», концентрацию белка в молоке устанавливали способом формольного титрования, при определении кон-

центрации жира в молоке использовали методику по Герберу (ГОСТ 5867-69 «Молоко и молочные продукты. Методы определения содержания жира»). Показатель коэффициента молочности вычисляли с применением формулы:

$$KM = Y / Ж \cdot 100,$$

где КМ – показатель коэффициента молочности; Y – продуктивность коровы за лактацию, кг; Ж – живая масса тела коровы, кг.

Определение качественных показателей молока проводили через 45 дней лактации первотёлок с использованием сертифицированного анализатора «Lactostar» в Самарской областной ветеринарной лаборатории.

Анализ цифровых результатов эксперимента вычисляли с применением способа вариационной биометрической статистики с использованием метода Стьюдента для определения достоверности полученных данных. При расчёте критериальной достоверности использовали программный комплекс Microsoft Excel. Для подтверждения достоверности данных, использовались критерии: $P < 0,05^*$; $P < 0,01^{**}$; $P < 0,001^{***}$.

Результаты исследования. Известно, что молочная продуктивность коров и качество молока являются главными критериями эффективности молочного производства [4, 10]. С помощью сравнительного анализа показателей молочной продуктивности и физико-химических свойств молока установлена их зависимость от генотипа первотелок (таблица 1).

Таблица 1 – Молочная продуктивность и физико-химические свойства молока
первотёлок исследуемых групп
Table 1 – Milk production and physical and chemical properties of milk from first-calf heifers
in the study groups

Наименование / Name	Группа животных / Group Number			
	Первая / 1st	Вторая / 2nd	Третья / 3rd	Четвёртая / 4th
Живая масса первотелок, кг / Live weight of first-calf heifers, kg	582,60 ± 9,40	579,25 ± 10,20	586,64 ± 9,12	593,72 ± 8,77
Удой за 305 дней лактации, кг / Yield per 305 days of lactation, kg	9 192,16 ± 31,20	9 176,25 ± 35,17	9 288,24 ± 28,30*	9 322,35 ± 27,12**
Содержание жира в молоке, % / Milk fat content, %	3,73 ± 0,02	3,72 ± 0,03	3,72 ± 0,02	3,74 ± 0,02
Выход молочного жира, кг / Milk fat yield, kg	342,86 ± 1,35	338,00 ± 16,77	345,52 ± 1,21	352,40 ± 9,52
Содержание белка в молоке, % / Milk protein content, %	3,26 ± 0,02	3,24 ± 0,03	3,30 ± 0,02	3,31 ± 0,03
Выход молочного белка, кг / Milk protein yield, kg	299,66 ± 0,87	291,15 ± 1,12	305,19 ± 1,22*	306,56 ± 1,18**
СВ, %	13,02 ± 0,06	12,87 ± 0,07	13,24 ± 0,05*	13,22 ± 0,06*
Массовая доля СОМО, % / Mass fraction of SOMO, %	9,21 ± 0,09	9,15 ± 0,07	9,52 ± 0,06*	9,75 ± 0,05**
Мочевина, мг/% / Urea, mg/%	29,54 ± 0,72	28,32 ± 0,48	30,16 ± 0,57	31,62 ± 0,62*
рН	6,47 ± 0,02	6,46 ± 0,04	6,52 ± 0,03	6,49 ± 0,02
Бета-оксимасляная кислота, ммоль/л / Beta-hydroxybutyric acid, mmol/L	0,05 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,05 ± 0,01
Соматические клетки, тыс./см ³ / Somatic cells, thousand/cm ³	218,62 ± 38,27	222,56 ± 43,16	212,47 ± 29,82	210,18 ± 30,51
Количество молока в базисной жирности 3,4 %, кг (за 305 дней лактации) / The amount of milk in the base fat content is 3.4 %, kg (for 305 days of lactation)	10 084,34 ± 72,13	9 941,18 ± 63,20	10 162,35 ± 55,72	10 364,70 ± 71,43*
Коэффициент молочности, кг / The coefficient of milk content, kg	1 577,78 ± 65,27	1 568,62 ± 69,82	1 583,29 ± 82,05	1 587,00 ± 72,18

Примечание: $P < 0,05^*$; $P < 0,01^{**}$; $P < 0,001^{***}$.

Note: $P < 0.05^*$; $P < 0.01^{**}$; $P < 0.001^{***}$.

По результатам экспериментальных исследований выявлено, что уровень молочной продуктивности у первотёлок 4-й группы, полученных от скрещивания быков-производителей линии Вис Бэк Айдиал с коровами линии Рефлекшн Соверинг, составляет

9 322,35 кг молока, что на 34,11 кг больше, чем у сверстниц из 3-й группы (генотип: отец – Рефлекшн Соверинг, мать – Вис Бэк Айдиал), на 146,1 кг больше, чем у первотёлок 2-й группы (линия Вис Бэк Айдиал), и на 130,19 кг больше, чем у первотёлок 1-й группы (линия Рефлекшн Соверинг).

По жирности молока первотёлки второй и третьей групп уступали первотёлкам первой группы на 0,01 %, а также животным четвёртой группы – на 0,02 %. Выход молочного жира во 2-й группе первотёлок составил 338,00 кг, что на 4,86 кг меньше, чем в 1-й группе, на 7,52 кг меньше, чем в 3-й группе, и на 14,40 кг меньше, чем в 4-й группе. По количеству молока в пересчёте на базисную жирность продуктивность первотёлок 1-й группы составила 10 084,34 кг, что превосходит показатель 2-й группы на 143,16 кг, но уступает показателям 3-й и 4-й групп на 78,01 кг и 280,36 кг соответственно. Содержание белка в молоке у первотёлок 3-й группы составило 3,30 %, что выше, чем во 2-й группе (на 0,06 %) и в 1-й группе (на 0,04 %), но ниже, чем в 4-й группе (на 0,01 %). По показателю живой массы первотёлки, полученные от кросса линий Вис Бэк Айдиал ♂ × Рефлекшн Соверинг ♀, превосходили первотёлок, полученных от кросса линий Рефлекшн Соверинг ♂ × Вис Бэк Айдиал ♀ на 7,08 кг, животных 2-й группы – на 14,47 кг, а 1-й группы – на 11,12 кг. Коэффициент молочности у чистопородных первотёлок линии Рефлекшн Соверинг составил 1 577,78 кг, что на 9,16 кг выше, чем у чистопородных сверстниц линии Вис Бэк Айдиал. Однако первотёлки, полученные от кросса Рефлекшн Соверинг ♂ × Вис Бэк Айдиал ♀, превзошли их по этому показателю на 5,51 кг, а животные от кросса Вис Бэк Айдиал ♂ × Рефлекшн Соверинг ♀ – на 9,22 кг.

Анализ физико-химических свойств молока первотелок разных генотипов имел свои особенности. Известно, что содержание сухого вещества и СОМО указывает на питательную ценность молока и его пригодность как сырья для молочных продуктов [4, 8]. Содержание сухого вещества в молоке первотелок линии Рефлекшн Соверинг составило 13,02 %, что на 0,15 % выше, чем у линии Вис Бэк Айдиал. У первотелок, полученных от межлинейного реципрокного скрещивания быков линии Рефлекшн Соверинг с коровами линии Вис Бэк Айдиал, этот показатель достиг 13,24 %, превысив значения линий Рефлекшн Соверинг и Вис Бэк Айдиал на 0,22 % и на 0,37 %, кросса Вис Бэк Айдиал ♂ × Рефлекшн Соверинг ♀ – на 0,02 %. Массовая доля СОМО у первотелок 4-й группы составила 9,75 %, что на 0,23 %, 0,60 % и 0,54 % выше по сравнению с группами 3-й, 2-й и 1-й соответственно.

Содержание мочевины в молоке у первотелок 3-й группы составило 30,16 мг/%, что на 1,84 мг/% выше показателя 2-й группы, на 0,62 мг/% выше показателя 1-й группы и на 1,46 мг/% ниже показателя 4-й группы.

Значения pH молока у первотелок, полученных от кросса, в котором отец линии Рефлекшн Соверинг, а мать линии Вис Бэк Айдиал и от кросса, в котором отец линии Вис Бэк Айдиал, а мать линии Рефлекшн Соверинг, составили 6,52 и 6,49 соответственно. Они превышают показатели первотелок линии Вис Бэк Айдиал на 0,06 и 0,03, а показатели первотелок линии Рефлекшн Соверинг – на 0,05 и 0,02 соответственно. Концентрация бета-оксимасляной кислоты у первотёлок разных генотипов находилась на уровне 0,05 ммоль/л, а показатель числа соматических клеток в молоке у первотелок варьировал в зависимости от их генетического происхождения. У чистопородных первотёлок по линейной Рефлекшн Соверинг показатель числа соматических клеток составил 218,62 тыс./см³. Это на 3,94 тыс./см³ ниже, чем у чистопородных первотёлок линии Вис Бэк Айдиал. В то же время он превышает показатель первотелок, полученных от кросса Рефлекшн Соверинг ♂ × Вис Бэк Айдиал ♀, на 6,15 тыс./см³, а от кросса Вис Бэк Айдиал ♂ × Рефлекшн Соверинг ♀ – на 8,44 тыс./см³.

Заключение. На основании проведенных исследований установлено, что первотелки, полученные от реципрокных скрещиваний (♂ Рефлекшн Соверинг × ♀ Вис Бэк Айдиал) и (♂ Вис Бэк Айдиал × ♀ Рефлекшн Соверинг), превосходили своих сверстниц из чистых линий Рефлекшн Соверинг и Вис Бэк Айдиал по удою за 305 дней лактации, выходу молочного жира, содержанию белка и сухого вещества. Кроме того, у них отмечалось более низкое содержание соматических клеток, а также оптимальные (в пределах физиологической нормы) показатели мочевины и pH молока. Данные исследования указывают на эффективность межлинейного реципрокного скрещивания у коров голштинской породы, причем лучшие результаты получены при скрещивании быков линии Вис Бэк Айдиал с коровами линии Рефлекшн Соверинг.

Conclusion. Based on the conducted studies, it was found that first-calf heifers obtained from reciprocal crosses (♂ Reflection Sovering × ♀ Vis Back Ideal) and (♂ Vis Back Ideal × ♀ Reflection Sovering) exceeded their peers from pure lines of Reflection Sovering and Vis Back Ideal in terms of

milk yield for 305 days of lactation, milk fat yield, protein content, and dry matter content. In addition, they had a lower somatic cell count, as well as optimal (within the physiological norm) levels of urea and pH in their milk. These findings indicate the effectiveness of inbreeding reciprocal crossbreeding in Holstein cows, with the best results achieved by crossing Viss Back Ideal bulls with Reflection Superior cows.

Библиографический список

1. Донник И. М., Мымрин С. В. Роль генетических факторов в повышении продуктивности крупного рогатого скота. Главный зоотехник. 2016. № 8. С. 20-32.
2. Молчанова Н. В., Сельцев В. И. Влияние методов разведения на продуктивное долголетие и пожизненную продуктивность коров. Зоотехния. 2016. № 9. С. 2-4.
3. Кахикало В. Г., Назарченко О. В. Прогноз эффекта селекции на повышение количества и качества молочной продуктивности в Зауралье. Вестник Курганской ГСХА. 2018. № 1 (25). С. 35-37.
4. Волюнкина М. Г. Потенциал молочной голштинского скота разных линий в продуктивности Тюменской области. Главный зоотехник. 2016. № 2. С. 33-41.
5. Каналина Н. М., Сушенцова М. А., Баранов В. А. Оценка быков-производителей разных линий по качеству потомства. Учёные записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины. 2020. Т. 242. С. 77-79.
6. Корнева А. А., Рахматов Л. А., Каналина Н. М. Сравнительная характеристика показателей молочной продуктивности коров, полученных от разных быков-производителей. Перспективы развития отрасли и предприятий АПК: отечественный и международный опыт: сборник материалов Международной научно-практической конференции. Омск: Омский ГАУ, 2020. С. 118-120.
7. Журавлёва М. Е. и др. Резервы повышения эффективности молочного животноводства. Молочное и мясное скотоводство. 2015. № 4. С. 25-26.
8. Латышева О. В., Позднякова В. Ф. Особенности производства молока коров голштинской породы в условиях современных комплексов. Зоотехния. 2015. № 7. С. 17-18.
9. Баймишев М. Х., Нечаев А. В., Пристяжнюк О. Н. Молочная продуктивность, воспроизводительная способность коров с разным периодом продолжительности сухостоя. Фундаментальная и прикладная наука: состояние и тенденции развития: материалы XVII Международной научно-практической конференции. Петрозаводск. 2022. № 2-2 (16). С. 34-42.
10. Баймишев М. Х., Баймишев Р. Х. Молочная продуктивность и воспроизводительная способность первотёлоч голштинской породы в зависимости от живой массы при первом осеменении. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 3. С. 70-75.
11. Баймишев Х. Б., Баймишев М. Х., Баймишев Р. Х. Молочная продуктивность и воспроизводительная способность первотёлок голштинской породы в зависимости от живой массы при первом осеменении. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 3. С. 70-75.

References

1. Donnik I. M., Mymrin S. V. The Role of Genetic Factors in Increasing the Productivity of Cattle. Glavny Zootechnik. 2016. No 8. Pp. 20-32.
2. Molchanova N. V., Seltsev V. I. The Influence of Breeding Methods on the Productive Longevity and Lifetime Productivity of Cows. Zootechnics. 2016. No 9. Pp. 2-4.
3. Kakhikalo V. G., Nazarchenko O. V. Forecast of the Effect of Selection on Increasing the Quantity and Quality of Dairy Productivity in the Trans-Urals. Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy. 2018. No 1 (25). Pp. 35-37.
4. Volynkina M. G. The Potential of Dairy Holstein Cattle of Different Lines in the Tyumen Region. Chief Zootechnician. 2016. No 2. Pp. 33-41.
5. Kanalina N. M., Sushentsova M. A., Baranov V. A. Evaluation of bulls of different lines by the quality of offspring. Scientific Notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine. 2020. V. 242. Pp. 77-79.
6. Korneva A. A., Rakhmatov L. A., Kanalina N. M. Comparative Characteristics of Dairy Productivity Indicators of Cows Produced by Different Sires. Prospects for the Development of the Industry and Agricultural Enterprises: Domestic and International Experience: Collection of Materials of the International Scientific and Practical Conference. Omsk: Omsk State Agrarian University, 2020. Pp. 118-120.
7. Zhuravleva M. E. et al. Reserves for Increasing the Efficiency of Dairy Farming. Dairy and beef cattle breeding. 2015. No 4. Pp. 25-26.
8. Latysheva O. V., Pozdnyakova V. F. Features of milk production by Holstein cows in modern complexes. Zootechnics. 2015. No 7. Pp. 17-18.
9. Baimishev M. Kh., Nechaev A. V., Pristiyazhnyuk O. N. Dairy Productivity and Reproductive Capacity of Cows with Different Dry Periods. Fundamental and Applied Science: State and Development Trends: Proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference. Petrozavodsk. 2022. No 2-2 (16). Pp. 34-42.
10. Baimishev M. Kh., Baimishev R. Kh. Milk Productivity and Reproductive Capacity of Holstein First-Calf Heifers Depending on Their Live Weight at First Insemination. Proceedings of the Samara State Agricultural Academy. 2024. No 3. Pp. 70-75.
11. Baimishev Kh. B., Baimishev M. Kh., Baimishev R. Kh. Dairy Productivity and Reproductive Capacity of Holstein First-Calf Heifers Depending on Live Weight at First Insemination. Proceedings of the Samara State Agricultural Academy. 2024. No 3. Pp. 70-75.

Информация об авторах

Самородова Ангелика Александровна, соискатель, ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 446442, Самарская область, г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2), e-mail: Ansamorodova@mail.ru

Николаев Сергей Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

Баймишев Хамидулла Балтуханович, доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 446442, Самарская область, г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2), e-mail: BaimishevHB_@mail.ru

Баймишев Мурат Хамидулович, доктор ветеринарных наук, профессор, ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 446442, Самарская область, г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2), e-mail: baimishev_m@mail.ru

Воронцова Елена Сергеевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: esvoronts@mail.ru

Чехранова Светлана Викторовна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: schekhranova@mail.ru

Гусева Варвара Александровна, студент, ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 446442, Самарская область, г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2), e-mail: maminpitry@gmail.ru

Authors' Information

Samorodova Angelika Aleksandrovna, Applicant, Samara State Agrarian University (Russian Federation, 446442, Samara region, Kinel, Ust-Kinelsky settlement, Uchebnaya str., 2), e-mail: Ansamorodova@mail.ru

Nikolaev Sergey Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

Baymishev Hamidulla Baltukhanovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Samara State Agrarian University (Russian Federation, 446442, Samara region, Kinel, Ust-Kinelsky settlement, Uchebnaya str., 2), e-mail: BaimishevHB_@mail.ru

Baymishev Murat Hamidullovi, Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Samara State Agrarian University (Russian Federation, 446442, Samara region, Kinel, Ust-Kinelsky settlement, Uchebnaya str., 2), e-mail: baimishev_m@mail.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

Chekhranova Svetlana Viktorovna, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: schekhranova@mail.ru

Guseva Varvara Aleksandrovna, student, Samara State Agrarian University (Russian Federation, 446442, Samara region, Kinel, Ust-Kinelsky settlement, Uchebnaya str., 2), e-mail: maminpitry@gmail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-55

FEATURES OF THE FORMATION OF BODY CHARACTERISTICS OF REPAIR YOUNG ANIMALS AND CHICKENS OF THE PARENT HERD OF DIFFERENT GENETIC GROUPS

¹Kornilova L. V., ²Vodyannikova V. V., ³Shkarupa E. I., ¹Baranova I. A., ¹Starostina O. S.,
¹Batanov S. D.

¹*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Udmurt State Agrarian University" Izhevsk, Russian Federation*

²*Volgograd State Agricultural University, Volgograd, Russian Federation*

³*Uvinsky Plempticesovkhoz LLC Uvinsky district, Udmurt Republic, Russian Federation*

Corresponding author e-mail: stepanbatanov@mail.ru

Received 21.02.2026

Submitted 26.03.2026

The research was carried out within the framework of project No. 23-26-00184 "New approaches in the development and substantiation of methods and algorithms for improving the efficiency of poultry reproduction" with the financial support of the Russian Science Foundation.

Abstract

Introduction. The exterior is an external reflection of the constitutional strength and functional state of the body's internal systems. The assessment of body weight makes it possible to identify a correlation between measurements (keel length, pelvic width, chest depth) and egg productivity, which is important for early prediction of productive longevity of poultry. The growing period of the young ones determines the foundation of the future egg mass and the safety of the adult herd. Timely monitoring of the dynamics of external indicators in key technological phases allows you to adjust feeding and maintenance regimes, ensuring the harmonious development of the backbone and reproductive organs. **The object of research.** The young and the parent herd of Lohmann Brown Classic, Brown Nick, Super Nick, and Coral cross-country chickens. **Materials and methods.** The volume of the sample population of poultry was: young animals – 600 heads, chickens of the parent flock – 400 heads. Zootechnical, laboratory, analytical, and statistical methods were used in the work. **Results and conclusions.** The analysis of exterior indicators indicates the presence of a pronounced intercross differentiation according to the main body measurements. The brown cross bird ("Lohmann Brown Classic" and "Brown Nickname") is significantly superior to the white cross ("Coral" and "Super Nickname") in chest depth (by 12.0-20.1 % at the age of 14 weeks and by 10.2-15.7 % at the age of 42 weeks) with minor differences in its width, as well as the length of the keel (by 4.5-8.5 % at the age of 14 weeks and by 4.3-6.4 % at the age of 42 weeks). At the same time, white crosses have a longer metatarsal and a noticeably wider pelvis, especially compared to the Lohmann Brown Classic, which is the lowest in the group. Thus, a special feature of the exterior of the Lohmann Brown Classic cross is the combination of

the massiveness of the body with a relatively narrow pelvis and the longest keel. In turn, the white cross bird ("Coral" and "Super Nick") is characterized by a more pronounced development of limb levers, which is confirmed by high metatarsal length against the background of smaller body dimensions. The established patterns of exterior formation are stable and can be traced both in the repair young at 14 weeks of age and in laying hens during the period of intensive oviposition.

Keywords: bird crosses, exterior, body weight, body parameters.

Citation. Kornilova L. V., Vodyannikova V. V., Shkarupa E. I., Baranova I. A., Starostina O. S., Batanov S. D. Features of the formation of body characteristics of repair young animals and chickens of the parent herd of different genetic groups. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 501-507 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-55.

The author's 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 636.5.061+636.5.034

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРИЗНАКОВ ТЕЛОСЛОЖЕНИЯ РЕМОНТНОГО МОЛОДНЯКА И КУР РОДИТЕЛЬСКОГО СТАДА РАЗНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ГРУПП

¹Корнилова Л. В., кандидат сельскохозяйственных наук

²Водяникова В. В., доктор биологических наук, доцент

³Шкарупа Е. И., директор

¹Баранова И. А., кандидат физико-математических наук, доцент

¹Старостина О. С., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

¹Батанов С. Д., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет»

г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ,

г. Волгоград, Российская Федерация

³ООО «Племптицесовхоз «Увинский»

пос. Ува, Увинский район, Удмуртская Республика, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках проекта №23-26-00184 «Новые подходы в разработке и обоснование методов и алгоритмов повышения уровня эффективности воспроизводства сельскохозяйственной птицы» при финансовой поддержке Российского научного фонда.

Актуальность. Экстерьер является внешним отражением конституциональной крепости и функционального состояния внутренних систем организма. Оценка статей тела позволяет выявить корреляционную зависимость между промерами (длина кия, ширина таза, глубина груди) и величиной яичной продуктивности, что значимо для раннего прогнозирования продуктивного долголетия птицы. Период выращивания молодок определяет фундамент будущей яичной массы и сохранности взрослого стада. Своевременный контроль динамики экстерьерных показателей в ключевые технологические фазы позволяет корректировать режимы кормления и содержания, обеспечивая гармоничное развитие костяка и репродуктивных органов. **Объект исследований.** Молодняк и родительское стадо кур кроссов «Ломанн Браун Классик», «Браун Ник», «Супер Ник», «Корал». **Материал и методы.** Объем выборочной совокупности птицы составил: молодняка – 600 голов, кур родительского стада – 400 голов. В работе использовались зоотехнические, лабораторные, аналитические, статистические методы. **Результаты и выводы.** Анализ экстерьерных показателей свидетельствует о наличии выраженной межкроссовой дифференциации по основным промерам телосложения. Птица коричневых кроссов («Ломанн Браун Классик» и «Браун Ник») значительно превосходит белые кроссы («Корал» и «Супер Ник») по глубине груди (на 12,0-20,1 % в возрасте 14 недель и на 10,2-15,7 % в возрасте 42 недель) при незначительных различиях в её ширине, а также по длине кия (на 4,5-8,5 % в возрасте 14 недель и на 4,3-6,4 % в возрасте 42 недель). В то же время белые кроссы отличаются более длинной плюсной и заметно большей шириной таза, особенно в сравнении с «Ломанн Браун Классик», данный показатель самый низкий в группе. Таким образом, особенностью экстерьера кросса «Ломанн Браун Классик» является сочетание массивности корпуса с относительно узким тазом и наиболее длинным килем. В свою очередь, птица белых кроссов («Корал» и «Супер Ник») отличается более выраженным развитием рычагов конечностей, что подтверждается высокими показателями длины плюсны на фоне меньших габаритов туловища. Установленные закономерности формирования экстерьера являются стабильными и прослеживаются как у ремонтного молодняка в 14-недельном возрасте, так и у кур-несушек в период интенсивной яйцекладки.

Ключевые слова: кроссы птиц, экстерьер, живая масса, параметры телосложения.

Цитирование. Корнилова Л. В., Водяникова В. В., Шкарупа Е. И., Баранова И. А., Старостина О. С., Батанов С. Д. Особенности формирования признаков телосложения ремонтного молодняка и кур родительского стада разных генетических групп. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 501-507. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-55.

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. Многие исследования, проведенные учёными и специалистами на птицефабриках, доказали: ключевое звено в успешном развитии птицеводства (особенно при производстве столовых яиц) – это правильно организованное воспроизводство поголовья и выращивание цыплят в условиях, которые соответствуют их биологическим потребностям в кормлении и уходе [5, 9, 11]. Если использовать генетически приспособленные кроссы, поддерживать хороший микроклимат и давать сбалансированные корма, то заметно возрастает шанс вырастить физически здоровых, гармонично сложенных цыплят с нужной живой массой и среднесуточными привесами, именно такими, какие требуют зарубежные селекционеры для своих кроссов [12, 13]. Следовательно, если строго соблюдать все рекомендации разработчиков по выращиванию молодняка, можно получить крепкое, хорошо развитое стадо, которое полностью раскроет заложенную генетикой продуктивность и качество яиц [2, 3, 6, 7].

Чтобы сформировать стадо из высокопродуктивных несушек, важно следить за достижением птицей оптимального веса в каждом возрасте [8, 10]. Согласно нормативам по живой массе для разных кроссов, высокая скорость роста и развития молодняка возможна только при условии, что программа кормления разработана с учётом биологии птицы, а также обеспечен постоянный доступ к свежей воде и комфортным условиям содержания [1, 4].

Таким образом, целью исследований являлся анализ выращивания ремонтного молодняка, оценка роста, развития и экстерьерных особенностей ремонтного молодняка и кур-несушек разной кроссовой принадлежности.

Материалы и методы. Практическую часть исследования проводили на базе двух площадок: в ООО «Племптицесовхоз «Увинский» (Увинский район Удмуртской Республики) и в учебно-научной биотехнологической лаборатории Удмуртского ГАУ.

В производственных условиях объектами изучения стали молодняк и взрослые куры следующих кроссов: «Ломанн Браун Классик», «Браун Ник», «Супер Ник» и «Корал». Птицу содержали в типовых корпусах с трёхъярусными клеточными батареями, где в каждой клетке находилось по 7-8 голов. Микроклимат в помещениях регулировали в соответствии с рекомендациями для каждого конкретного кросса.

Живую массу ремонтного молодняка определяли путём индивидуального взвешивания до утреннего кормления, используя электронные весы с точностью 0,001 кг.

Измерение экстерьерных параметров (промеров) птицы выполняли по фотографиям. Для этого в кадр помещали перспектометр с заранее известными размерами – в роли него использовали обычную мерную линейку. Съёмку вели цифровым фотоаппаратом с высоким разрешением матрицы, закреплённым на штативе, при этом применяли сетку фокусировочного экрана. Это позволяло точно выравнивать изображение относительно экрана камеры. В итоге получали два ракурса: сбоку и сверху. При съёмке сбоку птицу располагали параллельно плоскости экрана фотоаппарата, а при съёмке сверху – перпендикулярно. Полученные изображения были обработаны в графическом редакторе следующим образом. На изображении были определены границы перспектометра и исследуемых параметров, затем между ними проведены линии.

Полученные результаты промеров были обработаны статистическим методом в программном продукте Matlab с целью оценки достоверности результатов.

Результаты и обсуждение. В ходе исследования оценивались показатели живой массы и экстерьера у ремонтного молодняка (в возрасте 14 недель) и взрослых несушек (в возрасте 42 недель). Объем выборочной совокупности птицы составил: молодняка – 600 голов, кур родительского стада – 400 голов (таблица 1). При сравнении живой массы установлено, что несушки, относящиеся к кроссам с коричневым типом оперения (включая «Ломанн Браун Классик»), статистически значимо ($p \leq 0,01$) обгоняют по этому показателю своих сверстниц из белых кроссов («Корал» и «Супер Ник») на 7,4-8,2 %. В то же время их преимущество над молодняком кросса «Браун Ник» составляет 6,4-7,2 %. Разница по величине живой массы между молодками внутри групп коричневых и белых кроссов была незначительна. К возрасту кур родительского стада 42 недели выявлена аналогичная закономерность по величине живой массы, так куры коричневых кроссов достоверно ($p \leq 0,01$, $p \leq 0,001$) превосходили кур белых кроссов на 4,0-14,6 %.

Таблица 1 – Значения живой массы и размеры статей телосложения у ремонтных молодок и кур-несушек
Table 1 – Live weight values and measurements of body articles in repair young and laying hens

Показатель / Indicator	1				2				3				4			
	«Ломанн Браун-Классик» / "Lohmann Brown Classic"				«Браун Ник» / "Brown Nick"				«Корал» / "Coral"				«Супер Ник» / "Super Nick"			
	$\bar{x} \pm m$	Cv, %	Lim (min-max)	Lim	$\bar{x} \pm m$	Cv, %	Lim (min-max)	Lim	$\bar{x} \pm m$	Cv, %	Lim (min-max)	Lim	$\bar{x} \pm m$	Cv, %	Lim (min-max)	Lim
Возраст птицы 14 недель (ремонтные молодки, n=150) / Age of the bird 14 weeks (repair days, n=150)																
Живая масса, г / Live weight, g	1205,2 ± 17,30	7,1	1117-1309		1194,1 ± 16,03	5,3	1101-1355		1121,8 ± 15,21**	5,4	1012-1215		1113,7 ± 14,22**	5,1	1008-1209	
Прямая длина туловища, см / Straight body length, cm	15,69 ± 0,21	7,8	14,8-17,2		15,85 ± 0,18	5,7	14,0-17,3		15,57 ± 0,13	4,5	13,8-16,9		15,38 ± 0,17	5,2	13,5-16,4	
Глубина груди, см / Chest depth, cm	8,68 ± 0,14	9,1	7,6-9,9		8,33 ± 0,13	7,3	6,7-9,2		7,44 ± 0,10***	8,4	6,3-8,6		7,23 ± 0,11***	5,3	6,4-8,3	
Ширина груди, см / Chest width, cm	5,17 ± 0,14	9,3	4,7-6,4		5,21 ± 0,17	9,7	4,3-6,5		5,23 ± 0,09	6,3	4,4-6,5		5,24 ± 0,13	7,8	4,3-6,4	
Длина кля, см / Keel length, cm	8,82 ± 0,17	8,2	7,5-9,9		8,56 ± 0,15	6,5	7,7-9,8		8,19 ± 0,11*	4,6	7,3-9,9		8,13 ± 0,14*	7,1	6,9-9,2	
Ширина таза, % / Pelvic width, %	6,75 ± 0,27	11,3	5,9-7,8		7,21 ± 0,18	10,6	6,2-8,4		7,61 ± 0,21*	11,7	6,7-8,3		7,65 ± 0,23*	13,2	6,1-8,4	
Длина плюсны, см / Metatarsal length, cm	6,43 ± 0,11	6,1	5,8-7,6		6,54 ± 0,09	5,7	5,4-7,1		6,84 ± 0,06**	5,2	5,7-7,9		6,72 ± 0,08*	6,4	5,8-7,5	
Индекс туловища / Trunk index	1,015 ± 0,003	8,1	0,924-1,106		1,018 ± 0,002	6,7	0,931-1,104		1,023 ± 0,001*	5,5	0,921-1,108		1,028 ± 0,003*	6,3	0,925-1,121	
Индекс типа телосложения / Body type index	0,753 ± 0,017	7,5	0,685-0,828		0,765 ± 0,021	9,2	0,703-0,826		0,834 ± 0,016**	7,7	0,771-0,917		0,846 ± 0,019**	8,3	0,774-0,922	
Возраст птицы 42 недели (куры-несушки, n=100) / Age of the bird 42 weeks (laying hens, n=100)																
Живая масса, г / Live weight, g	2016,9 ± 19,15	9,7	1921,3-2105,8		1998,7 ± 15,42	7,5	1888,2-2086,7		1921,4 ± 14,25**	6,2	1836,9-2173,8		1759,8 ± 13,23***	4,9	1663,4-1864,8	
Прямая длина туловища, см / Straight body length, cm	21,67 ± 0,31	5,6	19,80-23,2		21,86 ± 0,28	4,7	20,0-23,3		21,71 ± 0,19	4,5	20,8-22,9		21,47 ± 0,21	4,2	20,5-22,4	
Глубина груди, см / Chest depth, cm	13,35 ± 0,20	8,7	11,2-14,8		12,91 ± 0,15	7,3	11,7-14,2		11,72 ± 0,19***	8,4	10,3-12,6		11,54 ± 0,13***	5,3	10,4-12,3	
Ширина груди, см / Chest width, cm	8,46 ± 0,11	9,3	7,7-9,4		8,55 ± 0,14	9,7	7,3-9,5		8,51 ± 0,10	6,3	7,4-9,7		8,47 ± 0,13	7,8	7,3-8,6	
Длина кля, см / Keel length, cm	10,76 ± 0,15	7,3	9,5-11,7		10,57 ± 0,13	6,5	9,2-11,7		10,11 ± 0,09**	4,6	8,7-10,9		10,13 ± 0,14*	7,1	9,8-11,2	
Ширина таза, % / Pelvic width, %	8,33 ± 0,17	11,3	7,1-9,2		9,01 ± 0,12	10,6	8,2-9,9		9,15 ± 0,18**	11,7	8,2-10,3		9,22 ± 0,21**	13,2	8,1-10,4	
Длина плюсны, см / Metatarsal length, cm	7,75 ± 0,11	6,1	6,8-8,7		7,97 ± 0,07	5,7	6,4-9,1		8,24 ± 0,06**	5,2	7,2-9,3		8,27 ± 0,13**	6,4	7,3-9,5	
Индекс туловища / Trunk index	1,014 ± 0,004	8,5	0,932-1,111		1,023 ± 0,003	6,9	0,943-1,131		1,037 ± 0,002***	5,7	0,931-1,118		1,041 ± 0,004***	8,5	0,951-1,142	
Индекс типа телосложения / Body type index	0,775 ± 0,014	6,3	0,658-0,862		0,781 ± 0,019	8,7	0,695-0,892		0,851 ± 0,018*	7,9	0,757-0,961		0,849 ± 0,021*	8,9	0,757-0,942	

Примечание: разность по сравнению с группой 1 достоверна при $p \leq 0,05$; $p \leq 0,01$ **; $p \leq 0,001$ *** / Note: the difference compared to group 1 is significant at $p < 0,05$; $p < 0,01$ **; $p < 0,001$ ***

Анализ формирования экстерьерных особенностей птицы (молодок и кур) показал, что по глубине груди отмечено достоверное ($p \leq 0,001$) превосходство молодняка коричневых кроссов над белыми в возрасте 14 недель на 12,0-20,1 %, а в возрасте 42 недели при $p \leq 0,001$ – на 10,2-15,7 %, соответственно. Существенных различий в группах между коричневыми кроссами и в группах между белыми кроссами по глубине груди не выявлено.

Сравнение показало, что в 14 и 42 недели ремонтные молодки и куры кросса «Ломанн Браун Классик» имели статистически значимо ($p \leq 0,05$ и $p \leq 0,01$) более длинный киль, чем их ровесницы из кросса «Корал» – на 7,7 % и 6,4 % соответственно, а также по сравнению с кроссом «Супер Ник» – на 8,5 % и 6,2 %.

В 14-недельном возрасте у птицы кросса «Браун Ник» длина килля оказалась выше, чем у несушек белых кроссов, на 4,5 % и 5,3 %, а в 42 недели – на 4,5 % и 4,3 % соответственно.

Зафиксировано достоверно меньшее значение ширины таза у молодняка ($p \leq 0,05$) и взрослых кур ($p \leq 0,01$) кросса «Ломанн Браун Классик» по сравнению с кроссом «Корал» – на 11,3 % и 9,0 %, с кроссом «Супер Ник» – на 11,8 % и 9,7 %.

Длина плюсны у представителей коричневых кроссов (включая «Ломанн Браун Классик») в возрасте 14 недель была значимо ниже ($p \leq 0,05$; $p \leq 0,01$), чем у белых сверстниц: на 6,0 % (кросс «Корал») и на 4,3 % (кросс «Супер Ник»). В 42 недели ($p \leq 0,01$) разница составила 5,9 % и 6,3 % соответственно.

У ремонтного молодняка первых двух групп по сравнению с третьей и четвертой группами индекс туловища был достоверно ниже на 0,5-1,3 % ($p \leq 0,05$), а индекс телосложения – на 8,3-11,0 % ($p \leq 0,01$).

Куры белых кроссов («Корал» и «Супер Ник») достоверно превосходили ($p \leq 0,001$) несушек коричневых кроссов («Ломанн Браун Классик» и «Браун Ник») по индексу туловища (разница 1,4-2,7 %). По индексу типа телосложения преимущество белых кроссов ($p \leq 0,05$) составляло от 8,7 % до 9,8 %.

Заключение. Анализ экстерьерных показателей свидетельствует о наличии выраженной межкроссовой дифференциации по основным промерам телосложения. Птица коричневых кроссов характеризуется более развитой грудной клеткой, значительно превосходя белых сверстниц по ширине груди при незначительных различиях в её глубине. При этом внутри генетических групп со схожим типом оперения существенных различий по данным параметрам не наблюдается. Особенностью экстерьера кросса «Ломанн Браун Классик» является сочетание массивности корпуса с относительно узким тазом и наиболее длинным килем. В свою очередь, птица белых кроссов («Корал» и «Супер Ник») отличается более выраженным развитием рычагов конечностей, что подтверждается высокими показателями длины плюсны на фоне меньших габаритов туловища. Установленные закономерности формирования экстерьера являются стабильными и прослеживаются как у ремонтного молодняка в 14-недельном возрасте, так и у кур-несушек в период интенсивной яйцекладки.

Conclusion. The analysis of exterior indicators indicates the presence of a pronounced intercross differentiation according to the main body measurements. The brown cross bird is characterized by a more developed thorax, significantly surpassing its white peers in chest width with minor differences in its depth. At the same time, there are no significant differences in these parameters within genetic groups with a similar type of plumage. A special feature of the exterior of the Lohmann Brown Classic cross is the combination of the massiveness of the body with a relatively narrow pelvis and the longest keel. In turn, the white-cross bird (Coral and Super Nick) is characterized by a more pronounced development of limb levers, which is confirmed by high metatarsal length against the background of smaller body dimensions. The established patterns of exterior formation are stable and can be traced both in the repair young at 14 weeks of age and in laying hens during the period of intensive oviposition.

Библиографический список

1. Дементьева Н. В., Вахрамеев А. Б., Азовцева А. И., Митрофанова О. В. Анализ экстерьерных показателей, влияющих на формирование продуктивных признаков у кур генофондных пород. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 5(83). С. 340-347. DOI 10.32786/2071-9485-2025-05-38.
2. Батанов С. Д. и др. Влияние морфометрических параметров яиц на результаты инкубации и выращивание ремонтного молодняка. Птица и птицепродукты. 2024. № 6. С. 30-33.
3. Бурдашкина В. Возраст родительского стада и инкубационные качества яиц. Животноводство России. Спецвыпуск. 2012. С. 23-26.
4. Горелик О. В., Горелик Л. Ш., Харлап С. Ю. Динамика морфологических показателей качества яиц и их взаимосвязь в ходе репродуктивного периода. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2019. № 55. С. 91-96.

5. Джагаев А. Ю., Ветох А. Н., Ильина Э. Р. Сравнительный анализ морфометрических показателей яиц кур разных генотипов. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 3(59). С. 175-180.

6. Ларкина Т. А. и др. Сравнение экстерьерного профиля кур русской белой и царскосельской пород. Аграрная наука. 2024. № 12. С. 77-83.

7. Лысыч Е. Ю., Коломеев А. А., Лысыч М. Н. Современные бесконтактные методы измерения размеров и формы тела человека. DOI: 10.12737/16216 <https://www.zuechtungskunde.de/Beziehungen-zwischen-Exterieur-und-Leistungsmerkmalen-beim-Milchvieh,QUIEPTY2Mzk2NzMmTUIEPTY5MTQy.html>

8. Макарова А. В., Вахрамеев А. Б. Экстерьерные особенности цыплят популяции опытная ЦС в группах с разной живой массой. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1(61). С. 287-297. DOI 10.32786/2071-9485-2021-01-28.

9. Митрофанова О. В., Дементьева Н. В., Ларкина Т. А. Динамика экстерьерных показателей у кур при отборе по полиморфным вариантам в гене миостатина. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 2(54). С. 222-228. DOI 10.32786/2071-9485-2019-02-27.

10. Наумова В. В. Сравнительное изучение основного обмена, затрат корма и скорости роста молодня-ка кур разных кроссов. Вестник Ульяновской ГСХА. 2014. № 1(25). С. 136-140.

11. Batanov S. D., Starostina, O. S., Baranova, I. A. Non-contact methods of cattle conformation assessment using mobile measuring systems. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 315. 2019. 032006.

12. Kavtarashvili A., Novotorov E. Morphological and Chemical Composition of Chicken Eggs as Affected by the Oviposition Time. Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East: Agricultural Innovation Systems, Volume 2, Ussuriysk, 21-22 July 2021. Vol. 354. Ussuriysk. 2022. P. 848-855.

13. Romanyk H. M., Fedorovich V. V. Quality indicators of eggs of Lohmann Brown and Lohmann Sandy crossbreeds. Scientific and Technical Bulletin of State Scientific Research Control Institute of Veterinary Medical Products and Fodder Additives and Institute of Animal Biology. 2020. Vol.21. No 1. P. 162-167.

References

1. Dementieva N. V., Vakhrameev A. B., Azovtseva A. I., Mitrofanova O. V. Analysis of exterior indicators influencing the formation of productive traits in chickens of gene pool breeds. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and higher professional education. 2025. No. 5(83). Pp. 340-347. DOI 10.32786/2071-9485-2025-05-38.

2. Batanov S. D. et al. The influence of morphometric parameters of eggs on the results of incubation and rearing of repair young. Poultry and poultry products. 2024. No. 6. Pp. 30-33.

3. Burdashkina V. Age of the parent flock and incubation qualities of eggs. Animal husbandry of Russia. Special issue. 2012. pp. 23-26.

4. Gorelik O. V., Gorelik L. S., Kharlap S. Y. Dynamics of morphological indicators of egg quality and their interrelation during the reproductive period. Proceedings of the St. Petersburg State Agrarian University. 2019. No. 55. Pp. 91-96.

5. Dzhagaev A. Yu., Vetokh A. N., Ilina E. R. Comparative analysis of morphometric parameters of eggs of chickens of different genotypes. Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2022. No. 3(59). Pp. 175-180.

6. Larkina T. A. et al. Comparison of the exterior profile of Russian white and Tsarskoye Selo chickens. Agricultural science. 2024. No. 12. Pp. 77-83.

7. Lysych E. Yu., Kolomeets A. A., Lysych M. N. Modern contactless methods for measuring human body size and shape. DOI: 10.12737/16216 <https://www.zuechtungskunde.de/Beziehungen-zwischen-Exterieur-und-Leistungsmerkmalen-beim-Milchvieh,QUIEPTY2Mzk2NzMmTUIEPTY5MTQy.html>

8. Makarova A. V., Vakhrameev A. B. Exterior features of chickens of the experimental CA population in groups with different live weight. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and higher professional education. 2021. No. 1(61). Pp. 287-297. DOI 10.32786/2071-9485-2021-01-28.

9. Mitrofanova O. V., Dementieva N. V., Larkina T. A. Dynamics of exterior parameters in chickens during selection for polymorphic variants in the myostatin gene. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and higher professional education. 2019. № 2(54). Pp. 222-228. DOI 10.32786/2071-9485-2019-02-27.

10. Naumova V. V. Comparative study of basal metabolism, feed costs and growth rate of young chickens of different crosses. Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2014. No. 1(25). Pp. 136-140.

11. Batanov S. D., Starostina, O. S., Baranova, I. A. Non-contact methods of cattle conformation assessment using mobile measuring systems. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 315. 2019. 032006.

12. Kavtarashvili A., Novotorov E. Morphological and Chemical Composition of Chicken Eggs as Affected by the Oviposition Time. Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East: Agricultural Innovation Systems, Volume 2, Ussuriysk, 21-22 July 2021. Vol. 354. Ussuriysk. 2022. Pp. 848-855.

13. Romanyk H. M., Fedorovich V. V. Quality indicators of eggs of Lohmann Brown and Lohmann Sandy crossbreeds. Scientific and Technical Bulletin of State Scientific Research Control Institute of Veterinary Medical Products and Fodder Additives and Institute of Animal Biology. 2020. Vol.21. No 1. Pp. 162-167.

Информация об авторах

Корнилова Людмила Викторовна, кандидат сельскохозяйственных наук, Удмуртский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11).

Водяникова Вера Владимировна, доктор биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: vodyannikovavolgau@bk.ru

Шкарупа Евгений Иванович, директор ООО «Племптицесовхоз «Увинский»» (Удмуртская Республика, Российская Федерация, 427260, п. Ува, ул. Механизаторов, 10) e-mail: uva-ptica@mail.ru

Баранова Ирина Андреевна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры автоматизированного электропривода факультета энергетики и электрификации Удмуртского государственного аграрного университета (Российская Федерация, 426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11), доцент, ORCID 0000-0001-9730-2889, e-mail: zykina_i@mail.ru

Старостина Ольга Степановна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры технологии переработки продукции животноводства зооинженерного факультета Удмуртского государственного аграрного университета (Российская Федерация, 426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11), доцент, e-mail: starostinao.starostinat@yandex.ru

Батанов Степан Дмитриевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры технологии переработки продукции животноводства зооинженерного факультета Удмуртского государственного аграрного университета (Российская Федерация, 426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11), профессор, ORCID 0000-0002-6662-2414, e-mail: stepanbatanov@mail.ru.

Author's Information

Kornilova Lyudmila Viktorovna, Candidate of Agricultural Sciences, Udmurt State Agrarian University (Russian Federation, 426069, Izhevsk, Studencheskaya St., 11).

Vodyannikova Vera Vladimirovna, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (26 Universitetsky Avenue, Volgograd, 400002, Russian Federation), e-mail: vodyannikovavolgau@bk.ru.

Shkarupa Evgeny Ivanovich, Director of ООО "Plempticesovkhoz "Uvinsky"" (Udmurt Republic, Russian Federation, 427260, Uva settlement, Mekhanizatorov street, 10) e-mail: uva-ptica@mail.ru

Baranova Irina Andreevna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Automated Electric Drive, Faculty of Power Engineering and Electrification, Udmurt State Agrarian University (Russian Federation, 426069, Izhevsk, Studencheskaya St., 11), Associate Professor, ORCID 0000-0001-9730-2889, e-mail: zykina_i@mail.ru

Starostina Olga Stepanovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Livestock Product Processing Technology Faculty of Zooengineering, Udmurt State Agrarian University (Russian Federation, 426069, Izhevsk, Studencheskaya St., 11), Associate Professor, e-mail: starostinao.starostinat@yandex.ru

Batanov Stepan Dmitrievich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Livestock Product Processing Technology of the Zooengineering Faculty of the Udmurt State Agrarian University (Russian Federation, 426069, Izhevsk, Studencheskaya St., 11), Professor, ORCID 0000-0002-6662-2414, e-mail: stepanbatanov@mail.ru.

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ /
AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-56

THE CANALS SEEPAGE IN THE SARATOV TRANS-VOLGA REGION

Abdrazakov F. K., Mikheeva O. V., Mirkina E. N., Orlova S. S., Pankova T. A.

State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov
Saratov, Russian Federation

Corresponding author E-mail: omuk@inbox.ru

Received 28.01.2026

Submitted 13.03.2025

Summary

This article presents a calculation of seepage from earthen canals for the Saratov Trans-Volga region, and constructs flow and velocity characteristics for the canals in question. Seepage flow is also calculated for deep groundwater tables.

Abstract

Introduction. The largest adjustable losses from a canal are due to seepage, so the selection of materials that can prevent or minimize seepage is one of the most important tasks in the design and reconstruction of canals. Evaporation and leakage costs from canals are insignificant and can be neglected. The greatest water losses due to seepage are observed in canals with earthen beds; they can reach 0.2-0.5 % of the estimated flow per 1 km of canal length. **Object.** The study objects are canals in earthen beds located in the Saratov Trans-Volga region. **Materials and methods.** The largest adjustable losses from a canal are due to seepage, so the selection of materials that can prevent or minimize seepage is one of the most important tasks in the design and reconstruction of canals. Evaporation and leakage costs from canals are insignificant compared to water flow due to seepage and can be neglected in the calculations. The highest water losses due to filtration are observed in unlined canals with an earthen bed, they can reach 0.2-0.5 % of the estimated flow rate per 1 km of the canal length. **Results and conclusions.** For canals with parameters $b = 5$ m, $h = 1.5$ m, $m = 1$ at a filtration coefficient of $K = 0.2$ m / day, the filtration flow rate per 1 km of length will fluctuate from $0.0214 \text{ m}^3 / \text{sec}$ to $0.0275 \text{ m}^3 / \text{sec}$ depending on the selected calculation method, and for a canal with slopes, a bottom width of 6 m and a depth of 2 m, $KF = 0.0000026$ m / sec along the length of the canal at the depth of the water-absorbing layer, the filtration flow rate will be $Q_f = 0.238 \text{ m}^3 / \text{s}$. Velocity and flow characteristics of the channels under consideration were constructed, and the dependences of seepage rate and pressure on seepage time were calculated. For the conditions of the Saratov Trans-Volga region, graphs of seepage rate and pressure on seepage time were constructed at a deep groundwater table. The calculations revealed a smooth decrease in seepage rate with changing seepage time.

Keywords: canal lining, canal beds, irrigation canals, artificial clogging, filtration flow, and reconstruction of irrigation canals.

Citation. Abdrazakov F. K., Mikheeva O. V., Mirkina E. N., Orlova S. S., Pankova T. A. The canals seepage in the Saratov Trans-Volga region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 508-516 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-56.

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 626.8+631.67

ФИЛЬТРАЦИЯ ИЗ КАНАЛОВ ДЛЯ УСЛОВИЙ САРАТОВСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ

Абдразаков Ф. К., доктор технических наук, профессор
Михеева О. В., кандидат технических наук, доцент
Миркина Е. Н., кандидат технических наук, доцент
Орлова С. С., кандидат технических наук, доцент
Панкова Т. А., кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии
и инженерии имени Н. И. Вавилова»
г. Саратов, Российская Федерация

Актуальность. Наибольшие регулируемые потери из канала складываются из потерь на фильтрацию, поэтому подбор материалов, способных предотвратить фильтрацию или сократить ее к минимуму одна из важнейших задач при проектировании и реконструкции каналов. Затраты на испарение и утечки из каналов – величины незначительные и ими можно пренебречь. Наибольшие поте-

ри воды на фильтрацию наблюдаются в каналах с **земляным** руслом, они могут достигать 0,2-0,5 % от расчетного расхода на 1 км длины канала. **Объект:** Объектом исследования являются каналы в земляном русле, расположенные в Саратовском Заволжье. **Материалы и методы.** Наибольшие регулируемые потери из канала складываются из потерь на фильтрацию, поэтому подбор материалов, способных предотвратить фильтрацию или сократить ее к минимуму одна из важнейших задач при проектировании и реконструкции каналов. Затраты на испарение и утечки из каналов являются незначительными величинами, по сравнению с расходами воды на фильтрацию, и в расчетах ими можно пренебречь. **Результаты и выводы.** Для каналов с параметрами $b = 5$ м, $h = 1,5$ м, $m = 1$ при коэффициенте фильтрации $K = 0,2$ м/сут фильтрационный расход на 1 км длины будет колебаться от $0,0214$ м³/сек до $0,0275$ м³/сек в зависимости от выбранной методики расчета, а для канала с заложением откосов $m=1,5$, шириной по дну 6 м и глубиной 2 м, $K_{\phi} = 0,0000026$ м/сек по длине канала $L = 5$ км при глубине залегания водопоглощающего слоя $T = 6$ км расход на фильтрацию составит $Q_{\phi} = 0,238$ м³/с. Построены скоростные и расходные характеристики рассматриваемых каналов, рассчитаны зависимости фильтрационного расхода и напора от времени фильтрации. Для условий Саратовского Заволжья построены графики зависимости фильтрационного расхода и напора от времени фильтрации при глубоком залегании уровня грунтовых вод. В результате расчета получено плавное уменьшение фильтрационного расхода с изменением времени фильтрации.

Ключевые слова: облицовка каналов, русла каналов, оросительные каналы, искусственный кольматаж, фильтрационный расход, реконструкция оросительных каналов.

Цитирование. Абдразаков Ф. К., Михеева О. В., Миркина Е. Н., Орлова С. С., Панкова Т. А. Фильтрация из каналов для условий Саратовского Заволжья. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 508-516. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-56.

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. Наибольшие регулируемые потери из канала складываются из потерь на фильтрацию, поэтому подбор материалов, способных предотвратить фильтрацию или сократить ее к минимуму одна из важнейших задач при проектировании и реконструкции каналов. Затраты на испарение и утечки из каналов – величины незначительные и ими можно пренебречь. Наибольшие потери воды на фильтрацию наблюдаются в каналах с земляным руслом, они могут достигать 0,2-0,5 % от расчетного расхода на 1 км длины канала [1-3]. Одной из самой распространенных облицовок считалась облицовка из монолитного бетона и сборных железобетонных плит, в настоящее время рассматривают применение облицовок из бетонного полотна и геотекстиля. На практике также применяют покрытие русла канала пленками из полимерных материалов с пригрузкой пленки грунтом; применение в качестве «одежды» канала уплотненной глины, также защищаемой сверху неразмываемым грунтом; искусственный кольматаж. Под кольматажем понимается закупорка пор скелета грунта мелкими частицами, проникающими в поры вместе с фильтрационным потоком. В статье рассмотрены методы расчета фильтрации в каналах трапецеидального русла в естественных грунтах и облицованных каналах [4-7], а также их влияние на полученный фильтрационный расход. На рисунке 1 представлен Саратовский оросительный канал облицованный железобетонными плитами.



Рисунок 1 – Саратовский оросительный канал
Figure 1 – Saratov irrigation canal

Материалы и методы. При расчете фильтрации из каналов в земляном русле рекомендуется использовать формулы Н. Н. Павловского, А. Н. Костикова, В. В. Ведерникова для условий свободной фильтрации на бесконечность. Формула расчета расхода фильтрации имеет следующий вид:

$$Q_{\phi} = K_c \cdot L \cdot (B + Ah) \quad (1)$$

где L – длина канала; B – ширина сечения по зеркалу; h – глубина воды в канале; A – форма сечения канала.

Используя формулу расчета фильтрации можно подобрать оптимальную форму поперечного сечения канала с минимальным расходом потерь на фильтрацию [8-12]. Данная формула позволяет определить поперечное сечение канала с минимальными потерями на фильтрацию, так узкие и глубокие каналы будут иметь меньшую фильтрацию, чем широкие и мелкие при прочих равных условиях с одинаковой площадью поперечного сечения канала. Формула Н. Н. Павловского, в которой $A = \text{const} = 2$, приводит к условию (для минимума фильтрации) $\beta = \frac{b}{h} = 2$, независимо от откоса m , а формула Ведерникова дает прибли-

тельно $\beta \cong \beta_{г.н.}$, коэффициент заложения откосов должен быть приблизительно равен единице. Однако необходим учет не только поперечного сечения канала, но и уровня залегания грунтовых вод, что значительным образом будет влиять на процесс фильтрации и являться одним из граничных условий данного процесса. Если подстилающие грунты в ложе канала водопроницаемые с большим коэффициентом фильтрации, то фильтрация будет теоретически бесконечно большими потерями.

Таким образом, формула В. В. Ведерникова для расчета расхода фильтрации из канала с учетом влияния $T = t + h$ будет иметь вид:

$$Q_{\phi} = K \cdot L \cdot (B + 2 \frac{\mathfrak{E}}{\mathfrak{A}_1} h), A = \frac{\mathfrak{E}}{\mathfrak{A}_1} \quad (2)$$

где $\mathfrak{E}$ и $\mathfrak{A}_1$ – полные эллиптические интервалы первого рода зависящие от $m, \frac{B}{h}$ и $\frac{T}{h}$; где T – глубина расположения водопоглощающего слоя.

Так для канала с заложением откосов $m = 1,5$, шириной по дну 6 м и глубиной 2 м, $K_{\phi} = 0,0000026$ м/сек по длине канала $L = 5$ км, при глубине залегания водопоглощающего слоя $T = 6$ м расход на фильтрацию будет равен $Q_{\phi} = 0,238$ м³/с.

Для случаев, когда УГВ залегает на очень большой глубине, т. е. $T = \infty$ множитель A будет равен отношению $A = \frac{\mathfrak{E}}{\mathfrak{A}_1}$. На рисунке 2 представлено расположение кривой депрессии при уровне грунтовых вод стремящемся к бесконечности.

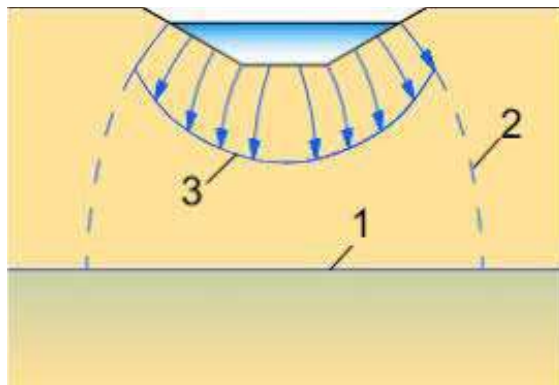


Рисунок 2 – Уровень грунтовых вод залегает на большой глубине [17]
1 – уровень грунтовых вод, 2 – кривая депрессии, 3 – зона фильтрации

Figure 2 – The groundwater level lies at a great depth [17]
1 – groundwater level, 2 – depression curve, 3 – filtration zone

В таблице 1 представлена зависимость коэффициента заложения откоса m от $\beta_{Г.Н.}$, где $\beta_{Г.Н.} = 2(\sqrt{1+m^2} - m)$; $\chi = \chi_{\min}$, $K = \text{const}$, фильтрационный расход минимален.

Таблица 1 – Зависимость $\beta_{Г.Н.}$ от коэффициента заложения откоса m

Table 1 – Dependence $\beta_{Г.Н.}$ on slope laying coefficient m

m	0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,50	1,75	2,0	2,25	2,5	3,0
$\beta_{Г.Н.}$	2	1,562	1,236	1,0	0,828	0,702	0,606	0,532	0,472	0,424	0,38	0,32

Значение параметра a можно определить по формуле (3):

$$a = \frac{\beta + 2m + A}{\beta + 2\sqrt{1+m^2}} \quad (3)$$

Если принять a равным 1, то формула (4) примет вид $\frac{\beta + 2m + A}{\beta + 2\sqrt{1+m^2}} = 1$, тогда $A = 2(\sqrt{1+m^2} - m)$, следовательно коэффициент $\beta_{Г.Н.}$ будет равен (4):

$$\beta_{Г.Н.} = 2(\sqrt{1+m^2} - m) \quad (4)$$

Наиболее часто на практике используют трапецидальное сечение русла, дальнейшие расчеты проведем для него, как наиболее часто используемого на практике [13-15]. На рисунке 3 представлены параметры канала трапецидального сечения.

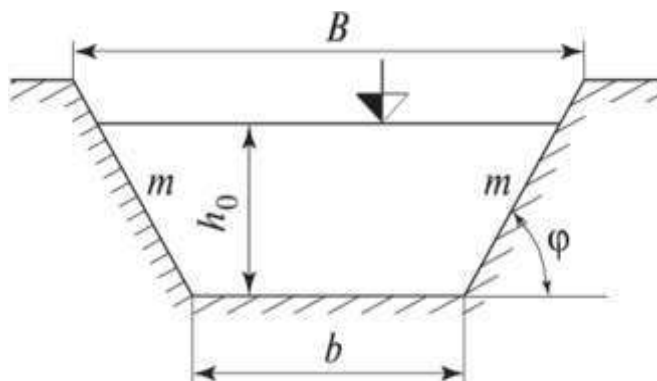


Рисунок 3 – Канал трапецидального сечения [18]

B – ширина канала по верху, b – ширина канала по дну, h_0 – глубина канала, m – заложение откосов канала, φ – угол наклона откосов канала

Figure 3 – Trapezoidal section channel [18]

B – is the top width of the channel, b is the bottom width of the channel, h_0 – is the depth of the channel, m – is the slope of the channel, and φ – is the angle of the channel slope

Для свободной поверхности уровня в живом сечении значение напорной функции будет равно нулю ($\varphi_0 = 0$). Данное утверждение будет справедливо для всего живого сечения, соответственно значение напорной функции будет равно нулю и для смоченного периметра. Тогда элементарный расход фильтрации на единицу длины канала $L = 1, m$ будет равно (5):

$$Q_\phi = K \cdot \Delta a \frac{\Delta \varphi}{\Delta l} = K \Delta a \frac{\varphi_i - \varphi_{i+1}}{\Delta l} \quad (5)$$

где Δa – ширина ленты; $\frac{\Delta \varphi}{\Delta l} = I$ гидравлический градиент.

Примем ширину Δa равной элементу длины смоченного периметра $\Delta \chi$, т. е.

$$\Delta a = \Delta \chi \text{ или в пределах } da = d\chi$$

Гидравлический градиент в данном случае будет равен:

$$I = \frac{\Delta\varphi}{\Delta l} = \frac{\varphi_0 - \varphi_c}{l} \approx \frac{\varphi_0 - \varphi_c}{l_B} \quad (6)$$

где φ_0 – величина напорной функции по периметру ($\varphi_0 = 0$); φ_c – величина напорной функции на уровне грунтовых вод; l_B – вертикальная проекция расстояния от элемента периметра вдоль линии тока до линии стыка (для участка на дне канала $l_B = t$), а для участка на откосе $l_B = t + h - z$, где z находится в пределах от $z = 0$ до $z = h$.

При увеличении глубины водоупора t стремящейся к бесконечности, величина $\frac{h}{t}$ будет стремиться к нулю, а $1 + \frac{h}{t}$ стремиться к единице. Таким образом, справедлива формула:

$$\frac{t}{h} \ln \frac{t+h}{t} = \frac{\frac{t+h}{t}}{\frac{h}{t}} \quad (7)$$

Это выражение при $t = \infty$ дает неопределенность. При дифференцировании, взяв в качестве переменной величину t и считая $h = \text{const}$ получим:
при этом $t = \infty$ это дает

$$\left| \frac{1}{1 + \frac{h}{t}} \right|_{t=\infty} = 1 \quad (8)$$

Поэтому $t = \infty$

$$B = \frac{Q}{KL} = b + 2h\sqrt{1+m^2} = \chi \quad (9)$$

поправочный множитель в этом случае $M = \frac{B_\phi + \chi}{2\chi} = 1$. Таким образом, при $t = \infty$ имеем $Q_\phi = KL\chi$.

Результаты и обсуждение. В условиях Саратовского Заволжья уровень грунтовых вод залегает на значительной глубине, поэтому при расчетах для случаев $t = \infty$ имеем $B_\phi > \chi$, а поэтому $M > 1$; множитель M_i всегда меньше единицы (при $T \rightarrow \infty M_i$ мало отличается от единицы).

Построим скоростные и расходные характеристики исследуемых каналов и проведем расчет параметров фильтрационного расхода.

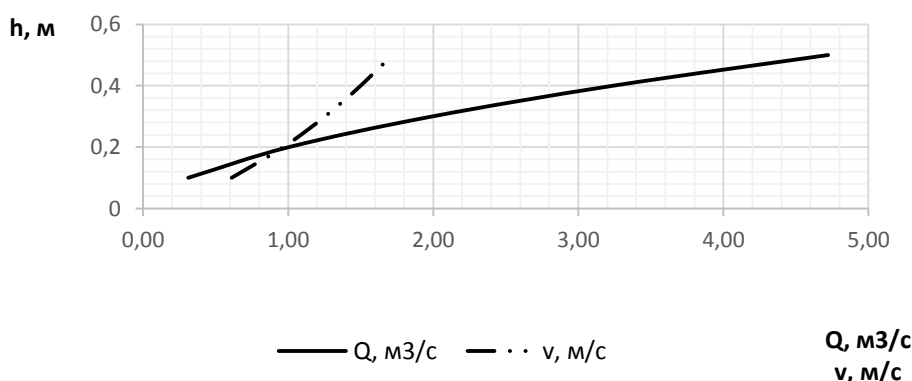


Рисунок 4 – Скоростные и расходные характеристики канала с параметрами $b = 9$ м, $m = 1,5$
Figure 4 – Speed and flow characteristics of the channel with parameters $b = 9$ m, $m = 1.5$

Скоростные и расходные характеристики канала с параметрами $b = 9$ м, $m = 1,5$ представлены на рисунке 4.

Для канала с параметрами $b = 9$ м, $h = 1$ м, $m = 1,5$ м. данные расчета фильтрационного расхода представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет по формуле Ведерникова В. В.
Table 2 – Calculation according to the Vedernikov V. V. formula

$t, м$	$T, м$	По В. В. Ведерникову / according to the Vedernikov V. V. formula $\frac{Q_\phi}{KL}$	По формуле (1) / According to the formula (1)			Примечание / Note
			$\frac{Q_\phi}{KL}$	M	$M \frac{Q_\phi}{KL}$	
∞	∞	15,2	12,60	1,00	12,6	По В. В. Ведерникову больше, чем по формуле (1) / According to V. V. Vedernikov, it is greater than according to formula (1)
1000	1001	15,2	12,70	1,01	12,7	
100	101	15,2	12,80	1,02	13,0	
15	16	15,3	13,35	1,03	13,7	
8	9	15,4	13,85	1,05	14,6	
7	8	15,5	14,10	1,06	14,9	По В. В. Ведерникову меньше, чем по формуле (1) / According to V. V. Vedernikov, it is less than according to formula (1)
6	7	15,6	14,25	1,07	15,3	
5	6	15,8	14,70	1,08	16,0	
4	5	16,1	15,25	1,10	16,8	
3	4	15,8	16,10	1,15	18,5	
2	3	18,2	17,84	1,21	22,4	
1	2	22,1	23,00	1,41	32,5	

В таблице 3 представлен расчет зависимости $M \frac{Q_\phi}{KL}$ от параметра t .

Таблица 3 – Расчет с учетом множителя
Table 3 – Calculation based on the multiplier

$t, м$	5	4	3	2	1
$M \frac{Q_\phi}{KL}$	15,8	16,4	17,7	20,3	27,2

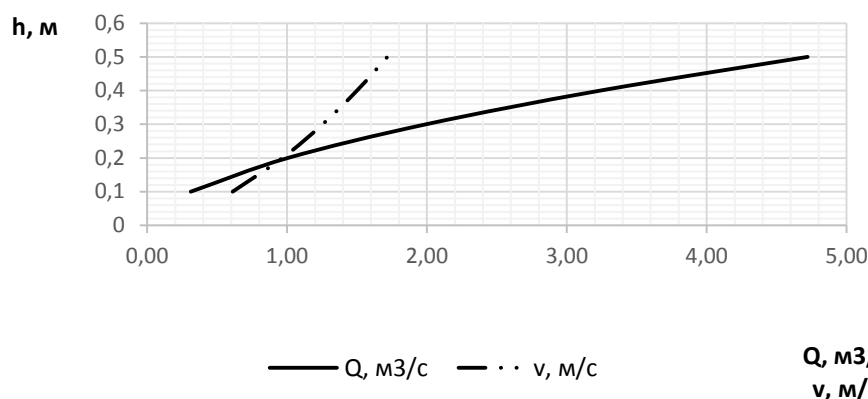


Рисунок 5 – Скоростные и расходные характеристики канала с параметрами $b = 5$ м, $m = 1$
Figure 5 – Speed and flow characteristics of the channel with parameters $b = 5$ м, $m = 1$

На рисунке 5 представлены скоростные и расходные характеристики канала с параметрами $b = 5$ м, $m = 1$

При водоупоре, равном или стремящемся к бесконечности, для каналов с параметрами $b = 5$ м, $h = 1,5$ м, $m = 1$ при коэффициенте фильтрации $K = 0,2$ м/сут, фильтрационный расход на 1 км длины по формуле А. Н. Костикова будет равен $Q_\phi = 0,0214$ м³/сек, по формуле Н. Н. Павловского – $Q_\phi = 0,0255$, а В. В. Ведерникова – $Q_\phi = 0,0275$ м³/сек [16].

Пример расчета фильтрации для канала трапецидального сечения представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Пример расчета фильтрации из каналов трапецидального сечения
Table 4 – is an example of calculating filtration from trapezoidal channels

t	$\frac{Q_{\phi}}{KL} = B_{\phi}$	$M_{\phi} = \frac{B_{\phi} + \chi}{2\chi}$	Q_{ϕ} м³/сек на (на 1 км)	Возрастание / Increasing
∞	9,23	1,0	0,0214	Принято за 1 / Accepted as 1
1,0	9,37	1,015	0,022	1,03 или 3 % / 1,03 or 3 %
10	10,29	1,057	0,0254	1,19 или 19 % / 1,19 or 19 %
5	11,33	1,114	0,029	1,36 или 36 % / 1,36 or 36 %
1	18,93	1,534	0,0667	3,20 или 2,2 % / 3,20 or 2,2 %

Как видим, с уменьшением t расход на фильтрацию заметно возрастает и не учитывать его нет смысла.

В условиях Саратовского Заволжья уровень грунтовых вод находится на значительной глубине 16 и более метров, поэтому расчет фильтрационного расхода необходимо провести для случая глубокого залегания грунтовых вод.

Расчет изменения напора от времени фильтрации при уровне грунтовых вод стремящемся к бесконечности представлен на рисунке 6.

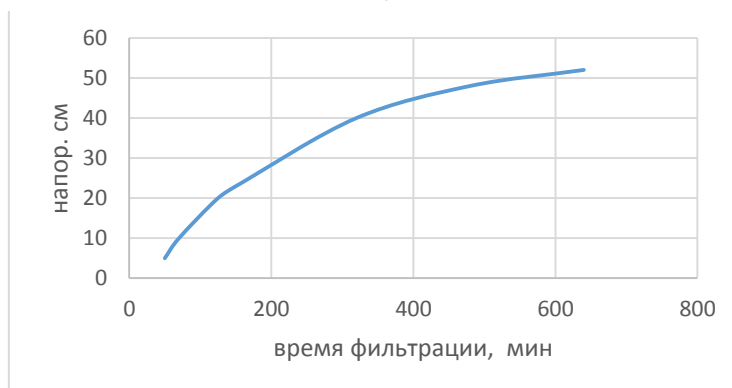


Рисунок 6 – График зависимости напора от времени фильтрации при глубоком залегании уровня грунтовых вод

Figure 6 – Graph of pressure versus filtration time for deep groundwater levels

Расчет изменения фильтрационного расхода от времени фильтрации при уровне грунтовых вод, стремящемся к бесконечности представлен на рисунке 7

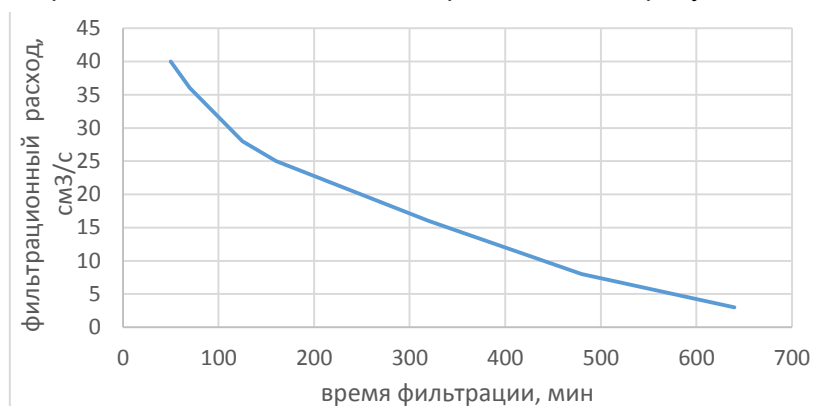


Рисунок 7 – График зависимости фильтрационного расхода от времени фильтрации при глубоком залегании уровня грунтовых вод

Figure 7 – Graph of the dependence of filtration flow on filtration time at deep groundwater levels

Таким образом, для условий Саратовского Заволжья характерно плавное уменьшение фильтрационного расхода.

Заключение. Рассчитано, что для канала с параметрами $b = 5$ м, $h = 1,5$ м, $m = 1$ при коэффициенте фильтрации $K = 0,2$ м/сут фильтрационный расход на 1 км длины фильтрационный расход будет колебаться от $0,0214$ м³/сек до $0,0275$ м³/сек в зависимости от выбранной методики расчета, а для канала с заложением откосов $m = 1,5$, шириной по дну 6 м и глубиной 2 м, $K_{\phi} = 0,0000026$ м/сек по длине канала $L = 5$ км при глубине залегания водопоглощающего слоя $T = 6$ м расход на фильтрацию составит $Q_{\phi} = 0,238$ м³/с. Представлены скоростные и расходные характеристики рассматриваемых каналов. Для условий Саратовского Заволжья построен график зависимости фильтрационного расхода и напора от времени фильтрации при глубоком залегании уровня грунтовых вод.

Conclusion. It is calculated that for a channel with parameters $b = 5$ m, $h = 1.5$ m, $m = 1$ with a filtration coefficient $K = 0.2$ m/day, the filtration flow rate per 1 km of length, the filtration flow rate will range from 0.0214 m³/sec to 0.0275 m³/sec, depending on the chosen calculation method, and for a channel with by laying slopes with a bottom width of 6 m and a depth of 2 m, $Q_{\phi} = 0.0000026$ m/sec along the length of the channel at the depth of the water-absorbing layer, the filtration consumption will be $Q_{\phi} = 0.238$ m³/s. The speed and flow characteristics of the channels under consideration are presented. For the conditions of the Saratov Trans-Volga region, a graph of the dependence of filtration flow and pressure on filtration time at deep groundwater levels has been constructed.

Библиографический список

1. Абдразаков Ф. К. и др. Фильтрация в каналах с земляным руслом и новые методы крепления откосов. Аграрный научный журнал. 2023. № 6. С. 107-114.
2. Абдразаков Ф. К. и др. Теоретические исследования фильтрации из оросительных каналов. Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14. № 4. С. 390-402.
3. Abdrazakov F. K. et al. Construction and repair of irrigation canals based on converged technologies. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Tashkent, Uzbekistan, 2020. Vol. 883. Art. 012209.
4. Абдразаков Ф. К., Михеева О. В., Серебренников Ф. В. Исследование влияния выбранных методов расчета на теоретически рассчитанную пропускную способность водопропускного отверстия на канале. Аграрный научный журнал. 2020. № 11. С. 102-105.
5. Панкова Т. А., Михеева О. В., Орлова С. С. Исследование эксплуатационного состояния оросительных каналов. Аграрный научный журнал. 2015. № 6. С. 64-68.
6. Михеева О. В. Основные научно-технические проблемы при эксплуатации каналов в земляном русле. Проблемы и перспективы инновационного развития мирового сельского хозяйства: IV Международная научно-практическая конференция. Саратов: Буква, 2013. С. 268-269.
7. Панкова Т. А., Михеева О. В., Орлова С. С. Оценка надежности работы каналов. Научная жизнь. 2013. № 5. С. 29-32.
8. Ткачев А. А., Ольгаренко И. В. Современные проблемы в управлении водораспределением в магистральных каналах оросительных систем. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2021. Т. 11. № 2. С. 1-23. <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1192>
9. Щедрин В. Н. и др. Моделирование динамического управления водораспределением на каналах открытой оросительной сети. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2015. № 4 (20). С. 1-20. <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=819>
10. Hashemy Shahdany S. M. et al. Developing a centralized automatic control system to increase flexibility of water delivery within predictable and unpredictable irrigation water demands. Computers and Electronics in Agriculture. 2019. Vol. 163. Art. 104862.
11. García Villanueva N. H. Channel operation: general concepts. Mexican Institute of Water Technology. México, 2015. 313 p. https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/riego-drenaje/operacion-canales.pdf

References

1. Abdrazakov F. K. et al. Filtration in canals with an earthen bed and new methods of slope stabilization. Agrarian scientific journal. 2023. No. 6. Pp. 107-114.
2. Abdrazakov F. K. et al. Theoretical studies of filtration from irrigation canals Land Reclamation and Hydraulic Engineering. 2024. Vol. 14. No. 4. Pp. 390-402.
3. Abdrazakov F. K. et al. Construction and repair of irrigation canals based on converged technologies. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Tashkent, Uzbekistan, 2020. V. 883. Art. 012209.
4. Abdrazakov F. K., Mikheeva O. V., Serebrennikov F. V. Study of the influence of selected calculation methods on the theoretically calculated capacity of a culvert on a canal. Agrarian scientific journal. 2020. No. 11. Pp. 102-105.
5. Pankova T. A., Mikheeva O. V., Orlova S. S. Study of the operational state of irrigation canals. Agrarian scientific journal. 2015. No. 6. Pp. 64-68.
6. Mikheeva O. V. Main scientific and technical problems in the operation of canals in the earthen bed. Problems and prospects of innovative development of world agriculture: IV International scientific and practical conference. Saratov: Bukva, 2013. Pp. 268-269.
7. Pankova T. A., Mikheeva O. V., Orlova S. S. Evaluation of the reliability of canals. Scientific life. 2013. No. 5. Pp. 29-32.
8. Tkachev A. A., Olgarenko I. V. Modern problems in water distribution management in main canals of irrigation systems. Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2021. V. 11. No. 2. Pp. 1-23. <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1192>

9. Shchedrin V. N. et al. Modeling of dynamic water distribution control on open irrigation network canals. Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2015. No. 4 (20). Pp. 1-20. <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=819>

10. Hashemy Shahdany S. M. et al. Developing a centralized automatic control system to increase flexibility of water delivery within predictable and unpredictable irrigation water demands. Computers and Electronics in Agriculture. 2019. Vol. 163. Art. 104862.

11. García Villanueva N. H. Channel operation: general concepts. Mexican Institute of Water Technology. México, 2015. 313 p. https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/riego-drenaje/operacion-canales.pdf

Информация об авторах

Абдразаков Фярид Кинжаевич, профессор, доктор технических наук, Заслуженный деятель науки РФ, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (Российская Федерация, Саратов), ORCID: 0000-0003-3247-5257, e-mail: abdrzakov.fk@mail.ru

Михеева Ольга Валентиновна, кандидат технических наук, доцент кафедры, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (Российская Федерация, Саратов), ORCID: 0000-0001-7375-0281, e-mail: omuk@inbox.ru,

Миркина Елена Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (Российская Федерация, Саратов), ORCID: 0000-0003-3867-1937, e-mail: docentmirkina@rambler.ru

Орлова Светлана Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (Российская Федерация, Саратов), ORCID: 0000-0002-9350-0893, e-mail: orlovass77@mail.ru

Панкова Татьяна Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (Российская Федерация, Саратов), ORCID: 0000-0002-4619-765X, e-mail: vtanja@mail.ru

Authors' Information

Abdrzakov Farid Kinzhavich, Professor, Doctor of Engineering Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation, Professor, State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, Saratov), ORCID: 0000-0003-3247-5257, e-mail: abdrzakov.fk@mail.ru

Mikheeva Olga Valentinovna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department, State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, Saratov), ORCID: 0000-0001-7375-0281, e-mail: omuk@inbox.ru

Mirkina Elena Nikolaevna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department, State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, Saratov), ORCID: 0000-0003-3867-1937, e-mail: docentmirkina@rambler.ru

Orlova Svetlana Sergeevna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department, State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, Saratov), ORCID: 0000-0002-9350-0893, e-mail: orlovass77@mail.ru

Pankova Tatiana Anatolyevna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, Saratov), ORCID: 0000-0002-4619-765X, e-mail: vtanja@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-57

THE INTELLIGENT GREENHOUSE TEMPERATURE CONTROL SYSTEM

¹Vorob'eva N. S., ¹Bocharnikov V. S., ¹Zakharov E. N., ²Tokarev V. I., ¹Babochenko N. V.,
Argadykova V. Yu.

¹Volgograd State Agricultural University

²FSB of Agroecology of the Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: vgssa@mail.ru

Received 12.01.2026

Submitted 19.02.2026

The research was carried out within the framework of research and development of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation No. FESR-2026-0002 "Development of resource-saving machines for cultivating crops and systems for the rational use of the agricultural biocenoses based on innovative digital technologies in rice farming to obtain environmentally friendly products for processing plant raw materials".

Summary

The study addresses the optimization of climate control in greenhouse facilities through the development of an intelligent monitoring system. The key issue lies in the inefficiencies of conventional thermal and climate management systems, which lack predictive capabilities.

Abstract

Introduction. The intelligent greenhouse control system eliminates deficiencies in managing greenhouse heating and climate control systems by developing predictive temperature control algorithms implemented within a smart thermostat. These algorithms not only respond to current microclimate changes but also anticipate temperature trends based on external conditions, internal processes, and the facility's operating schedule. **Object.** The object of the research is a functional test bench simulating the operation of a real greenhouse installation. **Materials and methods.** Optimizing greenhouse temperature management in-

volves setting up a system that continuously maintains optimal climate conditions with minimal energy consumption and maximum economic efficiency. To address the deficiencies in managing the greenhouse's heating and climate control systems, a predictive temperature control algorithm was developed and implemented within a smart thermostat. A functional test rig simulating the operation of a real greenhouse system was created for experimental testing and modeling of the intelligent indoor microclimate control system. **Results and conclusion.** A predictive temperature control algorithm implemented within an intelligent thermostat will not only respond to current microclimate changes, but also predict temperature dynamics based on external conditions, internal processes, and the facility's specified operating schedule.

Keywords: greenhouses, greenhouse microclimate, greenhouse microclimate control systems, and intelligent thermostats.

Citation. Vorob'eva N. S., Bochamnikov V. S., Zakharov E. N., Tokarev V. I., Babochenko N. V., Argadykova V. Y. The intelligent greenhouse temperature control system. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 516-523 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-57.

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 635.044:004.8

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТЕПЛИЦЕ

¹Воробьева Н. С., доктор технических наук, доцент

¹Бочарников В. С., доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН

¹Захаров Е. Н., кандидат технических наук, доцент

²Токарев В. И., кандидат технических наук

¹Бабоченко Н. В., кандидат технических наук, доцент

Аргадыкова В. Ю., соискатель

¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

²ФНЦ агроэкологии РАН

г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках НИР Минобрнауки РФ № FESR-2026-0002 «Разработка ресурсосберегающих машин для возделывания сельскохозяйственных культур и систем рационального использования агробиоценозов на основе инновационных цифровых технологий в условиях рискованного земледелия для получения экологически чистых продуктов переработки растительного сырья».

Актуальность. Интеллектуальная система контроля в теплице устраняет недостатки в управлении тепловыми и климатическими системами теплицы за счет разработки прогнозирующих алгоритмов управления температурой, реализуемых в рамках интеллектуального термостата. Эти алгоритмы позволяют не только реагировать на текущие изменения микроклимата, но и предугадывать динамику температуры на основе внешних условий, внутренних процессов и заданного графика эксплуатации объекта. **Объект.** Объектом исследований является функциональный тестовый стенд, имитирующий работу реальной тепличной установки. **Материалы и методы.** Оптимизация управления температурным режимом теплицы сводится к настройке обеспечивающей непрерывное поддержание оптимальных климатических условий при минимальных энергетических затратах и максимальной экономической эффективности. Для устранения недостатков в управлении тепловыми и климатическими системами теплицы, разработан прогнозирующий алгоритм управления температурой, реализуемый в рамках интеллектуального термостата. Для экспериментальной отработки и моделирования интеллектуальной системы управления микроклиматом в помещении был создан функциональный тестовый стенд, имитирующий работу реальной тепличной установки. **Результаты и выводы.** Прогнозирующий алгоритм управления температурой, реализуемый в рамках интеллектуального термостата позволит не только реагировать на текущие изменения микроклимата, но и предугадывать динамику температуры на основе внешних условий, внутренних процессов и заданного графика эксплуатации объекта.

Ключевые слова: теплицы, микроклимат теплиц, системы контроля микроклимата теплиц, интеллектуальные термостаты.

Цитирование. Воробьева Н. С., Бочарников В. С., Захаров Е. Н., Токарев В. И., Бабоченко Н. С., Аргадыкова В. Ю. Интеллектуальная система контроля температуры в теплице. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 516-523. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-57.

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. Совершенствование технологий автоматизированных систем управления микроклиматом является ключевым фактором повышения эффективности и устойчивости работы агропромышленных комплексов, тепличных хозяйств.

В условиях постоянных изменений внешних и внутренних факторов, а также растущих требований к энергоэффективности и устойчивости производственных процессов, выбор направления развития этих систем должен учитывать несколько важнейших аспектов. Одним из главных факторов, влияющих на эффективность работы автоматизированной системы управления, является непредсказуемость внешних условий, таких как изменение погоды, колебания температуры, влажности или интенсивности солнечного света [1]. В тепличных комплексах, например, эти изменения напрямую влияют на урожайность и потребности в ресурсах. Поэтому направление, связанное с интеграцией интеллектуальных алгоритмов, таких как нейронные сети и генетические алгоритмы, позволяют адаптировать систему управления к динамично изменяющимся условиям, автоматически регулируя параметры (температуру, влажность или уровень освещённости) с учётом прогнозов и исторических данных.

Материалы и методы. С развитием технологий больших данных (Big Data) и машинного обучения появляется возможность для создания прогнозирующих систем. Для сельского хозяйства это открывает новые горизонты в планировании поливов, обогрева, освещения, а также в управлении ресурсами [2]. Например, анализируя данные о погодных условиях, почвенных характеристиках, потребностях в поливе и предыдущих урожаях, система может предсказать необходимость в изменении параметров микроклимата, заранее предупреждая оператора о возможных отклонениях и оптимизируя ресурсы [3]. Выбранное направление совершенствования технологий автоматизированных систем управления микроклиматом на основе искусственного интеллекта, интеллектуальных алгоритмов, энергоэффективных решений и модульных систем является не только обоснованным, но и стратегически важным для повышения производительности и устойчивости современных агропромышленных комплексов и других объектов [4]. Этот подход позволяет не только решить текущие задачи по контролю и оптимизации ресурсов, но и создать основу для развития в условиях быстроменяющихся факторов внешней среды.

Задача оптимизации управления температурным режимом теплицы сводится к следующему: система должна быть настроена таким образом, чтобы обеспечивать непрерывное поддержание оптимальных климатических условий при минимальных энергетических затратах и максимальной экономической эффективности. Это требует интегрированного подхода и интеллектуального управления, чтобы учитывать все взаимодействия между системами и внешние факторы, такие как изменение температуры на улице и уровень солнечного освещения, что позволит сэкономить ресурсы и улучшить производственные показатели [5].

С целью устранения описанных выше недостатков в управлении тепловыми и климатическими системами теплицы, требуется разработка прогнозирующих алгоритмов управления температурой, реализуемых в рамках интеллектуального термостата. Эти алгоритмы позволяют не только реагировать на текущие изменения микроклимата, но и предугадывать динамику температуры на основе внешних условий, внутренних процессов и заданного графика эксплуатации объекта [6].

Для экспериментальной отработки и моделирования интеллектуальной системы управления микроклиматом в помещении был создан функциональный тестовый стенд, имитирующий работу реальной тепличной установки. Конструкция стенда включает в себя следующий набор компонентов: интегральный цифровой датчик температуры DS18B20, программируемый термостат, реализованный на базе платформы ESP, электроприводная термоголовка для радиатора отопления, Wi-Fi модуль для беспроводной связи, доступ в интернет для удалённого мониторинга и настройки параметров (рисунок 1).

Для эффективного функционирования интеллектуальной системы управления микроклиматом в теплице необходимо непрерывно собирать и анализировать данные, поступающие от установленных сенсоров [7]. Эти данные позволяют адаптировать работу систем отопления, вентиляции и охлаждения под текущие условия и потребности растений. Важнейшими параметрами, подлежащими мониторингу, являются:

- температура наружного воздуха (t_n , °C);
- температура воздуха внутри теплицы (t_v , °C);

- температура теплоносителя в трубопроводе и радиаторе системы отопления (t_t , °C);
- положение сервопривода термоголовки, установленной на радиаторе;
- заданная температура выращивания (t_z , °C), определяемая в зависимости от стадии роста культур.

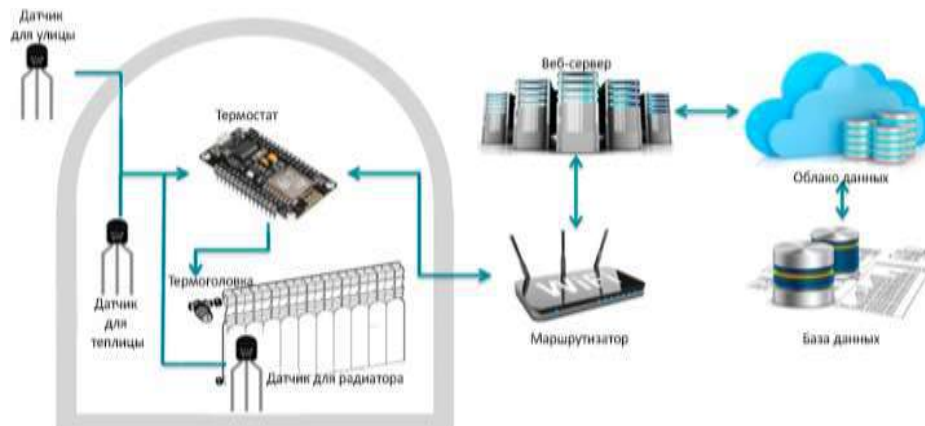


Рисунок 1 – Архитектура экспериментальной установки
Figure 1 – Architecture of the experimental setup

Для обеспечения точности измерений крайне важно правильно разместить датчики. Датчик наружной температуры монтируется с северной стороны теплицы, в затенённом месте, защищённом от прямого солнечного света, осадков и ветра. Это позволяет получать объективные данные о внешних климатических условиях без искажений. Внутренний датчик температуры воздуха устанавливается на высоте, соответствующей зоне активного роста растений, в удалении от отопительных приборов, вентиляционных отверстий и оборудования, выделяющего тепло. Это необходимо для получения среднестатистических значений, отражающих фактический микроклимат, а не локальные отклонения. Датчик температуры радиатора крепится на входной секции отопительного элемента, чтобы фиксировать температуру подающего теплоносителя – важнейшего показателя при оценке эффективности системы отопления. Тепловой режим теплицы зависит от множества факторов, таких как теплообмен с окружающей средой, солнечная радиация, вентиляция и теплоотдача через ограждающие конструкции [8-10]. Тепловой баланс защищённого грунта можно описать системой дифференциальных уравнений.

Основное уравнение теплопередачи:

$$dQ/dt = \alpha \cdot S \cdot (t_v - t_n) + \beta \cdot G \cdot c \cdot (t_p - t_v) + \sum Q_i, \quad (1)$$

где α – коэффициент теплопередачи ограждения (Вт/м² °C); S – площадь поверхности теплицы (м²); G – массовый расход воздуха (кг/с); c – удельная теплоёмкость воздуха (Дж/кг·°C); t_v – внутренняя температура теплицы; t_n – наружная температура; t_p – температура подогреваемого воздуха; Q_i – дополнительные тепловые потоки (например, от растений, обогревателей, освещения и других источников).

Динамика изменения температуры внутри теплицы:

$$C (dt_v/dt) = Q_{\text{солн}} - Q_{\text{обор}} + Q_{\text{пот}} + Q_{\text{вент}}, \quad (2)$$

где C – теплоёмкость системы (Дж/°C); $Q_{\text{солн}}$ – солнечная радиация; $Q_{\text{обор}}$ – теплотворные процессы внутри теплицы; $Q_{\text{пот}}$ – потери тепла (через стены, окна, вентиляцию); $Q_{\text{вент}}$ – теплотери через вентиляцию.

Уравнения (1) и (2) позволят вычислить изменения температуры в зависимости от воздействия внешних и внутренних факторов. Для эффективного роста растений важно поддерживать оптимальные температурные условия [11].

Представим блок-схему алгоритма управления температурой в теплице на рисунке 2. Данный алгоритм обеспечивает многоуровневое управление с обратными связями, адаптацией к внешним условиям и возможностью самообучения системы.

Применение данного алгоритма и выбранных параметров позволяет достичь:

- стабильного поддержания температуры с минимальными колебаниями,
- быстрой адаптации к изменению внешних условий,
- экономии энергии за счёт оптимизированного управления исполнительными механизмами.

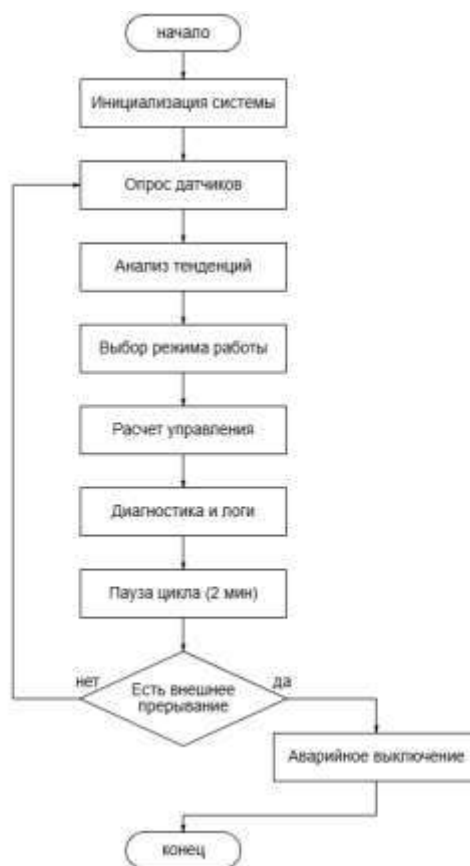


Рисунок 2 – Алгоритм работы интеллектуальной системы контроля температуры
Figure 2 – Algorithm of the intelligent temperature control system

Разработанный нами подход обеспечивает высокую эффективность и надёжность функционирования всей системы контроля микроклимата.

Технические преимущества выбранного решения заключаются в возможности использования одного из двух типов регуляторов: ПИД-регулятора или нечеткого регулятора, а также интеллектуальных методов управления, таких как нечеткая логика. Эти методы позволяют дополнительно адаптировать работу системы к изменяющимся условиям окружающей среды и особенностям эксплуатации [12-15].

В рамках исследования и моделирования различных типов регуляторов установлено, что:

- ПИД-регулятор и нечеткий регулятор обеспечивают наилучшую точность поддержания температуры с минимальными колебаниями и перерегулированием;
- время выхода на заданную температуру составляет от 0,275 до 0,279 часа, что свидетельствует о высоком быстродействии системы;
- максимальное отклонение от целевого значения не превышает 1,3 % для ПИД-регулятора и 0,5 % для нечеткого регулятора, что гарантирует высокую стабильность условий в теплице [13].

С ПИД-регулятором нагрев помещения происходит за 0,275 часа, и температура также стабилизируется на значении 25 °С, аналогично ПИ-регулятору. Однако, максимальное отклонение от целевого значения составляет 1,3 %, что немного меньше, чем у ПИ-регулятора (рисунок 3, а). ПИД-регулятор обеспечивает более быстрое достижение стабильной температуры по сравнению с ПИ-регулятором. Следующим в модели термостата применяется нечеткий регулятор, который также проходит настройку. При его использовании нагрев помещения происходит за 0,279 часа, и установившееся значение температуры равняется 25 °С (рисунок 3, б). Максимальное отклонение от целевого значения составляет 0,5 %.

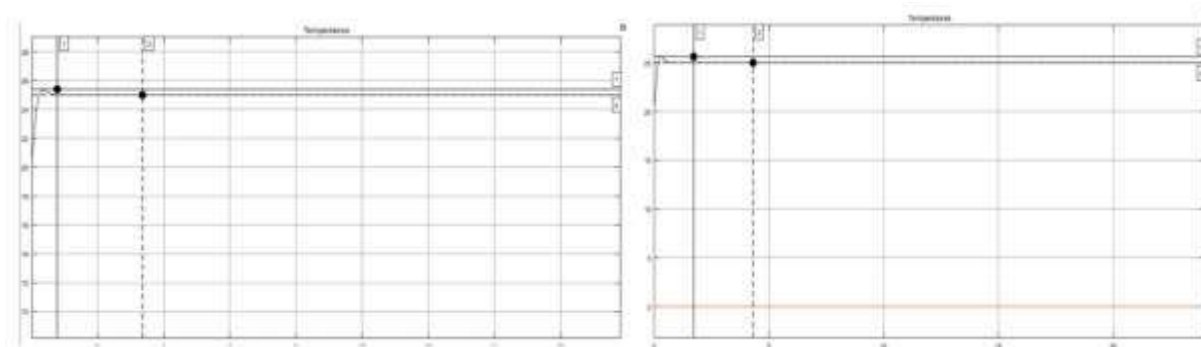


Рисунок 3 – Обеспечение заданной температуры: а) ПИД-регулятором, б) нечетким регулятором
Figure 3 – Maintaining the set temperature: a) PID controller, b) fuzzy controller

Для расчета эксплуатационных расходов представляем два варианта систем: с ПИД-регулятором и с нечетким регулятором.

Исходные данные для проведения экономических расчетов таковы:

- площадь теплицы: $S = 30 \cdot 10 \text{ м} = 300 \text{ м}^2$;
- высота теплицы: $h = 3 \text{ м}$;
- объем теплицы: $V = 300 \cdot 3 = 900 \text{ м}^3$;
- температура внутри теплицы ($t_{\text{в}}$): $+25 \text{ }^\circ\text{C}$;
- средняя температура наружного воздуха ($t_{\text{н}}$): $-17 \text{ }^\circ\text{C}$;
- разница температур: $\Delta t = 25 - (-17) = 42 \text{ }^\circ\text{C}$;
- коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций (стены, форточки):
- $U = 1,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ – типичное значение для стандартной теплицы;
- стоимость электроэнергии: $C_{\text{эл}} = 5,88 \text{ руб}/\text{кВт} \cdot \text{ч}$;
- средняя продолжительность отопительного сезона: 180 суток;
- продолжительность работы в сутки: 24 часа.

Теплопотери через ограждающие конструкции рассчитываются по формуле:

$$Q_{\text{потерь}} = U \cdot S_{\text{ограждений}} \cdot \Delta t$$

Площадь ограждений (стены + крыша), примерно:

$$S_{\text{ограждений}} \approx (30 + 10) \cdot 2 \cdot 3 + 30 \cdot 10 = 360 + 300 = 660 \text{ м}^2$$

$$\text{Тогда: } Q_{\text{потерь}} = 1,5 \cdot 660 \cdot 42 = 41580 \text{ Вт} = 41,58 \text{ кВт}.$$

Расчет потребляемой энергии при непрерывной работе нагревателя за сутки:

$$E_{\text{сут}} = Q_{\text{потерь}} \cdot 24 = 41,58 \cdot 24 = 998 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

$$\text{За весь отопительный сезон: } E_{\text{сезон}} = 998 \cdot 180 = 179640 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Полная стоимость электроэнергии за сезон без учета оптимизации:

$$C_{\text{сезон}} = E_{\text{сезон}} \cdot C_{\text{эл}} = 179640 \cdot 5,88 = 1\,056\,343 \text{ руб}.$$

Без автоматического управления температурами энергозатраты составят около 1,06 млн рублей за сезон.

Подытожив имеем, что коэффициент снижения энергопотребления для ПИД-регулятора будет равен 0,95 (5 % экономии), для нечеткого регулятора – 0,90 (10 % экономии).

Тогда расчеты для энергопотребления с этими коэффициентами будут следующими:

• после установки ПИД-регулятора: $179\,640 \cdot 0,95 = 170\,658 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{год}$, 63 экономия энергии в данном случае составит: $179\,640 - 170\,658 = 8\,982 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{год} \approx 52\,827 \text{ руб}/\text{год}$.

• после установки нечеткого регулятора: $179\,640 \cdot 0,90 = 161\,676 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{год}$, экономия энергии в данном случае составит: $179\,640 - 161\,676 = 17\,964 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{год} \approx 105\,863 \text{ руб}/\text{год}$.

Зная капитальные затраты и годовую экономию, можно подсчитать срок окупаемости данной системы. Так, например, для системы на основе ПИД регулятора, срок окупаемости составит:

Срок окупаемости = Годовая экономия / Капитальные затраты, Срок окупаемости = $(52\,827 + 10\,000) / 104\,500 \approx 0,6$ года, где годовая экономия – это сумма экономии на энергии и зарплате.

Подводя итог, сделаем вывод, что при хорошей настройке ПИД-регулятора и стабильно работающей системе окупаемость составит примерно около 6 месяцев, а в холодных регионах или при высоких ценах на энергоносители окупаемость наступит еще быстрее.

Заключение. Таким образом, сформировано комплексное теоретическое обоснование для интеллектуальной системы контроля в теплицах. Указанные методы обеспечивают дополнительную возможность настройки работы системы в соответствии с динамикой внешней среды и спецификой ее использования, что гарантирует высокую степень эффективности и стабильности работы всей системы управления микроклиматом.

Conclusion. Thus, a comprehensive theoretical basis for an intelligent greenhouse control system has been developed. These methods provide additional flexibility in adjusting the system's operation to environmental dynamics and the specifics of its use, ensuring a high degree of efficiency and stability for the entire microclimate control system.

Библиографический список

1. Абросимов В. К., Елисеев В. В. Малые интеллектуальные роботы для решения задач точного земледелия: проблемы и решение. Робототехника и техническая кибернетика. 2018. № 4 (21). С. 14-18.
2. Бояринов Е. Особенности и основные виды автоматизации микроклимата птичника. Вестник науки. 2023. № 5 (62). Т. 3. С. 1026-1028.
3. Годжаев З. А. Тенденции развития средств механотроники, автоматизации и роботизации для синтеза новых высокопроизводительных технологий, и машин в сельском хозяйстве. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2018. № 3 (329). С. 4-16.
4. Ронжин А. Л., Савельев А. И. Системы искусственного интеллекта в решении задач цифровизации и роботизации агропромышленного комплекса. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16. № 2. С. 22-29.
5. Измайлов А. Ю. Интеллектуальные технологии и роботизированные средства в сельскохозяйственном производстве. Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89. № 5. С. 536-538.
6. Нгуен З. Х., Путов В. В., Шелудько В. Н. Модифицированные алгоритмы адаптивного робастного управления с эталонной моделью нелинейными объектами в условиях неопределенности и неизвестных возмущений. Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2025. Т. 18. № 2. С. 90-100.
7. Черепенин В. А., Кацупеев А. А. Анализ подходов к созданию системы «Умная теплица» на основе нейронной сети. Программные системы и вычислительные методы. 2025. № 1. С. 68-75.
8. Курдюмов Н., Малышевский К. Умная теплица. 2018. 19 с.
9. Лебедь Н. И. и др. Мультисекционная климатическая камера для ускоренного производства культурных растений в условиях регулируемых параметров. Известия Волгоградского ГТУ. 2021 № 3 (250). С. 66-68.
10. Kadirov Y., Samadov A., Goziev O. Equation of dynamics of greenhouse microclimate parameters. In E3S Web of Conferences. EDP Sciences. 2023. V. 390.
11. Ferraris G. Proceedings of the Royal Academy of Science of Turin. Pp. 360-375.
12. Thi Ly Tong et al. Tension control for multi-span web transport systems with roll inertia compensation using RBF neural network. Measurement, Control and Automation. 2021. Vol. 2. No 1. Pp. 8-17.
13. Veltman A., Pulle D. W., De Doncker R. W. Voltage source connected asynchronous machines. Fundamentals of Electrical Drives. Power Systems. Springer, 2015.
14. Williams E. D., Matthews H. S. Scoping the potential of monitoring and control technologies to reduce energy use in homes. Proceedings of the 2007 IEEE International Symposium on Electronics & the Environment. 2007. V. 710. Pp. 239-244.

References

1. Abrosimov V. K., Eliseev V. V. Small intelligent robots for solving problems of precise farming: problems and solutions. Robotics and technical cybernetics. 2018. No. 4 (21). Pp. 14-18.
2. Boyarinov E. Features and main types of automation of the poultry house microclimate. Bulletin of science. 2023. No. 5 (62). Vol. 3. Pp. 1026-1028.
3. Godjaev Z. A. Trends in the development of mechatronics, automation, and robotization tools for the synthesis of new high-performance technologies and machines in agriculture. Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology. 2018. No. 3 (329). Pp. 4-16.
4. Ronzhin A. L., Savelyev A. I. Artificial Intelligence Systems in Solving the Problems of Digitalization and Robotics in the Agro-Industrial Complex. Agricultural Machinery and Technologies. 2022. Vol. 16. No. 2. Pp. 22-29.
5. Izmailov A. Yu. Intelligent Technologies and Robotic Means in Agricultural Production. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2019. Vol. 89. No. 5. Pp. 536-538.
6. Nguyen Z. H., Putov V. V., and Sheludko V. N. Modified Algorithms for Adaptive Robust Control with a Reference Model for Nonlinear Objects under Uncertainty and Unknown Disturbances. Proceedings of the SPbSTU "LETI". 2025. Vol. 18. No. 2. Pp. 90-100.
7. Cherepenin V. A., Katsupeyev A. A. Analysis of Approaches to Creating a "Smart Greenhouse" System Based on a Neural Network. Software Systems and Computational Methods. 2025. No. 1. Pp. 68-75.
8. Kurdyumov N., Malyshevsky K. Smart Greenhouse. 2018. 19 p.
9. Lebed N. I. et al. Multisectional Climate Chamber for Accelerated Production of Cultivated Plants under Controlled Parameters. Proceedings of the Volgograd STU. 2021 No. 3 (250). Pp. 66-68.
10. Kadirov Y., Samadov A., Goziev O. Equation of dynamics of greenhouse microclimate parameters. In E3S Web of Conferences. EDP Sciences. 2023. V. 390.
11. Ferraris G. Proceedings of the Royal Academy of Science of Turin. Pp. 360-375.
12. Thi Ly Tong et al. Tension control for multi-span web transport systems with roll inertia compensation using RBF neural network. Measurement, Control and Automation. 2021. Vol. 2. No 1. Pp. 8-17.
13. Veltman A., Pulle D. W., De Doncker R. W. Voltage source connected asynchronous machines. Fundamentals of Electrical Drives. Power Systems. Springer, 2015.
14. Williams E. D., Matthews H. S. Scoping the potential of monitoring and control technologies to reduce energy use in homes. Proceedings of the 2007 IEEE International Symposium on Electronics & the Environment. 2007. V. 710. Pp. 239-244.

Информация об авторах

Воробьева Наталья Сергеевна, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: vgsxa@mail.ru

Бочарников Виктор Сергеевич, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, первый заместитель директора по науке, ученый секретарь, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: bocharnikov_vs@mail.ru

Токарев Владимир Иванович, кандидат технических наук, заместитель директора по производству и общим вопросам, ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), e-mail: info@vfanc.ru

Захаров Евгений Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: zakharov_e_n@mail.ru

Бабоченко Наталья Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: ntba.n@yandex.ru

Аргадыхова Валентина Юрьевна, соискатель.

Authors' Information

Vorob'eva Natalia Sergeevna, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: vgsxa@mail.ru

Bocharnikov Viktor Sergeevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, First Deputy Director for Science, Academic Secretary, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: bocharnikov_vs@mail.ru

Tokarev Vladimir Ivanovich, Candidate of Engineering Sciences, Deputy Director for Production and General Affairs, Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Avenue, 97), e-mail: info@vfanc.ru

Zakharov Yevgeny Nikolaevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: zakharov_e_n@mail.ru

Babochenko Natalya Vladimirovna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: ntba.n@yandex.ru

Argadykova Valentina Yurievna, Applicant.

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-58

THE RESEARCH OF THE RESOURCE-SAVING METHODS FOR PROLONGING THE OPERATIONAL LIFE AND MAINTAINING THE FUNCTIONALITY OF TRACTOR COUPLING MECHANISMS

¹Gamayunov P. P., ¹Miroshnichenko Yu. A., ²Fomin S. D., ¹Krovyakov S. V., ¹Kuverin I. Yu.

¹*Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin
Saratov, Russian Federation*

²*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author: E-mail: sergey.krovyacov.75@mail.ru

Received 03.08.2025

Submitted 26.02.2026

Abstract

Introduction. A comprehensive review of scientific publications demonstrates that the predominant cause of modern equipment malfunction (accounting for 80-90 % of incidents) is not sudden component failure but rather progressive degradation of movable joints and functional elements due to frictional interactions. The most susceptible areas include friction pairs within the "piston-cylinder" system of hydraulic damping mechanisms and the articulated coupling-uncoupling joints in traction devices, which collectively represent approximately one-quarter of all operational failures. Furthermore, vehicle performance is significantly influenced by the operational condition of mechanisms enabling automatic connection and disconnection of tractor-trailer system components, directly affecting damping characteristics and traction force dynamics during acceleration phases. This research examines resource-efficient approaches for extending service life and maintaining operational capabilities of tractor coupling mechanism components under frictional loading and environmental exposure. **Materials and methods.** The research methodology employs advanced scientific approaches, contemporary technological solutions, and modern measurement instrumentation. The investigative program encompasses detailed analysis of coupling mechanism operating conditions, examination of wear patterns and intensity on contacting surfaces through statistical processing and computational analysis of experimental data. Systematic evaluation and scientific justification of existing technologies for enhancing antifriction and wear-resistant properties of working surfaces across various coupling device configurations are conducted. Experimental validation was performed on specimens tested using the "Tribotest-Vacuum" tribological apparatus across an extended temperature range, supplemented by field testing of experimental coupling devices under actual operating conditions. **Results and conclusions.** Research findings are applicable for theoretical substantiation, engineering calculations, and design development of coupling mechanisms in manufacturing enterprise design departments, as well as for implementing specialized lubricant formulations and surface hardening technologies utilizing complex protective coatings.

Keywords: tractor-trailer systems, coupling mechanisms, wear intensity, tribological equipment.

Citation. Gamayunov P. P., Miroshnichenko Yu. A., Fomin S. D., Krovyakov S. V., Kuverin I. Yu. The research of the resource-saving methods for prolonging the operational life and maintaining the functionality of tractor coupling mechanisms. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 523-530 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-58.

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+629.3.083

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ ДЛЯ ПРОДЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕСУРСА И ПОДДЕРЖАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ СЦЕПНЫХ МЕХАНИЗМОВ ТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

¹Гамаюнов П. П., доктор технических наук, профессор

¹Мирошниченко Ю. А., кандидат технических наук, доцент

²Фомин С. Д., доктор технических наук, доцент

¹Кровяков С. В., аспирант

¹Куверин И. Ю., кандидат технических наук, доцент

¹ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина»

г. Саратов, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность исследования. Систематическое изучение специализированной литературы свидетельствует о том, что преобладающим фактором потери работоспособности современной техники (от 80 до 90 процентов всех случаев) выступает не внезапный выход из строя компонентов, а постепенная деградация подвижных соединений и функциональных элементов вследствие фрикционного взаимодействия. Наиболее уязвимыми зонами считаются фрикционные пары в системе «поршневой элемент – цилиндрическая полость» демпфирующего гидравлического механизма, а также шарнирный узел соединения-разъединения в сцепных устройствах, совокупная доля отказов которых достигает примерно 25 процентов [10]. Помимо этого, эффективность функционирования транспортных агрегатов существенно определяется техническим состоянием механизма, реализующего автоматическое соединение и разъединение элементов тракторно-транспортной системы, что непосредственно воздействует на демпфирующие свойства и динамику трансформации тягового усилия в процессе разгона. Настоящее исследование посвящено рассмотрению ресурсосберегающих подходов к увеличению срока службы и сохранению эксплуатационных характеристик компонентов сцепных механизмов тракторной техники при фрикционных нагрузках и воздействии внешних факторов. **Материалы и методы.** Методологическая база исследования опирается на применение прогрессивных научных подходов, современных технологических решений и актуального измерительного оборудования. Исследовательская программа охватывает детальный анализ эксплуатационных режимов сцепных механизмов, изучение закономерностей и интенсивности износа контактирующих поверхностей посредством статистической обработки и компьютерного анализа экспериментальных данных. Параллельно осуществляется систематизация и научное обоснование применяемых технологий совершенствования антифрикционных и износостойких свойств рабочих поверхностей компонентов сцепных устройств различных конструктивных исполнений. Экспериментальная верификация выполнялась на образцах, подвергнутых испытаниям на трибологической установке «Триботест – Вакуум» в расширенном температурном диапазоне, а также на опытных сцепных устройствах в реальных условиях эксплуатации [9]. **Результаты и выводы.** Полученные результаты применимы при теоретическом обосновании, инженерных расчётах и конструкторской разработке сцепных механизмов в проектных подразделениях машиностроительных предприятий, а также при внедрении специализированных смазочных составов и технологических процессов упрочнения фрикционных элементов посредством нанесения комплексных защитных покрытий.

Ключевые слова: тракторно-транспортные системы, сцепные механизмы, интенсивность изнашивания, трибологическое оборудование.

Цитирование. Гамаюнов П. П., Мирошниченко Ю. А., Фомин С. Д., Кровяков С. В., Куверин И. Ю. Исследование методов ресурсосбережения для продления эксплуатационного ресурса и поддержания функциональности сцепных механизмов тракторной техники. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 523-530. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-58.

Авторский вклад. Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации и в равной степени несут ответственность за соблюдение этических норм в отношении публикации, распространения и использования результатов научного исследования.

Конфликт интересов. Все авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Современное сельскохозяйственное производство невозможно представить без широкого применения тракторной техники. Высокие энергетические показатели и эксплуатационная надёжность этих машин обеспечивают выполнение значительных объёмов технологических операций. Сцепные механизмы, наряду с прочим навесным оборудованием, представляют собой неотъемлемые компоненты машинно-тракторных комплексов и требуют поддержания в функциональном состоянии.

Комплексный анализ научных публикаций и технической документации демонстрирует, что доминирующей причиной утраты работоспособности современных сцепных устройств служит не мгновенный отказ, а прогрессирующее изнашивание подвижных сопряжений и исполнительных элементов, на долю которого приходится от 80 до 90 процентов всех случаев выхода из строя. Среди наиболее подверженных износу узлов выделяются фрикционные пары «поршневой элемент – цилиндрическая камера» гидравлического демпфера и шарнирное соединение механизма сцепления-расцепления, суммарный вклад которых в общее число неисправностей составляет около четверти [10].

Агропромышленный сектор характеризуется возрастающим вниманием к инновационным разработкам, ориентированным на продление эксплуатационного ресурса и расширение функциональных возможностей сцепных механизмов тракторной техники. Настоящая публикация концентрируется на ключевых направлениях совершенствования данных узлов с целью достижения повышенных показателей производительности и надёжности в условиях интенсивной конкуренции.

Сцепные механизмы подвергаются существенным силовым воздействиям и неблагоприятному влиянию окружающей среды в процессе работы. В связи с этим обеспечение их длительной эксплуатации требует комплексного учёта многочисленных факторов: подбора оптимальных конструкционных материалов, внедрения прогрессивных технологий обработки, реализации рациональных конструктивных решений, а также организации планомерного технического сопровождения [4].

Материалы и методы. Систематизация литературных данных позволяет сформулировать приоритетные направления обеспечения долговечности сельскохозяйственных машин на этапе проектирования. К таковым относятся: рационализация конструктивных схем машин и сопряжений; обоснованный подбор деталей и оптимальных сочетаний материалов во фрикционных парах; формирование благоприятных эксплуатационных условий при минимизации потерь на трение; создание расчётных температурных режимов функционирования узлов и агрегатов; обеспечение эффективного смазывания контактирующих поверхностей [2, 4].

Выбор конструкционных материалов. При подборе материалов для производства сцепных механизмов приоритетное значение имеет применение высокопрочных легированных сталей. Данные материалы обеспечивают существенное повышение прочностных характеристик и сопротивления изнашиванию деталей [8]. Легированные стали характеризуются улучшенными механическими свойствами в условиях повышенных температур и агрессивных сред, что делает их предпочтительными для эксплуатации в жёстких условиях аграрного производства. Использование подобных материалов способствует не только увеличению межремонтного периода, но и сокращению периодичности восстановительных работ.

Технологии поверхностной обработки. Наряду с рациональным выбором материалов, существенным фактором повышения эксплуатационного ресурса сцепных устройств выступает внедрение современных методов поверхностной обработки. Технологические процессы термического воздействия – закалка и цементация – позволяют значительно увеличить поверхностную твёрдость компонентов. Возросшая твёрдость элементов сцепных механизмов обеспечивает заметное снижение вероятности механических повреждений и износа. Указанные процессы формируют градиент твёрдости: поверхностный слой приобретает высокую твёрдость, тогда как сердцевина сохраняет пластические свойства, что препятствует зарождению и развитию трещин при ударном нагружении.

Дополнительно следует отметить возрастающую востребованность технологий лазерного напыления. Данный метод обеспечивает формирование на рабочей поверхности прочного износостойкого слоя, существенно продлевающего срок службы детали. Лазерная обработка позволяет наносить защитные покрытия с повышенной стойкостью к коррозионным процессам и механическим повреждениям.

Конструктивная оптимизация. Существенный вклад в обеспечение долговечности вносят рациональные конструктивные решения. При определении геометрических параметров деталей необходимо уделять особое внимание распределению концентрации напряже-

ний в зонах галтелей, проточек, выточек и прочих поверхностей, испытывающих циклические и динамические нагрузки. Оптимизация конструкции предполагает использование средств компьютерного моделирования, позволяющих на теоретическом уровне учитывать динамические нагрузки и напряжённое состояние различных элементов устройства. Подобные подходы обеспечивают более равномерное распределение силового воздействия и снижение концентрации напряжений в критических областях, что способствует значительному продлению эксплуатационного ресурса [1, 3, 5, 6].

Системы автоматического сцепления. Автосцепное устройство служит для соединения отдельных единиц транспортного состава, испытывающих в процессе работы тяговые и ударные нагрузки. Амортизирующие устройства обеспечивают гашение этих воздействий, предохраняя транспортные средства и перевозимые материалы от избыточных продольных динамических сил.

Применение систем автоматического сцепления является перспективным направлением для увеличения долговечности и безотказности сцепных узлов. Автоматизация процедуры соединения облегчает стыковку тягачей с буксируемым оборудованием, уменьшая время и трудозатраты на операции по замене навесных агрегатов. Помимо этого, автоматическая сцепка способствует снижению механического воздействия на элементы соединения, что существенно уменьшает риск их поломки и преждевременного выхода из строя. Такое техническое решение даёт возможность сократить время подготовительных работ перед началом эксплуатации, что имеет особую важность в условиях современного аграрного производства [6, 9].

Виброзащитные системы. Системы защиты от вибрационных воздействий также вносят существенный вклад в обеспечение долговечности сцепных механизмов. Виброзащита сцепных устройств обеспечивает снижение вибраций и устранение люфтов в конструкции. Реализация подобной защиты возможна посредством применения защитных накладок, кожухов или специальных устройств компенсации люфта. Вибрации, возникающие при работе трактора и взаимодействии с орудиями, способны провоцировать ускоренное изнашивание соединительных элементов и механических компонентов. Специализированные виброзащитные элементы, интегрированные в конструкцию, способствуют снижению уровня вибрации, уменьшая тем самым механическое воздействие на детали и дополнительно продлевая их эксплуатационный ресурс.

Техническое обслуживание. Не менее значимым направлением является организация эффективного технического сопровождения сцепных механизмов. Регулярные плановые осмотры технического состояния оборудования способствуют своевременному обнаружению и устранению потенциальных неисправностей. Наличие структурированной программы обслуживания, включающей периодические осмотры, диагностические процедуры и замену изношенных компонентов, существенно снижает вероятность аварийных отказов и внеплановых ремонтных работ.

Применение высококачественных смазочных материалов имеет критическое значение для поддержания работоспособности фрикционных элементов сцепных механизмов. Смазочные материалы обеспечивают снижение трения, что препятствует преждевременному износу компонентов.

Влияние трибологических процессов на эксплуатационный ресурс механических систем. Надёжность и долговечность мобильной сельскохозяйственной техники в значительной степени определяются процессами трения и изнашивания, протекающими в узлах машин. Изнашивание вызывает нарушение герметичности сопряжений, утрату точности взаимного расположения деталей и характеристик перемещений. При этом даже незначительное уменьшение трения в трибологическом сопряжении способно привести к существенному увеличению срока службы устройства и снижению вероятности возникновения критических неисправностей. Кроме того, современным исследованиям придаётся особая значимость в области разработки технологий повышения прочности и износостойкости новых материалов, что является неотъемлемым элементом концепции ресурсосбережения. Одной из ключевых проблем обеспечения долговечности сельскохозяйственной техники, сборочных единиц и их элементов является достижение высоких трибологических характеристик поверхностных слоёв фрикционных деталей. Эффективное применение прогрессивных технологий обработки и модификации материалов – термической обработки, плазменного напыления, полимерных покрытий – открывает новые возможности для совершенствования эксплуатационных характеристик трибосопряжений (ГОСТ 23215-84. Обеспечение износостойкости изделий. Экспериментальная оценка прирабатываемости материалов. – М.: Изд-во стандартов, 1984).

Ресурсосберегающие трибологические методы. В рамках проведённого исследования выделяется ряд ключевых методов, ориентированных на ресурсосбережение и увеличение долговечности элементов сцепных механизмов.

Модификация и обработка поверхности. Под данным направлением понимается использование нанокompозитных и многослойных покрытий, обеспечивающих уникальные трибологические свойства. Применение покрытий типа алмазоподобного углеродного (ADLC) или керамических материалов позволяет существенно снизить коэффициент трения и повысить сопротивление изнашиванию деталей.

Подбор и применение смазочных материалов. Значение смазки в обеспечении эффективности функционирования трибосопряжений сложно переоценить. Современные смазочные материалы, особенно с использованием наномодифицированных масел и твёрдых смазок, характеризуются повышенной стабильностью и способностью снижать трение и износ. Разработка экологически безопасных смазок также представляет собой важный аспект ресурсосбережения.

Металлоплакирующие смазочные составы. Металлоплакирующие смазочные составы представляют собой специализированные материалы, содержащие в своей структуре металлические частицы. При нанесении на поверхность деталей эти частицы формируют прочный и устойчивый защитный слой. Основное функциональное назначение металлоплакирующих смазок – снижение трения между взаимодействующими поверхностями и предотвращение развития износа [10]. Они находят применение в условиях, где традиционные смазочные масла не способны обеспечить достаточную защиту вследствие высоких нагрузок или температур. Фрикционное взаимодействие при наличии плёнки осуществляется не между твёрдыми поверхностями, а между дисперсными частицами со слабым межмолекулярным взаимодействием.

Типы и составляющие металлоплакирующих смазочных материалов. Металлоплакирующие смазки подразделяются на несколько групп в зависимости от их состава и сферы использования.

1. **Медные и алюминиевые включения.** Дисперсные частицы меди отличаются превосходной способностью отводить тепло и подходят для работы при высоких термических нагрузках. Кроме того, медь обеспечивает надёжную антикоррозионную защиту, образуя на поверхности металла барьерное покрытие. Частицы алюминия имеют более низкую удельную массу в сравнении с медными, но при этом также гарантируют эффективную защиту от коррозии. Дополнительно их присутствие в составе смазки способствует созданию защитного покрытия, успешно выдерживающего силовые воздействия.

2. **Никелевые включения.** Дисперсные частицы никеля обладают повышенными прочностными характеристиками и устойчивостью к истиранию. Они наиболее подходят для использования при интенсивных механических нагрузках и обеспечивают предохранение элементов конструкции от преждевременного износа.

3. **Присадки на основе молибдена и графита.** Молибденовые компоненты повышают антифрикционные качества смазочных составов путём уменьшения силы трения, что приобретает особое значение при нестабильных нагрузочных режимах. Графитовые добавки обеспечивают отличные триботехнические свойства, особенно в условиях термического воздействия. Смазочные составы сохраняют свои рабочие параметры при более интенсивном нагреве, благодаря чему удаётся снизить интенсивность изнашивания.

4. **Синтетическая и минеральная масляная основа.** Синтетические базовые масла демонстрируют улучшенную термическую устойчивость и стабильность характеристик при перепадах температур. Минеральные масла являются более классическим решением, которое также применяется при изготовлении металлоплакирующих смазок и обеспечивает качественное смазывание и защиту от коррозионного разрушения.

Применение металлоплакирующих смазок во фрикционных сопряжениях. Металлоплакирующие смазочные составы широко применяются во фрикционных сопряжениях, характеризующихся высокими нагрузками и интенсивным износом, в том числе в сцепных механизмах.

1. **Снижение износа.** При использовании металлоплакирующих смазок формируется защитный слой, обеспечивающий равномерное распределение давления на контактных поверхностях. Это предотвращает механические повреждения, уменьшает трение и снижает интенсивность изнашивания деталей. В условиях значительных нагрузок, когда обычные смазки подвержены деградации, металлоплакирующий состав продолжает выполнять защитную функцию.

2. Увеличение эксплуатационной надёжности. Применение смазочных материалов с металлоплакирующими присадками способствует продолжительной безаварийной работе узлов и деталей, функционирующих при значительных механических воздействиях и нестабильных рабочих режимах. Благодаря использованию таких смазок существенно снижается потребность в регулярном техническом обслуживании и преждевременной замене компонентов, что в итоге повышает безотказность оборудования в целом и минимизирует вынужденные перерывы в работе.

3. Работоспособность в жёстких эксплуатационных условиях. Смазочные составы металлоплакирующего типа характеризуются высокой стабильностью при воздействии значительных контактных напряжений и термических нагрузок, что гарантирует их надёжное функционирование даже в неблагоприятных рабочих средах. Рецептура подобных материалов целенаправленно оптимизирована для обеспечения стабильных эксплуатационных характеристик в условиях интенсивного теплового и силового воздействия.

Результаты и обсуждение. Для проведения сравнительных экспериментов, на основании данных из научных источников и технической документации, было выбрано гидравлическое масло марки МГ-20 (ГОСТ 6794-75). В качестве присадок применялись координационные соединения редкоземельных элементов с органическими и неорганическими лигандами, известные под наименованием «СЛАНТ-1М». Кроме того, использовалась присадка ПМЦ-2, изготовленная на основе олеиновой кислоты и микродисперсных частиц меди и цинка. Для сравнительной оценки эффективности привлекались альтернативные присадки ОГМ-3 и Гретерин-3 в качестве эталонных образцов. Трибологические испытания проводились на установке СМЦ-2М по схеме «ролик-колодка», что позволило детально оценить эффективность исследуемых присадок.

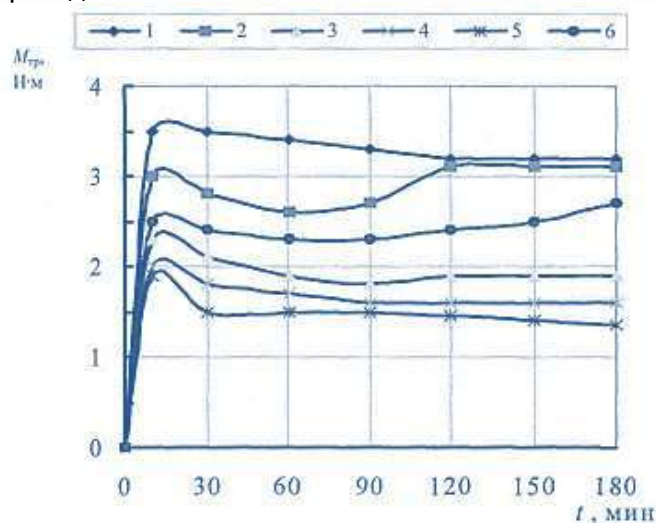


Рисунок 1 – Трибограммы изменения момента трения при испытании образцов на масле:
1 – МГ-20; 2 – МГ-20+МКФ-18У; 3 – МГ-20+ОГМ-3; 4 – МГ-20+ПМЦ-2; 5 – МГ-20+СЛАНТ-1М;
6 – МГ-20+ГРЕТЕРИН-3

Figure 1 – Tribograms of the change in the moment of friction during testing of samples in oil:
1 – MG-20; 2 – MG-20+MKF-18U; 3 – MG-20+OGM-3; 4 – MG-20+PMC-2; 5 – MG-20+SLANT-1M;
6 – MG-20+GRETERIN-3

В ходе испытаний с присадкой МКФ-18У зафиксировано значительное снижение момента трения – с 3,25 до 2,7 Н·м, при этом время стабилизации составило 25 минут. Наблюдаемое уменьшение коэффициента трения обусловлено формированием на контактных поверхностях защитной «сервовитной» плёнки, характеризующейся высокими противоизносными свойствами. Тем не менее, приблизительно через 90 минут от начала испытаний отмечен резкий скачок момента трения с последующей стабилизацией на новом уровне в течение 30 минут. Аналогичная закономерность зафиксирована при испытаниях образцов на масле МГ-20 с присадкой Гретерин-3: стабилизация момента трения наблюдалась в интервале 20-25 минут, после чего также отмечено его увеличение через 1,3-1,5 часа. Хотя рост момента трения в данном случае не был столь резким, как при использовании масла МГ-20 с МКФ-18У, к завершению испытаний его значение возросло до 2,6 Н·м.

Примечательно, что стабильность показателей, особенно на начальных этапах, наблюдалась при использовании присадки ОГМ-3. Это объясняется тем, что воздействие ОГМ-3 на масло МГ-20 способствует усилению выделения антифрикционной медной плёнки, что благоприятно сказывается на процессе трения. Также следует отметить эффективность присадок ПМЦ-2 и СЛАНТ-1М: момент трения снизился с 2,2 до 1,7 Н·м и с 2,0 до 1,5 Н·м соответственно, а время стабилизации составило 20 и 15 минут. В случае применения ПМЦ-2 положительный эффект объясняется процессами модификации поверхностей трения за счёт адсорбции и диффузии компонентов присадки, способствующих быстрому формированию устойчивой опорной поверхности при минимальных потерях на износ.

Заключение. Представленный анализ демонстрирует многообразие ресурсосберегающих методов повышения долговечности и обеспечения работоспособности сцепных механизмов тракторной техники. Эти методы варьируются от регулярного технического обслуживания до внедрения передовых технологий, от совершенствования конструктивных решений до соблюдения рациональных эксплуатационных режимов. Следует учитывать, что все рассмотренные аспекты взаимосвязаны и вносят значимый вклад в общие усилия по поддержанию техники в оптимальном функциональном состоянии.

Conclusion. The presented analysis demonstrates the diversity of resource-saving methods for increasing the durability and ensuring the operability of tractor equipment coupling mechanisms. These methods range from regular maintenance to the introduction of advanced technologies, from improving design solutions to observing rational operating modes. It should be noted that all the aspects considered are interconnected and make a significant contribution to the overall efforts to maintain the equipment in an optimal functional state.

Библиографический список

1. Гамаюнов П. П., Алексеев С. А. Повышение устойчивости автотракторного поезда на базе тракторов МТЗ "Беларусь" ("Беларус"). Научное обозрение. 2014. № 12. Ч. 1. С. 422-424.
2. Гамаюнов П. П., Вихорев Н. К. Анализ современных тенденций совершенствования динамики транспортных средств. Актуальные вопросы транспорта в современных условиях: сборник научных статей. Саратов, 2016. С. 175-177.
3. Гамаюнов П. П., Алексеев С. А. Повышение эксплуатационных качеств тракторного поезда за счет улучшения его эргономических свойств. Научное обозрение. 2015. № 24. С. 111-113.
4. Гамаюнов П. П. Моделирование и расчет основных параметров тягово-сцепного устройства. Научное обозрение. 2016. № 23. С. 28-34.
5. Гамаюнов П. П., Балберов Р. В. Использование комбинированных тягово-сцепных устройств в автомобильных поездах. Актуальные вопросы транспорта в современных условиях: сборник научных статей. Саратов, 2016. С. 163-164.
6. Гамаюнов П. П., Кровяков С. В. Повышение эксплуатационных качеств автопоездов за счет применения усовершенствованного тягово-сцепного устройства. Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок, безопасности движения и эксплуатации транспортных средств: сборник научных статей. Саратов, 2024. С. 179-183.
7. Когаев В. П., Дроздов Ю. Н. Прочность и износостойкость деталей машин. М.: Высшая школа, 1991. 319 с.
8. Гайдар С. М. и др. Разработка металлоплакирующей присадки для деталей узлов трения сельскохозяйственных машин. Техника и оборудование для села. 2021. № 10 (292). С. 41-44.
9. Бугаев А. М., Игнаткин И. Ю. Метод повышения ресурса оборудования гидравлических систем. Труды ГОСНИТИ. 2017. Т. 126. С. 8-13.
10. Жданов А. Г., Сирик А. В., Дугушев Н. И. Разработка устройства для активного улучшения триботехнических свойств моторного масла. Актуальные исследования. 2026. № 2-1 (288). С. 38-41.

References

1. Gamayunov P. P., Alekseyev S. A. Improving the stability of an auto-tractor train based on MTZ Belarus tractors (Belarus). Scientific Review. 2014. No 12. Part 1. Pp. 422-424.
2. Gamayunov P. P., Vikhorev N. K. Analysis of current trends in improving the dynamics of vehicles. Actual issues of transport in modern conditions: collection of scientific articles. Saratov, 2016. Pp. 175-177.
3. Gamayunov P. P., Alekseyev S. A. Improvement of the operational qualities of the tractor train due to the improvement of its ergonomic properties. Scientific Review. 2015. No 24. Pp. 111-113.
4. Gamayunov P. P. Modeling and calculation of the main parameters of the traction-coupling device. Scientific Review. 2016. No 23. Pp. 28-34.
5. Gamayunov P. P., Balberov R. V. Use of combined traction and coupling devices in automobile trains. Actual issues of transport in modern conditions: collection of scientific articles. Saratov, 2016. Pp. 163-164.
6. Gamayunov P. P., Krovayakov S. V. Improving the performance of road trains by using an improved traction and coupling device. Actual issues of road transport organization, traffic safety, and vehicle operation: a collection of scientific articles. Saratov, 2024. Pp. 179-183.
7. Kogaev V. P., Drozdov Yu. N. Strength and Wear Resistance of Machine Parts. Moscow: Vysshaya Shkola, 1991, 319 p.
8. Gaidar S. M. et al. Development of a metal-clad additive for friction parts of agricultural machines. Technique and Equipment for the Village. 2021. No 10 (292). Pp. 41-44.
9. Bugaev A. M., Ignatkin I. Yu. A method for increasing the resource of hydraulic system equipment. Proceedings of the State Research Institute of Agricultural Engineering. 2017. V. 126. Pp. 8-13.

10. Zhdanov A. G., Sirik A. V., Dugushev N. I. Development of a device for active improvement of the tribo-technical properties of engine oil. Actual Research. 2026. No 2-1 (288). Pp. 38-41.

Информация об авторах

Гамаюнов Павел Петрович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина» (Российская Федерация, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77), e-mail: gamaunovv@yandex.ru

Мирошниченко Юлия Андреевна, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина» (Российская Федерация, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77), e-mail: juliaaslioness@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, Университетский пр-т, 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

Кровяков Сергей Владимирович, аспирант ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина», г. Саратов (Российская Федерация, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77), e-mail: sergey.krovyacov.75@mail.ru

Куверин Игорь Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина» (Российская Федерация, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77), e-mail: igorkuv@mail.ru

Authors' Information

Gamayunov Pavel Petrovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Yuri Gagarin Saratov State Technical University (Russian Federation, 410054, Saratov, Politeknicheskaya Street, 77), e-mail: gamaunovv@yandex.ru

Miroshnichenko Yulia Andreevna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Yuri Gagarin Saratov State Technical University (Russian Federation, 410054, Saratov, Politeknicheskaya Street, 77), e-mail: juliaaslioness@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 Agricultural University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

Krovyakov Sergey Vladimirovich, Postgraduate Student, Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin, Saratov (Russian Federation, 410054, Saratov, Politeknicheskaya str., 77).

Kuverin Igor Yurievich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Yuri Gagarin Saratov State Technical University (Russian Federation, 410054, Saratov, Politeknicheskaya Street, 77), e-mail: igorkuv@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-59

THE MOISTURE EFFECT ON THE DEGREE OF THE GRAIN CROPS GRINDING

Nekhoroshev D. A., Nekhoroshev D. D., Biryukov M. A., Nekhoroshev N. D.

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: dmitr-nech@yandex.ru

Received 12.01.2026

Submitted 25.03.2026

Abstract

Introduction. Grain of cereal and leguminous crops is included in the main group of grain bread cereals. With a small amount in the volumetric weight of the crushed grain product, there is a large amount of easily digestible highly nutritious substances. In the production of compound feed, mainly low-quality wheat varieties are used, which contain a lot of starch and few sugars. For feeding livestock, grain of cereals is used in the crushed form of a large degree of grinding. With a small degree of grinding, a sticky mass is formed in the process of digestion, which worsens the process of digestion of the feed. Therefore, finely ground grain is used in small quantities in feed mixtures. Grinding is a widely used method of processing leguminous crops for feeding. The hard outer shell of the grain is completely destroyed during grinding, making it easily digestible. Ground grain mixes well with other types of feed when preparing feed mixtures for various types of diets. The degree of grinding of cereal crops depends mainly on the type of animal and the age for which it is prepared. In the production of compound feed from leguminous crops, it is necessary to take into account three degrees of grinding: coarse 2.6...1.8 mm, medium 1.8...1.0 mm, and fine 1.0...0.2 mm. However, fine grinding results in a product with a high content of floury and dusty fractions, which leads to significant feed losses during crushing. Feeds obtained by grinding in the form of small fractions during feeding quickly pass through the digestive tract and are not absorbed by animals. To reduce dust emission and mechanical losses in the process of feed production using crushing, it is necessary to optimize the moisture content of the crushed components. To achieve this, it is recommended to install water injection lines in the processing raw materials or in the form of liquid solutions (salt, preservatives, bischofite, and premixes) at the enterprises. **The purpose of the work.** Improving the process of preparing leguminous crops for changing the granulometric state of the mixture during the production of compound feed, which ensures the uniformity of the components and reduces the amount of floury over-crushed fractions, increases the grinding capacity, and reduces the energy consumption of the crusher. By creating an optimal moisture content of the crushed components. **An object.** To improve the efficiency and quality of concentrated feed preparation, it is necessary to investigate the use of a roller-deck crusher with a movable deck for grinding cereal crops in the range of 2.5 to 0.15 mm, with a minimum amount of flour fractions in the technological process of grinding pre-moistened components. **Materials and methods.** One of the ways to change the properties

of grain mixtures is to moisten them. Moistening of grain is used to increase the efficiency of the technological process and reduce mechanical losses during the production of compound feed. The grain is moistened to a moisture content of 24 %, and the moistened crushed feed obtained from the crusher is used as a component for the production of other types of feed mixtures. The moisture content of the wheat grain used in the experiment was determined using a FARMPOINT moisture analyzer. The pre-moistened grain was crushed using a roller crusher. **Results and discussion.** To create an efficient and high-quality technological process for the production of fodder, the main focus is on the implementation of innovative technologies that allow for the production of products with a minimum amount of flour fractions. Experimental studies were conducted to determine the optimal parameters for introducing water into the processed raw materials using the technology of grinding with pre-moistening of grain components. To achieve this goal, we conducted research on the process of grinding grain with a moisture content of 10 %, 12 %, 14 %, 16 %, 18 %, 20 %, and 22 %, and the amount of flour produced was determined by weighing the flour on a pallet. As a result of the conducted research on the use of a roller crusher for grinding pre-moistened wheat grain under operating conditions (MKTs), it was found that the amount of flour fractions when grinding 1 ton of grain with a moisture content of 10 % is 122 kg, and when grinding grain with a moisture content of 22 %, it is three times less than 40 kg.

Keywords: wheat grain crushing, grain milling, grain crushers, grain grinding degrees, wheat grain moisture, flour fractions.

Citation. Nekhoroshev D. A., Nekhoroshev D. D., Biryukov M. A., Nekhoroshev N. D. The moisture effect on the degree of the grain crops grinding. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 530-537 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-59.

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

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

УДК 631.363:636.085.55

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА СТЕПЕНЬ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Нехорошев Д. А., доктор технических наук, профессор

Нехорошев Д. Д., кандидат технических наук, доцент

Бирюков М. А., аспирант

Нехорошев Н. Д., магистрант

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Зерно злаковых и бобовых культур входит в основную группу зерновых хлебных злаков. При небольшом количестве в объемном весе измельченного зернового продукта содержится большое количество легкоусвояемых высокопитательных веществ. На производстве комбикормов в основном применяют сорта пшеницы низкого качества, которые содержат много крахмала и мало сахаров.

На корм скоту зерно злаковых используют в дроблёном виде крупной степени измельчения [5, 6]. При мелкой степени измельчения в процессе пищеварения образуется клейкая масса, которая ухудшает процесс переваривания корма. Поэтому зерно мелкого помола в кормовых смесях используется в небольших объемах.

Измельчение – это широко применяемый способ переработки зернобобовых культур для скармливания. Твёрдая внешняя оболочка зерна при дроблении полностью разрушается и становится легко перевариваемой. Измельчённое зерно хорошо смешивается с другими видами кормов при приготовлении кормовых смесей в различных видах рационов [3, 4].

Степень измельчения злаковых культур зависит главным образом от вида животного и возраста, для которого оно приготовлено. В производстве комбикормов из зернобобовых культур необходимо учитывать три степени измельчения: крупная 2,6...1,8 мм, средняя 1,8...1,0 мм, мелкая 1,0...0,2 мм [13].

Но при мелком измельчении получается продукт с большим содержанием мучнистых, пылевидных фракций, что приводит к большим потерям кормов при дроблении. Корма в виде мелких фракций, полученные при измельчении, при кормлении быстро проходят по пищеварительному тракту и не усваиваются животными [9].

Для снижения пылевыведения и механических потерь в процессе производства комбикормов, с использованием дробления, необходимо выполнить оптимизацию влажности измельчаемых компонентов, для этого рекомендуется организовать на предприятиях линии подачи воды в перерабатываемое сырьё или в виде жидких растворов (соли, консервантов, бишофита, премиксов).

Цель работы. Определить влияние влажности зернофуражных культур на гранулометрический состав и количество мучных фракций в процессе приготовления комбикормов на вальцедековых дробилках с регулируемым режимом работы, обеспечивающей однородность компонентов, увеличение производительности и снижения расхода энергии.

Объект. Объектом исследования была принята дробилка кормов, имеющая вальцедековый измельчающий аппарат, который обеспечивает процесс измельчения путём регулирования зазора деки относительно вальца для получения оптимального гранулометрического состава без остановки процесса дробления.

Материалы и методы. Одним из способов изменения свойств зерновых смесей является увлажнение до 24 %, которое применяют с целью повышения эффективности технологического процесса и снижения механических потерь в процессе производства комбикормов. При этом влажные измельчённые корма, полученные в процессе дробления, используют в качестве компонентов для производства других видов кормовых смесей. Влажность зерна пшеницы для проведения эксперимента определялась анализатором влажности FARMPOINT. Измельчение предварительно увлажнённого зерна выполнялось на вальцедековой дробилке.

Результаты и обсуждение. Для создания эффективного и качественного технологического процесса производства кормов основное внимание уделяется внедрению инновационных технологий, позволяющих получать продукцию с минимальным количеством мучных фракций [2, 8]. Применение технологии измельчения, с использованием предварительного увлажнения зерновых компонентов, было выполнено в условиях экспериментальных исследований с выявлением оптимальных параметров подачи воды в перерабатываемое сырьё. Для реализации поставленной цели нами проводилось исследование процесса измельчения зерна влажностью 10 %, 12 %, 14 %, 16 %, 18 %, 20 %, 22 %, а количество полученной муки определялось взвешиванием муки на поддоне. В результате проведённых исследований по использованию вальцедековой дробилки для измельчения предварительно увлажнённого зерна пшеницы в условиях работы (МКЦ) было установлено, что количество мучных фракций при измельчении 1 тонны зерна влажностью 10 % равно 122 кг, а при измельчении зерна влажностью 22 % в три раза меньше – 40 кг.

Ключевые слова: дробление зерна пшеницы, измельчение зерновых культур, зернодробилки, степени измельчения зерна, влажность зерна пшеницы, мучные фракции.

Цитирование. Нехорошев Д. А., Нехорошев Д. Д., Бирюков М. А., Нехорошев Н. Д. Влияние влажности на степень измельчения зерновых культур. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 530-537. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-59.

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. Для производства комбикормов высокой биологической ценности используется сырьё растительного происхождения:

- зерновые культуры: ячмень, пшеница, кукуруза, рожь, овес, просо, сорго, тритикале;
- зернобобовые культуры: горох, нут, бобы кормовые, люпин, вика, соя, чечевица;
- технические культуры: подсолнечник, лен, арахис, кунжут, рапс, сафлор.

Уровень содержания этих культур в формировании рационов комбикормовой промышленности зависит от наличия и количества компонентов составляющих сырьевую базу предприятия. Следует отметить, что зерновая часть производимых в стране кормов достигает 70-75 %. При этом количество пшеницы в рационе не должно быть более 20 %, а у нас в России доля её в рационе достигает 40 %, в настоящее время снижается количество ячменя и бобовых культур.

Для большинства зон страны пшеница является основным источником получения обменной энергии в производимых комбикормах и имеет стабильный энергетический уровень 259 ккал в 100 г. Питательные вещества, находящиеся в зерне, хорошо перевариваются животными. Зерновые компоненты, входящие в состав комбикормов, являются основным источником обеспечения животных крахмалом, т. е. углеводами. Крахмал представляет собой основной питательный углевод растительного происхождения. Крахмальное зерно (эндосперм) состоит из двух основных компонентов: амилопектина и амилозы. Амилопектин – это вещество формирующее поверхность оболочки зерна. Амилопектин взаимодействуя с водой создаёт крахмальный клейстер. Амилоза находится внутри эндосперма зерна.

В связи с его значительным содержанием в комбикорме зерно является основным источником обменной энергии. Зерно злаковых культур обогащает комбикорм витаминами.

По общему определению комбикорм представляет собой сложную однородную смесь очищенных и измельченных до необходимой крупности различных кормовых средств и биологически активных веществ, вырабатываемую по научно-обоснованным рецептам и обеспечивающую полноценное кормление сельскохозяйственных животных.

Материалы и методы. Все технологические процессы, реализуемые на машинах для измельчения концентрированных кормов, относятся к механическим процессам с образованием большого количества, мучных фракций, которые определяются свойствами измельчаемого материала, поступающего на измельчение [1, 4]. С увеличением влажности зерна уменьшается его модуль упругости, а прочность его становится значительно ниже.

Одним из способов изменения свойств зерновых смесей является увлажнение до 24 %, которое способствует повышению эффективности технологического процесса и снижения механических потерь в процессе производства комбикормов. При этом, влажные измельченные корма, полученные при дроблении, используют для производства других видов кормов. Влажность зерна пшеницы для проведения эксперимента определялась анализатором влажности FARMPOINT. Измельчение предварительно увлажненного зерна выполнялось на вальцедековой дробилке.

Результаты и обсуждение. Технологический процесс производства рассыпных зерновых комбикормовых смесей для всех видов взрослого поголовья скота и птицы реализован на большинстве предприятий, производящих комбикорм с использованием универсального оборудования, выполняющего все основные технологические операции: первичную очистку сырья, измельчение, дозирование и смешивание компонентов [10, 11].

Производственный опыт показывает, что в малых фермерских хозяйствах по выращиванию крупного рогатого скота или свиней эффективно использовать малые кормоприготовительные цеха (МКЦ). Преимущество таких кормоцехов состоит в том, что комбикорма можно приготовить в условиях хозяйства, при наличии собственных запасов зерновых компонентов [7].

Смесь зерновых компонентов с другими высокобелковыми продуктами обладает высокой кормовой эффективностью при скормливании, поскольку в ней основные элементы белок и крахмал находятся в пропорциях соответствующих наибольшей эффективности усвояемого продукта организмом животного.

Для снижения пылевыведения и механических потерь в процессе производства комбикормов из пшеницы с использованием дробления, необходимо выполнить оптимизацию влажности измельчаемых компонентов для этого рекомендуется организовать на предприятиях линии подачи воды в перерабатываемое сырьё или в виде жидких растворов (соли, консервантов, бишофита, премиксов).

Технология подачи воды обеспечивает увлажнение измельчаемого сырья до максимальных по ГОСТу значений, сокращение потерь за счет снижения пылевыведения и увеличения выхода готовой продукции без снижения качества. Технологическая линия увлажнения в (МКЦ) должна иметь расходный бак емкостью 400 л, оборудование для подвода воды к смесителю. Ввод воды в смеситель периодического или непрерывного действия осуществляется с применением центробежных насосов, что способствует более равномерному увлажнению зерновой массы. Увлажнение зерна водой на 4...5 % производят в смесителях непрерывного действия на увлажнительной машине от 10 до 18 мин. Увлажненное зерно на 10 %...20 % производят в отволаживающих бункерах накопителях в течение 15...30 мин.

Увлажнение зерна до 28...32 % применяют с целью повышения эффективности технологического процесса и снижения механических потерь в процессе производства комбикормов, при этом влажные измельченные корма полученные на дробилке используют для экструдирования. Под действием сжатия и высокой температуры происходит физико-механическая трансформация свойств продукта.

Влажность измельченного зерна оказывает большое влияние на степень декстринизации крахмала при поджаривании. Для получения кормов хорошего качества его увлажняют до 20...25 %, а затем обжаривают.

В настоящее время перспективным направлением является использование (МКЦ) в линиях приготовления кормов, в которых используются малогабаритные дробилки (рисунок 1), реализующие в своих конструктивно-технологических схемах производительные энергоэффективные способы разрушения зерновок срезом и скалыванием.



Рисунок 1 – Роторная дробилка с подвижной декой

1 – бункер; 2 – заслонка; 3 – механизм измельчения;
4 – мешкодержатель; 5 – выгрузной лоток; 6 – рама; 7 – электродвигатель; 8 – привод
Figure 1 – Rotary crusher with movable deck
1 – hopper; 2 – flap; 3 – crushing mechanism; 4 – bag holder; 5 – discharge tray; 6 – frame;
7 – electric motor; 8 – drive

Работает устройство следующим образом. Измельчаемый материал засыпается в бункер 1, вместимостью 25 кг. Отрегулированный заслонкой 2 поток зерна поступает в дробильную камеру 3, где происходит разрушение зерна, путём раскалывания его на острых кромках деки. Измельчённый материал сыпается по выгрузному лотку 5 в тару, закреплённую на мешке держателе 4. Привод рабочих органов дробилки осуществляется трёх фазным электродвигателем 7 мощностью 2,2 кВт посредством ремённой передачи 8.

Однако на производительность вальцедековой дробилки влияет не только вид измельчаемого зернового сырья, но и его свойства [12]. Особое значение имеет его влажность. С увеличением влажности зерна уменьшается его модуль упругости, а прочность его становится значительно ниже. В результате этого создаются благоприятные условия для измельчения, а производительность дробилки практически не снижается. Но значительно снижается количество пылевидных частиц при измельчении зерновых смесей.

Для определения влажности зерновой смеси в экспериментальных исследованиях использовался прибор анализатор влажности FARMPOINT (рисунок 2).



Рисунок 2 – Анализатор влажности FARMPOINT

Figure 2 – FARMPOINT Moisture Analyzer

Зерновая смесь для проведения экспериментальных исследований по влиянию влажности зерна на среднюю степень измельчения (рисунок 3) использовалась влажностью 10 %. С последующим увлажнением до 12 %, 14 %, 16 %, 18 %, 20 %, 22 %.



Рисунок 3 – Зерновая смесь для измельчения
Figure 3 – Grain mixture for grinding

Степень эффективности процесса измельчения хлебных зерновых продуктов средней степени измельчения с влажностью исходного материала 10 %, представлена на рисунке 4.



Рисунок 4 – Зерновая смесь после измельчения
Figure 4 – Grain mixture after grinding

Количество мучных фракций после измельчения хлебных зерновых продуктов влажностью 10 %, представлено на рисунке 5.



Рисунок 5 – Гранулометрический состав после измельчения зерна
Figure 5 – Granulometric composition after grain grinding

Дальнейшие исследования по влиянию влажности на степень измельчения зерновых продуктов и количеству получаемой муки при измельчении проводилось при влажности зерна 10 %, 12 %, 14 %, 16 %, 18 %, 20 %, 22 %. Результаты исследований представлены графически на рисунке 6.

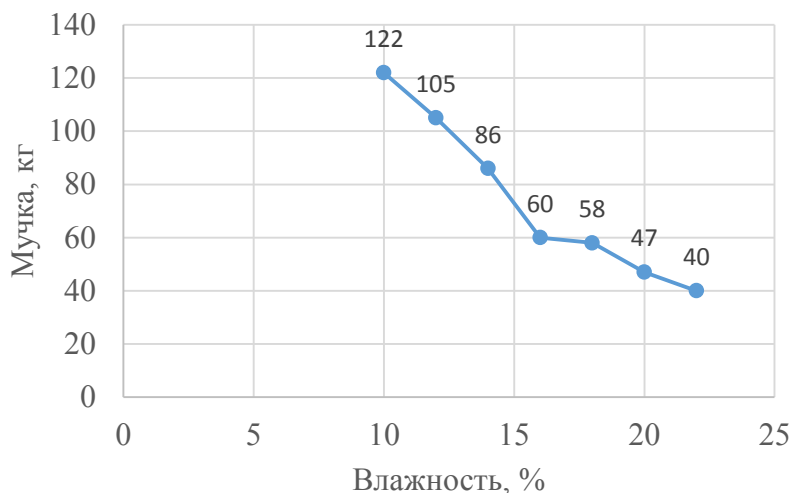


Рисунок 6 – Влияние влажности на образование мучных фракций при средней степени измельчения зерновых продуктов

Figure 6 – Influence of humidity on the formation of flour fractions at an average degree of grinding of grain products

При влажности измельчаемого материала 10 % на 1 тонну измельченного продукта приходится 122 кг мучной фракции.

При влажности измельчаемого материала 22 % на 1 тонну измельченного продукта приходится 40 кг мучной фракции.

Следует отметить, что с дальнейшим увеличением влажности измельчаемого материала до 24...26 %, количество мучных фракций стабилизируется, а процесс дробления ухудшается.

Заключение. На основании полученных результатов, можно сделать вывод о том, что на качество измельчаемого материала вальцедековой дробилкой влияет не только вид зернового сырья, но и его свойства, при этом особое значение имеет его влажность. С увеличением влажности зерна уменьшается его модуль упругости, а прочность его становится значительно ниже. В результате этого создаются благоприятные условия для измельчения, а производительность дробилки практически не снижается, но значительно снижается количество пылевидных частиц. В результате экспериментальных исследований было установлено, что количество мучных фракций при измельчении 1 тонны зерна влажностью 10 % равно 122 кг, а при измельчении зерна влажностью 22 % в три раза меньше – 40 кг.

Conclusion. Based on the results obtained, it can be concluded that the quality of the crushed material is affected not only by the type of grain raw material, but also by its properties, with moisture being of particular importance. As the grain moisture increases, its modulus of elasticity decreases, and its strength becomes significantly lower. This creates favorable conditions for crushing, and the crusher's performance remains relatively unchanged, but the amount of dust particles decreases significantly. As a result of experimental studies, it was found that the amount of flour fractions when grinding 1 ton of grain with a moisture content of 10 % is 122 kg, and when grinding grain with a moisture content of 22 %, it is three times less than 40 kg.

Библиографический список

1. Асманкин Е. М., Петров А. А., Абдюкаева А. Ф. Пути развития машин для измельчения зерновой массы. Известия ОГАУ 2017. № 2. С. 16-21.
2. Бесполденнов Р. В. и др. Исследование и моделирование взаимодействия молотков вертикальной дробилки с воздушно-зерновым слоем. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2023. № 4 (222). С. 92-98.
3. Вендин С. В., Саенко Ю. В., Семернина М. А. Дробилка для измельчения пророщенного зерна. Сельский механизатор. 2021. № 1. С. 18-20.
4. Класнер Г. Г. и др. Теоретическое обоснование процесса приготовления кормов на основе зерна сои. Научное обозрение. 2017. № 5. С. 78-83.

5. Лебедев А. Т., Искендеров Р. Р., Шумский А. С. Влияние рабочего зазора на эффективность процесса измельчения зерновых материалов в горизонтальной роторной дробилке. Наука в центральной России. 2017. № 5 (29). С. 36-43.

6. Лебедев А. Т., Искендеров Р. Р., Шумский А. С. К вопросу повышения долговечности рабочих органов роторной дробилки. Наука в центральной России. 2018. № 1 (31). С. 23-26.

7. Нехорошев Д. А. и др. Исследование процесса измельчения злаковых культур. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 1 (79). С. 410-417.

8. Федоренко И. Я., Бесподенов Р. В. Причины виброактивности молотковых зернодробилок с горизонтальным расположением барабана. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 2 (196). С. 96-104.

9. Tokach M. D., Nelssen J. L. The effects of diet particle size on animal performance. Feed manufacturing. 1995. № 2050. Pp. 156-161.

10. Healy J. B. et al. Optimum particle size of corn and hard and soft sorghum for nursery pigs. 1994. Anim. Seince. 1994. No 72. Art. 2227.

11. Marczuk A. et al. Studies of a Rotary-Centrifugal Grain Grinder Using a Multifactorial Experimental Design Method. Sustainability 2019. № 11. Art. 5362.

12. Vinod K. J. Mechanics of Hammer Mill Grinding of Corn as Related to its Mechanical Properties. The Pennsylvania State University. 1975. № 4. Pp. 16-20.

13. Good band R. D., Tokach M. D., Nelssen J. L. The effects of diet particle size on animal performance. Feed manufacturing. 1995. № 2050. Pp. 156-161.

References

1. Asmankin E. M., Petrov A. A., Abdyukaeva A. F. Ways of development of machines for grinding grain mass. Proceedings of the OGAU 2017. No 2. Pp. 16-21.

2. Bepoldenov R. V. et al. Research and modeling of interaction of the hammers of the vertical crusher with the air-grain layer. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2023. No 4 (222). Pp. 92-98.

3. Vendin S. V., Saenko Yu. V., Semernina M. A. Crusher for grinding germinated grain. Rural machine operator. 2021. No 1. Pp. 18-20.

4. Klasner G. G. et al. Theoretical substantiation of the process of preparation of fodder based on soybean grain. Scientific review. 2017. No 5. Pp. 78-83.

5. Lebedev A. T., Iskenderov R. R., Shumsky A. S. Influence of the working gap on the efficiency of the process of grinding grain materials in a horizontal rotary crusher. Science in Central Russia. 2017. No 5 (29). Pp. 36-43.

6. Lebedev A. T., Iskenderov R. R., Shumsky A. S. On the issue of increasing the durability of the working bodies of a rotary crusher. Science in Central Russia. 2018. No 1 (31). Pp. 23-26.

7. Nekhoroshev D. A. et al. Research of the Process of Grinding Cereal Crops. Izvestiya of the Nizhny Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No 1 (79). Pp. 410-417.

8. Fedorenko I. Ya., Bepoldenov R. V. The reasons of vibration activity of hammer grain crushers with horizontal arrangement of the drum. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2021. No 2 (196). Pp. 96-104.

9. Tokach M. D., Nelssen J. L. The effects of diet particle size on animal performance. Feed manufacturing. 1995. № 2050. Pp. 156-161.

10. Healy J. B. et al. Optimum particle size of corn and hard and soft sorghum for nursery pigs. 1994. Anim. Seince. 1994. No 72. Art. 2227.

11. Marczuk A. et al. Studies of a Rotary-Centrifugal Grain Grinder Using a Multifactorial Experimental Design Method. Sustainability 2019. № 11. Art. 5362.

12. Vinod K. J. Mechanics of Hammer Mill Grinding of Corn as Related to its Mechanical Properties. The Pennsylvania State University. 1975. № 4. Pp. 16-20.

13. Good band R. D., Tokach M. D., Nelssen J. L. The effects of diet particle size on animal performance. Feed manufacturing. 1995. № 2050. Pp. 156-161.

Информация об авторах

Нехорошев Дмитрий Артёмович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект, Университетский, 26.), e-mail: dmitr-nech@yandex.ru

Нехорошев Дмитрий Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры, ФРБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26.), e-mail: ndd.volgau.@yandex.ru

Бирюков Максим Андреевич, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26.), e-mail: mak.biruckow 2012@yandex.ru

Нехорошев Никита Дмитриевич, магистр, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26.), e-mail: nikita.nech@yandex.ru

Authors' Information

Nekhoroshev Dmitry Artemovich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26.), e-mail: dmitr-nech@yandex.ru

Nekhoroshev Dmitry Dmitrievich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26.), e-mail: ndd.volgau.@yandex.ru

Biryukov Maksim Andreevich, Postgraduate Student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26.), e-mail: mak.biruckow 2012@yandex.ru

Nekhoroshev Nikita Dmitrievich, Undergraduate Student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26.), e-mail: nikita.nech@yandex.ru

THE COMPREHENSIVE DIAGNOSTICS OF THE IRRIGATION CHANNELS TECHNICAL CONDITIONS USING THE MODERN GEOPHYSICAL AND LABORATORY METHODS

¹Pakhomov A. A., ²Kovalenko I. A.

¹Volgograd State Agrarian University

²Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: Kovalenko-i@vfanc.ru

Received 20.02.2026

Submitted 26.03.2026

The research was conducted under State Assignment No. 125020401361-1.

Summary

The article addresses the critical deterioration of hydraulic structures in Southern Russia. A comprehensive survey of six irrigation systems in the Lower Volga region using ground-penetrating radar, ultrasonic testing, and sclerometry revealed a decrease in concrete strength to 16-35 MPa and a coefficient of variation of 25-60 %. A methodology for selecting restoration technologies has been developed for optimal design of repair works.

Abstract

Introduction. The article addresses the pressing problem of critical physical deterioration of hydraulic structures within the irrigation complex of Southern Russia. Based on comprehensive field surveys of six irrigation systems in the Lower Volga region using modern geophysical (ground-penetrating radar) and mechanical non-destructive methods (ultrasonic testing, sclerometry), a detailed quantitative assessment of concrete lining degradation has been obtained for the first time. It was established that the average concrete strength decreased to 16-35 MPa with a loss of 20-60 % from the design grade, while the coefficient of variation in strength reaches 25-60 %, indicating critical heterogeneity of the material structure, confirmed by the detection of internal voids and delamination's. A typology of defects has been systematized, conditioned by the specific natural-climatic and operational factors of the region. The main result of the study is the development of a scientifically grounded, differentiated methodology for selecting modern restoration technologies (shotcrete, bentonite mats, injection compounds, sprayable polymers, geomembranes), based on the integration of technical diagnostics data, analysis of the predominant type of damage, and techno-economic comparison. The proposed algorithmic approach enables a transition from empirical repairs to optimal design of restoration works, which is key to developing renovation programs for irrigation infrastructure aimed at minimizing water losses and improving operational conditions.

Keywords: irrigation systems, irrigation canals, technical diagnostics of irrigation canals, non-destructive testing, concrete degradation, and waterproofing technologies.

Citation Pakhomov A. A., Kovalenko I. A. The comprehensive diagnostics of the irrigation channels technical conditions using the modern geophysical and laboratory methods. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 538-548 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-60.

Authors' contributions. All authors of this study took direct part in planning, execution, or analysis of this research. All authors have read and approved the final version presented.

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

УДК 631.67:626.82+699.92

КОМПЛЕКСНАЯ ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ЛАБОРАТОРНЫХ МЕТОДОВ

¹Пахомов А. А., доктор технических наук, профессор

²Коваленко И. А., инженер-исследователь

¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

²ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН»
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследование выполнено в рамках государственного задания 125020401361-1.

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме критического физического износа гидротехнических сооружений мелиоративного комплекса Юга России. На основе комплексного натурного обследования шести оросительных систем Нижнего Поволжья с применением современных геофизических (георадарное зондирование) и механических неразрушающих методов (ультразвуко-

вая дефектоскопия, склерометрия) впервые получена детальная количественная оценка деградации бетонных облицовок. Установлено, что средняя прочность бетона снизилась до 16-35 МПа при потере 20-60 % от проектной марки, а коэффициент вариации прочности достигает 25-60 %, что свидетельствует о критической неоднородности структуры материала, подтвержденной выявлением внутренних пустот и расслоений. Систематизирована типология дефектов, обусловленная специфическими природно-климатическими и эксплуатационными факторами региона. Главным результатом исследования является разработка научно обоснованной дифференцированной методики выбора современных технологий восстановления (торкрет-бетон, бентонитовые маты, инъекционные составы, напыляемые полимеры, геомембраны), основанной на интеграции данных технической диагностики, анализа преобладающего типа повреждений и технико-экономического сравнения. Предложенный алгоритмизированный подход позволяет перейти от эмпирических ремонтов к оптимальному проектированию восстановительных работ, что является ключевым для разработки программ реновации мелиоративной инфраструктуры, направленных на минимизацию водопотерь и повышение её эксплуатации.

Ключевые слова: системы орошения, оросительные каналы, техническая диагностика оросительных каналов, неразрушающий контроль, деградация бетона, гидроизоляционные технологии.

Цитирования. Пахомов А. А., Коваленко И. А., Комплексная диагностика технического состояния оросительных каналов с применением современных геофизических и лабораторных методов. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 538-548. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-60.

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. Мелиоративный комплекс южных регионов России, сформированный в 60-80-х годах XX века, исторически является основой устойчивого сельскохозяйственного производства в зонах рискованного земледелия. Однако к настоящему времени значительная часть инфраструктуры, в частности, каналы магистральной и распределительной сети с бетонным покрытием, достигли предельных значений срока эксплуатации или превысили их, что свидетельствует об их глубоком физическом и моральном износе [1]. Деградация гидроизоляционного покрытия каналов приводит к системным негативным последствиям: колоссальным непроизводительным потерям воды на фильтрацию, подтоплению и вторичному засолению прилегающих сельскохозяйственных и селитебных территорий, снижению общетехнической надежности и росту аварийности гидромелиоративных систем, потери по которым, по оценкам достигают 30-50 % от объема водоподдачи [2, 3]. На фоне усиливающегося водного дефицита в бассейнах Волги и Дона, обусловленного климатическими изменениями, а также в контексте стратегической цели обеспечения продовольственной безопасности, оперативная и эффективная реконструкция канальной инфраструктуры становится задачей общенационального масштаба [4]. Традиционные подходы к ремонту, такие как замена разрушенных бетонных плит или устройство «глиняного замка», характеризуются высокой ресурсоемкостью, длительными сроками производства работ, значительным экологическим ущербом и, что наиболее важно, зачастую недолговечностью ввиду повторного проявления тех же деструктивных процессов [5]. Современный рынок строительных материалов и технологий предлагает широкий спектр альтернативных решений для гидроизоляции и восстановления конструкций: от высокоадгезивных обмазочных и напыляемых полимерных составов (полимочевины, жидкой резины) до рулонных материалов, таких как полимерные геомембраны, бентонитовые маты и технологий нанесения модифицированного торкрет-бетона [6]. Несмотря на потенциал, их широкое внедрение в практику мелиоративного строительства сдерживается дефицитом объективных сравнительных данных об эксплуатационной эффективности, долговечности и экономической целесообразности в специфических природно-климатических и инженерно-геологических условиях Нижнего Поволжья. Существующие публикации, как правило, ограничиваются либо лабораторными испытаниями материалов, либо описанием единичного случая применения. Научный пробел заключается в отсутствии методик, которые бы напрямую связывали результаты комплексной количественной диагностики фактического состояния сооружений с алгоритмизированным выбором оптимальной восстановительной технологии для конкретных условий. Целью настоящего исследования являлось проведение комплексной сравнительной оценки технического состояния типовых оросительных систем

Нижнего Поволжья на основе современных методов диагностики и, на основании выявленных закономерностей деградации, разработка научно обоснованной дифференцированной методики выбора технологий гидроизоляции для их восстановления.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи, провести натурное обследование и инструментальную диагностику состояния бетонных облицовок и грунтовых оснований каналов на шести типовых оросительных системах региона.

Количественно оценить ключевые параметры деградации, снижение прочности бетона, однородность структуры, глубину и характер дефектов.

Провести типизацию основных видов повреждений и установить причинно-следственные связи их возникновения с природно-климатическими и эксплуатационными факторами. На основе анализа типологии дефектов и условий эксплуатации выполнить сравнительный анализ применимости современных гидроизоляционных технологий.

Разработана блок-схема выбора технологии восстановления ГТС на основе диагностических критериев и технико-экономической оценки.

Научная новизна работы заключается в комплексном применении современных геофизических, георадарных и механических неразрушающих методов для масштабной оценки состояния мелиоративных систем, получении количественных данных о степени и характере их износа, а также в разработке дифференцированного подхода к выбору технологий реконструкции, основанного на строгой диагностике и формализованном алгоритме, а не на эмпирических решениях.

Материалы и методы исследований. Объектами натурных исследований выступили шесть оросительных систем, расположенных в ключевых сельскохозяйственных регионах Нижнего Поволжья и характеризующихся различной степенью износа, возрастом и природными условиями (рисунок 1).



Рисунок 1 – Процент фактического физического износа оросительных систем южного региона Европейской части России

Figure 1 – Percentage of actual physical wear of irrigation systems in the southern region of the European part of Russia

Нижне-Донская ОС (Ростовская обл., ввод в 1952 г.). Представляет собой крупную систему с комбинированным водозабором. Обследован участок магистрального канала с монолитной бетонной облицовкой.

ОС «Коммунар» (Астраханская обл., Камызякский р-н, 1973 г.). Типичная система в дельте Волги с высокой обводненностью территории.

ОС «0-71» (Астраханская обл., Камызякский р-н, 1973 г.). Аналогична системе «Коммунар», находится в неудовлетворительном состоянии.

Заволжская ОС (Волгоградская обл., Николаевский р-н, 1968 г.). Система с механическим водоподъемом из Волгоградского водохранилища.

Генераловская ОС (Волгоградская обл., Котельниковский р-н, 1959 г.). Характерный пример законсервированной и практически полностью разрушенной системы.

Палласовская ОС (Волгоградская обл., г. Палласовка, 1961 г.). Крупная обводнительно-оросительная система.

Для всех объектов характерны схожие параметры каналов трапецеидального сечения: длина опытного участка 250 м-300 м, ширина по дну 2,0-6,0 м, глубина 1,2-2,8 м, заложение откоса 1:1,5. Проектные характеристики бетонной облицовки: толщина 0,15 м, класс бетона по прочности В22,5 (марка М300, что соответствует нормативной прочности при сжатии 22,5 МПа [14]), морозостойкость не ниже W10. Грунты оснований – преимущественно суглинки и супеси. Уровень грунтовых вод (УГВ) варьирует от 1,5-2,5 м в Волгоградской и Ростовской областях до 0,4-0,7 м в Астраханской области. Климат региона резко континентальный, с жарким засушливым летом, средняя температура июля +24...+26 °С, холодной зимой средняя температура января -8...-10 °С и значительными годовыми до 70-80 °С и суточными амплитудами температур.

Методы исследований. Для обеспечения всесторонней оценки состояния применен комплекс взаимодополняющих методов.

Визуально-инструментальный осмотр. Фиксация макродефектов, ширины раскрытия трещин, площади сколов, наличия растительности, смещений плит, признаков фильтрации. Обследовано суммарно более 1,5 км каналов.

Механический неразрушающий контроль прочности. Измерение прочности бетона на сжатие проводилось методом ударного импульса с использованием склерометра ИПС-МГ4.03 в соответствии с ГОСТ 22690-2015 [14]. Замеры проводились в сериях по 15-25 измерений на каждом участке общий объем выборки > 900 замеров. Результаты обрабатывались методами математической статистики с вычислением среднего значения ($\bar{R}$), стандартного отклонения (σ) и коэффициента вариации (V) в программной среде STATISTICA [12].

Ультразвуковая дефектоскопия (УЗД). Для оценки однородности, выявления внутренних пустот, трещин и определения динамического модуля упругости использовался ультразвуковой прибор «Пульсар-1.2» по методике ГОСТ 17624-2012. Измерялась скорость прохождения ультразвуковой волны (УЗВ).

Георадарное зондирование (ГЛ). Исследование внутренней структуры бетонного покрытия и грунтового основания, выявление зон ослабления, пустот и определение УГВ проводилось с помощью георадара «ОКО-3» с антенными блоками АБ-150/400 и АБ-1200 МГц. Метод основан на анализе отражения электромагнитных импульсов от границ раздела сред с разной диэлектрической проницаемостью [8, 9, 10]. Обследовано более 500 погонных метров.

Разрушающий контроль (лабораторный). Для верификации данных неразрушающих методов с отобранных участков были взяты 42 керны диаметром 63-65 мм. Испытания на одноосное сжатие до разрушения проводились на универсальной испытательной машине МИМ.4-1000-2.1-12.1.1-2.1.1-1.2 в лаборатории ФНЦ агроэкологии РАН.

На основе натурных данных рассчитывался комплексный показатель эксплуатационной надежности по техническому состоянию ($\Xi_{\text{техн}}$) согласно методике, изложенной в [11, 12, 13], с учетом прочности, сплошности и геометрической целостности облицовки. Проводился дисперсионный анализ данных.

Результаты и их обсуждение. Результаты инструментальных обследований, сведенные в таблицу 1, и свидетельствуют о критическом состоянии большинства обследованных объектов.

Таблица 1 – Сводные результаты оценки технического состояния бетонных облицовок оросительных систем

Table 1 – Summary of the technical condition assessment of irrigation system concrete linings

Наименование ОС/ год ввода / Name of the Irrigation System/Year of Commissioning	Нижне- Донская / Nizhne- Donskaya (1952)	Заволж- ская / Zavolzh- skaya (1968)	«Коммунар» / Kommunar (1968)	Генераловская / Generalovskaya (1959)	«0-71» (1973)	Палласовская / Pallasovskaya (1961)
Средняя измеренная прочность, Мпа % от проектной (B22.5/M300)* / Average measured strength, MPa % of the design value (B22.5/M300)*	21,8 / ~73 %	33,04 / ~100 %	23,1 / ~77 %	16,5-31,4 / 55-100 %	17,0-23,4 / 57-78 %	18,05-37,93 / 60-100 %
Коэффициент вариации прочности, V, % / Coefficient of strength variation, V, %	5,0	1,20	8,60	1,8-59,6	12,65-40,81	12,5-45,9
Преоблада- ющий тип дефектов (по результатам УЗД, ГЛ, визуально) / Predominant type of defects (according to ultrasound, GL, and visual inspection)	Сквозные уса- дочные тре- щины, расхож- дение плит по швам, внут- ренние рас- слоения с глубины 10 см (рис. 2а) / Through shrinkage cracks, plate separation at seams, internal delamination from a depth of 10 cm (Fig. 2a)	Поверх- ностные и подповерх- ностные трещины, локальное разрушение швов, кар- бонизация / Surface and subsurface cracks, local seam failure, and carboniza- tion	Разрушение откосов, раз- мыв грунто- вого основа- ния, глубокие внутренние трещины (с 25 см) / Slope erosion, ground base erosion, deep internal cracks (25 cm)	Полное разру- шение участ- ков, оголение и коррозия ар- матуры, про- валы, оползни откосов / Com- plete destruc- tion of sections, exposure and corrosion of rebar, failures, and slope land- slides	Сетка тре- щин, карбо- низация бетона, расслоение покрытия, разрушение швов / Crack net- work, con- crete car- bonization, coating delamina- tion, and joint failure	Деформации шлюзов, кор- розия армату- ры, крупные пустоты в теле и основании (до 0,5 м) (рис. 2б) / De- formation of the locks, corrosion of the rein- forcement, and large voids in the body and base (up to 0.5 m) (Fig. 2b)
Расчетная эксплуатац- онная надеж- ность (техн. состояние), Э _{техн} , % / Estimated operational reliability (technical condition), E _{techn} , %	48	51	48	10-25	20	15-63
Оценка филь- трационных потерь / Estimation of filtration losses	Высокие. Под- тверждено георадаром: зоны высокой влажности под облицовкой / High. Con- firmed by GPR: areas of high humidity under the cladding	Умеренные. Относи- тельно луч- шее состоя- ние, но есть очаги филь- трации / Moderate. Relatively better condition, but there are filter pockets	Критически высокие. УГВ 0,6-0,7 м, прямые про- течки / Criti- cally high. UGW 0.6-0.7 m, direct leaks	Катастрофиче- ские. Система не функциони- рует, массовые размывы / Catastrophic. The system is not functioning, and there are widespread floods	Высокие. Подтвер- ждено низ- кой прочно- стью кернов (100-135 кН/см ²) / High. Confirmed by low core strength (100-135 kN/cm ²)	Высокие. Под- топление кон- струкций, ак- тивная филь- трация в зонах пустот / High. Flooding of structures, active filtration in void areas

Анализ таблицы 1 и радарограмм (рисунок 2) позволяет сделать следующие выводы: прогрессирующее и неравномерное снижение прочности на большинстве ОС, кроме относительно «молодой» Заволжской, прочность бетона снизилась на 25-45 % от проектной. На Генераловской и частично на ОС «0-71» прочность приближается к критическим значениям 15-17 МПа. Аномально высокие значения на некоторых участках Заволжская, Палласовская ОС требуют осторожной интерпретации: они могут отражать карбонизацию поверхностного слоя, которая локально упрочняет бетон, но способствует коррозии арматуры, или свидетельствовать о первоначальной неоднородности.

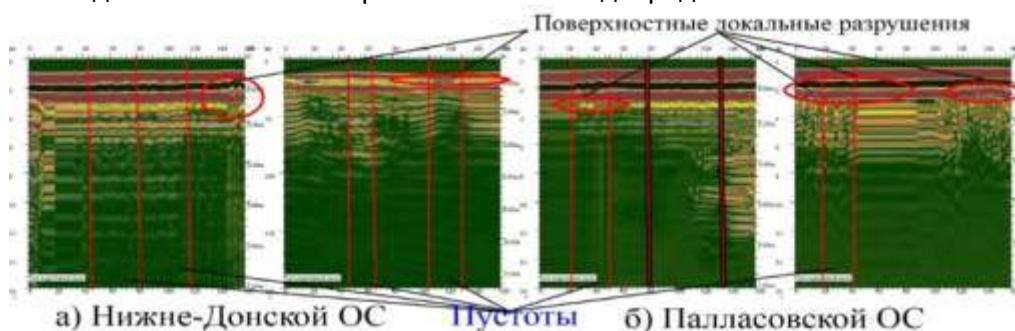


Рисунок 2 – Результаты георадарного зондирования: а) радарограмма участка Нижне-Донской ОС с аномалиями, б) радарограмма Палласовской ОС с четкой аномалией, соответствующей пустоте в основании под облицовкой.

Figure 2 – Ground-penetrating radar survey results: a) Radargram of the Nizhne-Donskaya irrigation system section with anomalies, b) Radargram of the Pallasovskaya irrigation system with a distinct anomaly corresponding to a void in the foundation beneath the lining.

Коэффициент вариации прочности (V) в диапазоне 25-60 % при норме для конструкционного бетона до 15-18 %, является ключевым индикатором неравномерной деградации. Высокие значения V прямо коррелируют с данными УЗД и георадара о внутренних расслоениях и пустотах. Это следствие вариативности микроклиматических условий по длине канала. Переменное увлажнение, затененность, воздействие солнечной радиации и химического состава воды.

Данные УЗД и георадара подтверждают, что деградация носит не поверхностный, а объемный характер. Внутренние расслоения, пустоты и микротрещины, выявленные на глубине 10-50 см, резко снижают несущую способность облицовки и являются скрытыми очагами будущих сквозных разрушений, что согласуется с выводами других исследований о долговременной деградации бетона в гидротехнических сооружениях.

Расчетные значения надежности по техническому состоянию 48 % для работающих систем и 10-25 % для аварийных находятся ниже приемлемого порога > 80 %, что официально классифицирует сооружения как «ограниченно работоспособные» или «неработоспособные» [15]. Лучшее состояние Заволжской ОС может объясняться не только меньшим возрастом, но и, вероятно, более качественным исходным бетоном и менее агрессивной водной средой. Системы в Астраханской области «Коммунар», «0-71» демонстрируют ярко выраженное влияние высокого уровня минерализованных грунтовых вод, приводящее к комплексным повреждениям. На основе обобщения результатов сформирована типология основных дефектов, каждый из которых имеет четкую причинно-следственную связь с условиями эксплуатации в Нижнем Поволжье.

Тип А. Сквозные усадочные и температурные трещины в плитах. Наиболее распространены. Ширина раскрытия до 20 мм. Причина: Циклические температурно-влажностные воздействия при резко континентальном климате, недостаточная сетка деформационных швов и низкая остаточная морозостойкость бетона.

Тип Б. Разрушение швов между плитами. Наблюдается на 80 % объектов. Причина: Эрозия и старение уплотняющего материала битум, мастика, динамические нагрузки от потока воды, прорастание растительности, отсутствие обслуживания.

Тип В. Поверхностная деструкция: шелушение, карбонизация. Проявляется на участках с переменным уровнем воды (зона переменного уровня). Причина: кристаллизация солей в порах бетона при испарении минерализованной воды, попеременное замораживание-оттаивание насыщенного поверхностного слоя.

Тип Г. Коррозия арматуры с отколом защитного слоя бетона. Характерен для систем с высокой минерализацией воды Астраханской обл. Причина: карбонизация бетона и проникновение хлоридов к арматуре, ведущее к ее электрохимической коррозии и расклинивающему давлению продуктов ржавления, превышающему прочность бетона на растяжение.

Тип Д. Фильтрационные провалы и суффозионные деформации основания. Наиболее опасный дефект, ведущий к полному разрушению – Генераловская, Палласовская ОС. Причина: неконтролируемая фильтрация через трещины Тип А и разрушенные швы Тип Б с последующим выносом мелких частиц грунта суффозия, ведущая к образованию пустот под облицовкой и потере устойчивости.

На основании установленной типологии дефектов и условий эксплуатации проведен анализ применимости современных технологий. Критериями выступили тип решаемой проблемы, долговечность, технологичность, стоимость жизненного цикла и устойчивость к местным климатическим и химическим воздействиям (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнительный анализ применимости современных технологий гидроизоляции для выявленных типов дефектов
Table 2 – Comparative analysis of the applicability of modern waterproofing technologies for the identified defect types

Технология / Материал / Technology / Material	Целевой тип дефекта / Сценарий применения / Target defect type / Application scenario	Ключевые преимуще- ства для условий Нижнего Поволжья / Key advantages for the Lower Volga region	Ограничения и риски / Limitations and risks	Ориентировочная долговечность / Экономический комментарий / Estimated durability / Economic Commentary
1	2	3	4	5
Торкретирование слоем модифицирован- ного фибробетона (толщ. 50-80 мм) / Shot- crete with a layer of modified fiber concrete (thick- ness 50-80 mm)	Тип А, В, Г. Вос- становление не- сущего слоя при массовых трещи- нах, сколах, эрозии поверхности. Со- здание нового мо- нолитного покры- тия / Type A, B, and G. Restoration of the bearing layer in case of widespread cracks, chips, and surface erosion. Creation of a new monolithic coating	Высокая адгезия к старому бетону, монолитность (нет швов), морозостой- кость, возможность армирования фиб- рой для подавления усадочных трещин [9]. Высокая ремон- топригодность / High adhesion to old con- crete, monolithic structure (no seams), frost resistance, and the possibility of fiber reinforcement to sup- press shrinkage cracks [9]. High repairability	Требуется тщатель- ной подготовки (очистка, насечка), квалификации оператора, про- ведения работ при положительных температурах. Высокая ма- териалоемкость / Requires careful preparation (clean- ing, notching), operator qualifica- tions, and work at positive tempera- tures. High material consumption	Высокая (25-40 лет). Удельная стоимость: 4500-7000 руб./м ² (материалы + рабо- та). Скорость работ выше замены плит в 3-4 раза. Опти- мально для капи- тального ремонта протяженных участ- ков / High (25-40 years). Unit cost: 4500-7000 RUB/m ² (materials + work). The speed of work is 3-4 times higher than that of replacing slabs. Optimal for major repairs of long sections
Бентонитовые маты (ГГЕ) / Bentonite mats (GGG)	Тип Д, Б. Гидро- изоляция земля- ных каналов; про- тивофильтрацион- ный экран под ре- монтную стяжку; ремонт зон актив- ной фильтрации с выносом грунта / Type D, B. Water- proofing of earthen channels; anti-filtration screen under the repair screed; repair of active filtration zones with soil removal	Самозалечивание при проколах за счет набухания бентони- та – ключевое пре- имущество для не- устойчивых основ- аний [8]. Устойчи- вость к циклам «сухо-влажно». Эко- логическая инерт- ность / Self-healing during punctures due to bentonite swelling is a key advantage for unstable substrates [8]. Resistance to dry- wet cycles. Environmen- tal inertness	Требуют защиты от механических повреждений. Критиче- ски важны правильная укладка и анкер- овка. Эффектив- ность падает в сильно минерали- зованной воде / They require pro- tection from me- chanical damage. Proper installation and anchoring are critical. Efficiency decreases in highly mineralized water	Средневысокая (20+ лет). Стоимость: 800-1200 руб./м ² . Эффективны для устранения филь- трации через осно- вание. Снижают объем земляных работ / Medium-high (20+ years). Cost: 800-1200 RUB/m ² . Effective for eliminat- ing filtration through the base. Reduce the amount of excavation work

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5
Инъекционные составы (полиуретановые/акрилатные гели) / Injection compounds (polyurethane/acrylate gels)	Тип А, Б, Д (точечно). Герметизация сквозных трещин, заполнение пустот за облицовкой, цементация фильтрационных путей / Type A, B, D (pointed). Sealing through cracks, filling voids behind the cladding, and cementation of filtration paths	Возможность дистанционного ремонта без вскрытия конструкций. Высокая проникающая способность. Возможность остановить активную протечку (гидрореактивные полиуретаны) / The ability to repair remotely without opening structures. High penetrating power. The ability to stop active leakage (hydroreactive polyurethanes)	Эффективность зависит от точности диагностики. Высокая стоимость материалов и оборудования. Требуется высокой квалификации / Efficiency depends on the accuracy of diagnostics. High cost of materials and equipment. Requires high qualifications	Средняя (10-15 лет). Стоимость: от 3000 руб./п. м. трещины. Оптимальны для точечного ремонта критических участков (шлюзы, сопряжения) / Average (10-15 years). Cost: from 3,000 rubles per linear meter of crack. Optimal for spot repair of critical areas (gates, interfaces)
Напыляемые полимерные покрытия (полиуретан, жидкая резина) / Sprayed polymer coatings (polyurea, liquid rubber)	Тип А, Б, В. Создание бесшовного эластичного покрытия на сложных поверхностях. Защита от коррозии / Type A, B, and C. Creating a seamless, elastic coating on complex surfaces. Protection against corrosion	Высокая скорость нанесения, абсолютная водонепроницаемость, эластичность (следит за деформациями), химическая стойкость [7]. Отсутствие швов / High application speed, absolute water resistance, elasticity (follows deformations), and chemical resistance [7]. No seams	Высочайшие требования к подготовке поверхности (абсолютная сухость, прочность). Чувствительность к качеству смешения. Очень высокая начальная стоимость / Highest requirements for surface preparation (absolute dryness, strength). Sensitivity to mixing quality. Very high initial cost	Высокая (25+ лет). Стоимость: 2500-4000 руб./м². Высокие капитальные затраты окупаются долгим сроком службы и скоростью. Экономически оправдано на объектах сложной формы / High (25+ years). Cost: 2500-4000 RUB/m². High capital costs are recouped by long service life and speed. Economically justified on objects of complex shape
Полимерные геомембраны (ПВХ, ТПО) / Polymeric geomembranes (PVC, TPO)	Тип Д, Б. Капитальная гидроизоляция при полной реконструкции канала. Защита от фильтрации в грунтовых каналах / Type D, B. Capital waterproofing during complete reconstruction of the canal. Protection against filtration in ground channels	Высокая химическая стойкость, прочность на прокол, отработанная технология сварки швов. Длительный срок службы / High chemical resistance, puncture resistance, and proven seam welding technology. Long service life	Необходимость в защитном слое от УФ-излучения и механических повреждений. Риск повреждения при монтаже / The need for a protective layer against UV radiation and mechanical damage. Risk of damage during installation	Очень высокая (30-50 лет). Стоимость: 600-1000 руб./м² (мембрана) + затраты на защитный слой. Наиболее капитальное и долговечное решение / Very high (30-50 years). Cost: 600-1000 RUB/m² (membrane) + costs for the protective layer. The most durable and long-lasting solution

Анализ показывает, что не существует универсальной технологии. Например, при преобладании Типа Д инъектирование провалов может временно стабилизировать основание, но для долговременного решения необходим либо бентонитовый экран, либо полная реконструкция с геомембраной. Для Типов А и Б при сохранной несущей способности эффективна полиуретановая, а при общей потере прочности – торкретирование. На основе проведенного анализа предложена схема принятия решения, представленная в виде алгоритма (рисунок 3).

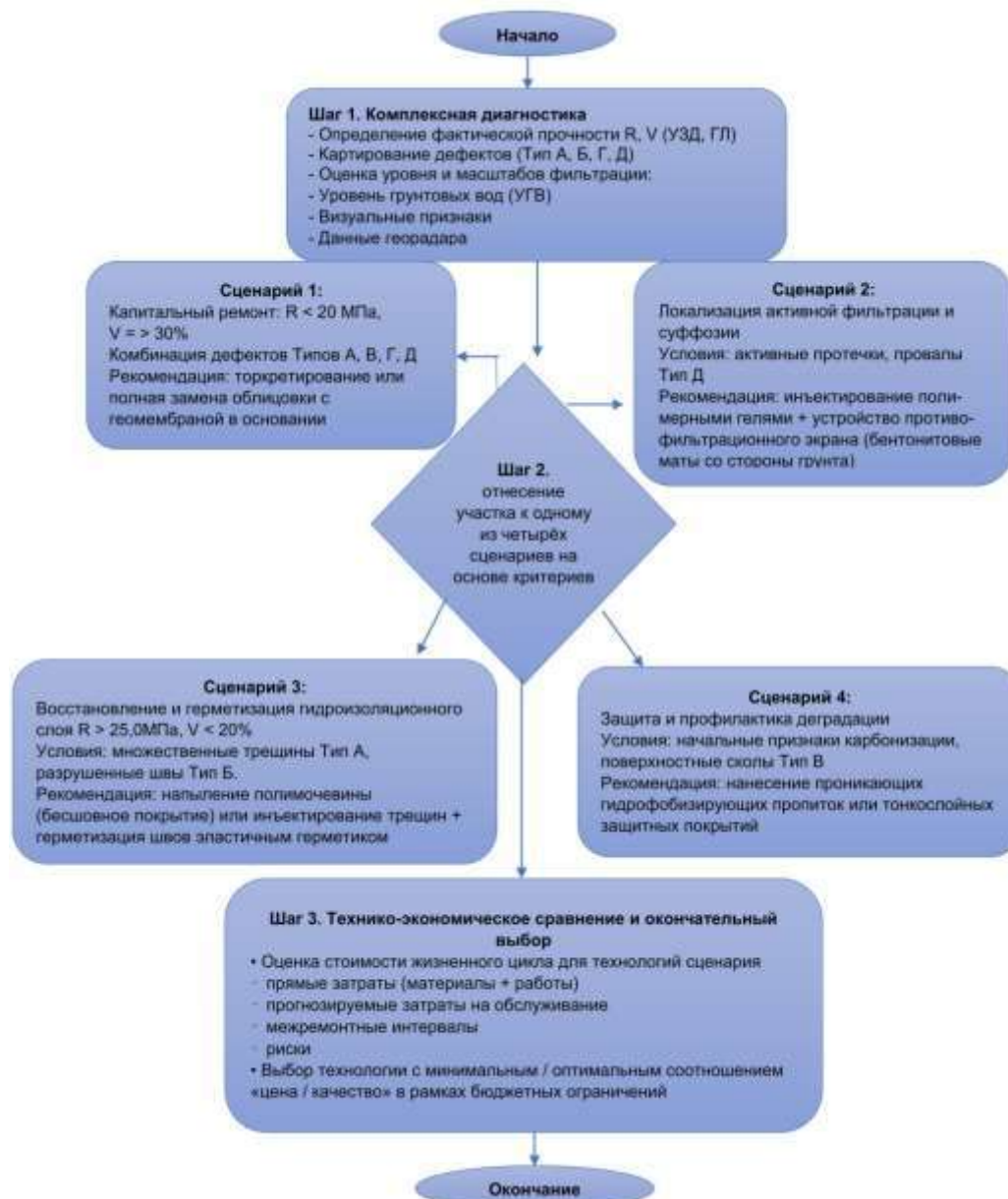


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма дифференцированного выбора технологии восстановления гидроизоляции каналов на основе результатов комплексной диагностики
Figure 3 – Flowchart of the algorithm for the differentiated selection of channel waterproofing restoration technology based on comprehensive diagnostic results

Заключение. Комплексная диагностика технического состояния оросительных систем Нижнего Поволжья с использованием ультразвуковых, георадарных и механических методов подтвердила их критическое техническое состояние. Установлено, что физический износ бетонных облицовок характеризуется не только снижением средней прочности до 16-35 МПа, но и критической неоднородностью структуры коэффициент прочность $V = 25-60\%$, что является прямым следствием глубинных существующих дефектов, таких как расслоение и образование пустот.

Для рассматриваемого региона систематизирована типология дефектов А-Д, напрямую связанная с агрессивными факторами: циклическим замораживанием-оттаиванием, воздействием минерализованных вод, эрозией и отсутствием системного обслуживания. Установлено, что наиболее опасными являются комбинации сквозных трещин Тип А и разрушения швов Тип Б, приводящие к фильтрационным провалам Тип Д. Проведено сравнительное обоснование применимости пяти современных технологий восстановления. Доказано, что выбор должен быть строго дифференцирован: торкретбетон оптимален для капитального восстановления не-

сущей способности; бентонитовые маты – для борьбы с суффозией в основании; инъекционные технологии – для точечной ликвидации протечек; напыляемые полимеры – для создания бесшовного герметичного барьера, геомембраны – для капитальной реконструкции.

Практическим результатом исследования является разработанная методика выбора технологии гидроизоляции, интегрирующая результаты количественной диагностики, типологию дефектов и критерии экономической эффективности. Методика формализована в виде блок-схемы, позволяющего перейти от субъективных оценок к научно обоснованному проектированию восстановительных работ по выбранному сценарию повышения эффективности гидромелиоративных мероприятий.

Conclusion. Comprehensive diagnostics of irrigation systems in the Lower Volga region using ultrasonic, ground-penetrating radar, and mechanical methods confirmed their critical technical condition. It was established that the physical deterioration of concrete linings is characterized not only by a reduction in average strength to 16-35 MPa but also by critical structural heterogeneity, with a strength coefficient of variation $V = 25-60\%$. This heterogeneity is a direct consequence of deep-seated defects such as delamination and void formation, identified by ground-penetrating radar.

For the region, a defect typology (Types A-D) has been systematized, directly linked to a complex of aggressive factors: cyclic freeze-thaw action, exposure to mineralized waters, erosion, and lack of systematic maintenance. It was determined that the most hazardous conditions arise from combinations of through cracks (Type A) and joint deterioration (Type B), leading to seepage failures (Type D). A comparative assessment of the applicability of five modern restoration technologies was carried out. It was demonstrated that technology selection must be strictly differentiated: shotcrete is optimal for comprehensive restoration of load-bearing capacity; bentonite mats are effective for combating suffusion in the foundation; injection technologies are suitable for localized leak elimination; spray-applied polymers provide seamless waterproof barriers; and geomembranes are recommended for major reconstruction projects.

The practical outcome of the study is a developed methodology for technology selection that integrates quantitative diagnostic results, defect typology, and economic efficiency criteria. The methodology has been formalized as a flowchart algorithm, enabling a transition from subjective assessments to scientifically grounded design of repair works for various engineering scenarios, thereby enhancing the efficiency of hydraulic reclamation measures.

Библиографический список

1. Рамазанова Т. В., Омариёв Ш. Ш., Караева Л. Ю. Значение и проблемы мелиорации сельскохозяйственных земель Республики Дагестан. Проблемы и перспективы развития сельского хозяйства и сельских территорий: сборник статей VIII Международной научно-практической конференции. Саратов, 2019. С. 104-106.
2. Лытов М. Н. Компоненты экологической модели повторно осваиваемых мелиорированных земель юга России. Известия НВ АУК. 2022. № 2 (66). <https://cyberleninka.ru/article/n/komponenty-ekologicheskoy-modeli-povtorno-osvaivaemyh-meliorirovannyh-zemel-yuga-rossii>
3. Сейидова М., Нурмаммедова Г., Халлыев О. Как эффективно бороться с засолением почвы. Вестник науки. 2023. Т. 3. № 6 (63). С. 1000-1004.
4. Баев О. А., Косиченко Ю. М., Инновационные способы ремонта бетонных водопроводящих сооружений композиционными материалами. Экология и водное хозяйство. 2021. № 1. <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-sposoby-remonta-betonnyh-vodoprovodyaschih-sooruzheniy-kompozitsionnymi-materialami>.
5. Suprun V., Kovalenko I., Ustinova V. The GPR survey method in combination with destructive testing methods for the hydraulic structures technical condition studying. Magazine of Civil Engineering. 2024. V. 17. No 6 (130). Art. 13002.
6. Нечипорук С. А., Фалеева Е. В. Методы обработки данных георадарного обследования грунтовых объектов. Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2024. Т. 2. С. 445-450.
7. Georgiev A. V. Environmental safety of hydraulic structures construction and operation. 2025. Pp. 123-127.
8. Коваленко, И. А. Методы предотвращения фильтрации воды из каналов посредством устройства монолитных оснований из гидробетона и композитных материалов. Перспективы развития научных изысканий: теория, методология, практика: сборник научных трудов по материалам IX Международной научно-практической конференции. Анапа, 2025. С. 36-42.
9. Макаренко А. А., Коковихин С. В., Бойко Е. С. Моделирование орошаемых севооборотов с использованием эколого-мелиоративных и хозяйственно-экономических параметров агропредприятий. Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2023. № 36 (199). С. 6-20.
10. Ищенко А. В., Баев О. А. Анализ существующих методик испытаний физико-механических свойств бентонитовых матов. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2013. № 2 (10). С. 175-185.
11. Дука А. В., Ченцов Н. А. Использование программы Statistica в СМК. Использование современных управленческих технологий в целях повышения эффективности деятельности предприятий: сборник научных трудов. Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2024. С. 33-36.
12. Popov S. V. Russian radio-echo sounding and GPR investigations in Antarctica. Георадар 2021: сборник тезисов научно-практической конференции в смешанном онлайн-оффлайн формате. Москва, 2022. С. 7-13.
13. Harrison D. et al. Ground-penetrating radar (GPR) investigations of a large-scale buried ice-marginal landsystem, Skeiðarársandur, SE Iceland. Boreas. 2022. V. 51. No. 4. Pp. 824-846.

14. Tandon R. S. et al. Geological, geotechnical, and GPR investigations along the Mansa Devi hill-bypass (MDHB) Road, Uttarakhand, India. Landslides. 2020.

References

1. Ramazanov T. V., Omariev Sh. Sh., Karaeva L. Yu. The Importance and Problems of Land Reclamation in the Republic of Dagestan. Problems and Prospects of Agricultural Development and Rural Territories: Collection of Articles from the VIII International Scientific and Practical Conference. Saratov, 2019. Pp. 104-106.
2. Lytov M. N. Components of the Environmental Model of Reclaimed Lands in the South of Russia. Izvestiya NVAUK, 2022. No 2 (66). <https://cyberleninka.ru/article/n/komponenty-ekologicheskoy-modeli-povtorno-osvaivaemyh-meliorirovannyh-zemel-yuga-rossii>
3. Seyidova M., Nurmammadova G., Halliyev O. How to effectively combat soil salinity. Bulletin of Science. 2023. V. 3. No 6 (63). Pp. 1000-1004.
4. Baev O. A., Kosichenko Yu. M., Innovative methods of repairing concrete water supply structures with composite materials. Ecology and Water Management. 2021. No. 1. <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-sposoby-remonta-betonnyh-vodoprovodov-soruzheniy-kompozitsionnymi-materialami>.
5. Suprun V., Kovalenko I., Ustinova V. The GPR survey method in combination with destructive testing methods for the hydraulic structures technical condition studying. Magazine of Civil Engineering. 2024. V. 17. No 6 (130). Art. 13002.
6. Nechiporuk S. A., Faleeva E. V. Methods of processing data from a ground object survey by a ground object. Scientific and technical and economic cooperation of the APR countries in the 21st century. 2024. V. 2. Pp. 445-450.
7. Georgiev A. V. Environmental safety of hydraulic structures construction and operation. 2025. Pp. 123-127.
8. Kovalenko I. A. Methods of preventing water filtration from channels by means of the device of monolithic bases from hydroconcrete and composite materials. Prospects of development of scientific research: theory, methodology, practice: collection of scientific papers on the materials of the IX International scientific and practical conference. Anapa, 2025. Pp. 36-42.
9. Makarenko A. A., Kokovikhin S. V., Boyko E. S. Modeling of Irrigated Crop Rotations Using Ecological, Land Reclamation, and Economic Parameters of Agricultural Enterprises. Proceedings of the Agricultural Science of Tavrida. 2023. No 36 (199). Pp. 6-20.
10. Ishchenko A. V., Baev O. A. Analysis of Existing Methods for Testing the Physical and Mechanical Properties of Bentonite Mats. Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2013. No 2 (10). Pp. 175-185.
11. Duka A. V., Chentsov N. A. Using the Statistica Program in the Quality Management System. The use of modern management technologies to improve the efficiency of enterprises: Collection of scientific papers. Donetsk: Donetsk National Technical University, 2024. Pp. 33-36.
12. Popov S. V. Russian radio-echo sounding and GPR investigations in Antarctica. Georadar 2021: Collection of Abstracts of the Scientific and Practical Conference in a Mixed Online/Offline Format. Moscow, 2022. Pp. 7-13.
13. Harrison D. et al. Ground-penetrating radar (GPR) investigations of a large-scale buried ice-marginal landsystem, Skeiðarársandur, SE Iceland. Boreas. 2022. V. 51. No 4. Pp. 824-846.
14. Tandon R. S. et al. Geological, geotechnical, and GPR investigations along the Mansa Devi hill-bypass (MDHB) Road, Uttarakhand, India. Landslides. 2020.

Информация об авторах

Пахомов Александр Алексеевич, доктор технических наук, доцент, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: pahomoff.1954@yandex.ru

Коваленко Иван Александрович, инженер-исследователь, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), SPIN-код: 1449-0995, e-mail: Kovalenko-i@vafnc.ru

Authors' Information

Pakhomov Aleksandr Alekseevich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: pahomoff.1954@yandex.ru

Kovalenko Ivan Aleksandrovich, Research Engineer, Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Meliorations and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), SPIN code: 1449-0995, e-mail: Kovalenko-i@vafnc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-61

THE ANALYSIS OF THE GRAIN SEEDERS DISPENSER DRIVE MECHANISMS

¹Uspensky I. A., ¹Yukhin I. A., ²Chatkin M. N., ¹Byshov D. N., ¹Kolotov A. S., ²Goroshkov A. P.

¹Ryazan State Agro-technological University named after P. A. Kostychev
Ryazan, Russian Federation

²National Research Mordovia State University named after N. P. Ogarev
Saransk, Russian Federation

Corresponding author E-mail: anton.kolotov.89@mail.ru

Received 12.02.2026

Submitted 24.03.2026

Abstract

Introduction. Current trends in the agricultural sector require increased efficiency in seeding operations, which directly impacts the country's food security. The introduction of new technologies and the modernization of agricultural machinery, particularly seeders, are becoming key factors in achieving high yields. Precise seed metering systems play a vital role in ensuring uniform seed placement and germination, making research into various types of metering drives essential for optimizing seed drill performance. **Object.** The

object of the study is seed dosing systems in agricultural seeders for grain crops, their design elements and kinematics, as well as an assessment of their effectiveness in the implementation of precision farming methods. **Materials and methods.** The study of dosing drives utilized a variety of materials and methods: Analysis of various drive system types, including mechanical, hydraulic, and electrical options; evaluation and comparison of kinematic diagrams and control characteristics of various drives; review of scientific papers and patents covering precision farming and dosing systems; and analysis of experimental data on dosing accuracy and drive system durability. **Results and conclusion.** The study results demonstrate the superiority of electric and hydraulic drives over mechanical ones in terms of seed metering accuracy. Electric systems, particularly those using stepper and BLDC motors, provide adaptive seeding control, including section control and correction based on the seeder's trajectory. Hydraulic drives stand out for their effectiveness with variable rate seeding (VRS). Key findings: 1. The use of modern electric and hydraulic drives in agricultural machinery significantly improves the accuracy and stability of the seeding process. 2. The additional use of automation and process control helps optimize seeder operations, thereby increasing yields. 3. It is important to continue research to create integrated control systems that effectively respond to changing conditions in agricultural production.

Keywords: grain seeders, seed dispensers, precision farming, seeders modernization, seed dispensing, seeding units, precise seed delivery, and dispensing mechanisms.

Citation. Uspensky I. A., Yukhin I. A., Chatkin M. N., Byshov D. N., Kolotov A. S., Goroshkov A. P. The analysis of the grain seeders dispenser drive mechanisms. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 548-559 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-61.

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 631.331.022

АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ПРИВодОВ ДОЗАТОРА ЗЕРНОВЫХ СЕЯЛОК

¹Успенский И. А., доктор технических наук, профессор

¹Юхин И. А., доктор технических наук, профессор

²Чаткин М. Н., доктор технических наук, профессор

¹Бышов Д. Н., доктор технических наук, доцент

¹Колотов А. С., кандидат технических наук, доцент

²Горошков А. П., аспирант

¹ФГБОУ ВО «Рязанский агротехнологический университет имени П. А. Костычева»

г. Рязань, Российская Федерация

²Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева
г. Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация

Исследование выполнено в рамках научно-исследовательской работы ФГБОУ ВО РГАТУ «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве. Перспективы развития сельских территорий».

Актуальность. Современные тенденции в агропромышленном комплексе требуют повышения эффективности посевных операций, что напрямую влияет на продовольственную безопасность страны. Внедрение новых технологий и модернизация сельскохозяйственной техники, в частности, сеялок, становятся ключевыми факторами для достижения высоких показателей урожайности. Точные системы дозирования семян играют важную роль в обеспечении равномерности стояния и всхожести, что делает исследование различных типов приводов дозаторов актуальным для оптимизации работы сеялок. **Объект.** Объектом исследования являются системы для дозирования семян в сельскохозяйственных сеялках для зерновых культур, их конструктивные элементы и кинематика, а также оценка их эффективности при реализации методов точного земледелия. **Материалы и методы.** В исследовании приводов дозаторов применены разнообразные материалы и методы: анализ разных типов приводных систем, включая механические, гидравлические, и электрические варианты; оценка и сравнение кинематических схем и управленческих характеристик разнообразных приводов; изучение научных работ и патентов, охватывающих точное земледелие и системы дозирования; анализ экспериментальных данных о точности дозирования и долговечности приводных систем. **Результаты и выводы.** Результаты исследования указывают на превосходство электрических и гидравлических приводов над механическими в плане точности дозирования семян. Электрические системы, в частности с использованием шаговых и BLDC-моторов, обеспечивают возможности для адаптивного контроля высева, включая секционное управление и коррекцию в зависимости от траектории движения сеялки. Гидравлические приводы выделяются своей эффективностью при переменных нормах высева (VRS). Основные выводы: 1. Применение современных электрических и гидравлических приводов в агротехнических машинах значительно улучшает точность и стабильность про-

цесса посева. 2. Дополнительное использование средств автоматики и процессного контроля способствует оптимизации операций сеялок, повышая тем самым урожайность. 3. Важно продолжить исследования для создания интегрированных систем управления, которые бы эффективно реагировали на изменяющиеся условия в агропромышленном производстве.

Ключевые слова: зерновые сеялки, семенные дозаторы сеялок, прецизионное земледелие, модернизация сеялок, дозирование семян, сеялочные агрегаты, точная подача семян, механизмы дозирования.

Цитирование. Успенский И. А., Юхин И. А., Чаткин М. Н., Бышов Д. Н., Колотов А. С., Горошков А. П. Анализ механизмов приводов дозатора зерновых сеялок. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 548-559. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-61.

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. В Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации (утверждена Указом Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г., № 20) отмечено, что технологическая модернизация агропромышленного комплекса, в том числе внедрение новой техники и технологий, является основным направлением государственной политики в сфере продовольственной безопасности. Предусматривается обновление базы АПК отечественной сельскохозяйственной техникой, в рамках ведомственного проекта «Техническая модернизация агропромышленного комплекса», в том числе сеялок и посевных комплексов. Многообразие конструкций сеялочных агрегатов, используемых АПК, имеют в своем составе идентичные механизмы дозирования и сошниковые устройства, обеспечивающие эффективность его работы.

Точная подача семян зерновыми сеялками напрямую влияет на всхожесть, равномерность стояния и урожайность. В составе посевной системы ключевую роль играют дозатор семян и его привод, который задаёт частоту вращения дозирующего элемента и тем самым норму высева. Традиционные решения – механические приводы от опорно-приводных колёс через цепно-зубчатые передачи и вариаторы – просты и энергоэффективны, но чувствительны к проскальзыванию колёс и вариациям скорости движения. Развитие гидравлических и особенно электрических приводов с цифровым управлением в сочетании с ISOBUS и картами-заданиями расширило возможности переменной нормы (VRS), секционного контроля и компенсации поворотов.

Материалы и методы. Данный обзор систематизирует типы приводов дозаторов, сопоставляет их кинематические и управленческие особенности, анализирует результаты по точности дозирования и надёжности, выделяет пробелы знаний и наметки для будущих исследований [1].

Классификация приводов дозаторов. Рассмотрим более подробно конструктивное и кинематическое исполнение существующих приводов дозаторов. Для этого рассмотрим особенности используемых дозаторов в предложенной их классификации с учетом конструктивного исполнения, механизмов обеспечения регулирования, в том числе, использования соответствующего источника энергии (рисунок 1).

1. По источнику энергии:

- механический от опорно-приводных колёс. Вращение берётся с опорного колеса и через механическую трансмиссию передаётся на вал дозатора;
- механический от ВОМ (вал отбора мощности). Привод от трактора через кардан/редуктор; скорость дозатора связана с оборотами ВОМ;
- гидравлический. Дозатор вращается гидромотором, расход масла задаётся распределителем/клапаном;
- электрический. Электродвигатель (BLDC/шаговый/PMDC) вращает вал дозатора напрямую или через редуктор.

Варианты:

- а) Централизованный – один мотор на общий вал распределения.
- б) Поканальный (по секциям/рядкам) – отдельный мотор на каждую секцию/рядок.
- гибридный. Сочетания, например, механический магистральный вал и электрические муфты/актуаторы по секциям. Или гидростатический привод и электрическое точное дозирование.

2. По кинематике (передаче и исполнительном звене):

- цепно-звёздочные передачи. Классическая ступенчатая трансмиссия. Смена звёздочек меняет передаточное отношение;
- зубчатые передачи/редукторы. Цилиндрические/конические шестерни, иногда в виде сменных кассет;
- вариаторы (CVT). Фрикционные/ременно-клиновые/дисковые вариаторы с непрерывным изменением отношения;
- планетарные механизмы. Компактные редукторы, возможна суммирующая схема (смещение двух входов – например, механики и электро);
- приводы с шаговыми/BLDC-двигателями. Описание: исполнительное звено – электродвигатель; передача – прямой привод или через планетарный/червячный редуктор (рисунок 1).

Из рассмотренных источников энергии для современных сеялок, которые можно использовать в системе точного земледелия, предусматривающей запланированный высев в соответствующей части поля, более приспособлены электрические и гидроэлектрические системы. Они приспособлены для работы в системе автоматического регулирования и контроля (САР и К) [2].



Рисунок 1 – Классификация приводов дозаторов

Figure 1 – Classification of dosing drives

3. По способу задания (установления) нормы.

Классификация приводов по способу задания нормы приведена на рисунке 2.

- постоянная (фиксированная). Норма задаётся единожды через калибровку и фиксированное передаточное отношение;
- ступенчатая. Переключение набора звёздочек/шестерён/ступеней редуктора; возможно дистанционное переключение ограниченного числа ступеней;
- непрерывная VRS (Variable-Rate Seeding). Контроллер задаёт требуемую угловую скорость дозатора по карте-заданию/скорости движения; изменение – плавное;
- замкнутый контур (с датчиками). VRS с обратной связью по скорости дозатора (энкодер) и/или по фактическому потоку семян (оптические/индуктивные датчики) (рисунок 2).



Рисунок 2 – Классификация по способу задания нормы
Figure 2 – Classification by the method of setting the norm

Более подробно рассмотрим положительные и негативные характеристики существующих приводов дозаторов семян, в том числе возможность их применения в технологии точного земледелия [7].

Механические приводы. В современной агротехнической практике применение дозирующих устройств семенного материала с механическим типом привода демонстрирует достаточную результативность при решении задач точного земледелия. Данная технология позволяет обеспечить требуемые параметры распределения семян в почве и контролировать плотность их размещения на единицу обрабатываемой площади. Альтернативным направлением совершенствования высевочных систем является внедрение приводных механизмов, функционирующих на основе электрической энергии либо гидравлических принципов действия. Интеграция таких силовых установок с управляемыми дозирующими модулями открывает перспективы для устранения выявленных недочётов традиционных механических решений. Применение электрогидравлических систем обеспечивает более гибкое регулирование процесса высева и адаптацию к изменяющимся агротехническим условиям, что критически важно для оптимизации точности посевных операций. Механические колёсные приводы исторически доминируют благодаря простоте, низкой стоимости и независимости от электрогидравлических систем. Кинематика обычно включает опорно-приводное колесо, цепно-звёздочную передачу и/или вариатор (CVT), что даёт широкую область настройки. Основные недостатки – зависимость от проскальзывания и пробуксовки колёс, чувствительность к неровностям и вибрациям, инерционность при резких изменениях скорости движения. Это приводит к систематическим и случайным ошибкам нормы, особенно на лёгких почвах и склонах. Применение электрического привода в конструкции дозирующих устройств для семенного материала обусловлено необходимостью решения вышеперечисленных технологических затруднений. Данное техническое решение обеспечивает возможность автономного функционирования приводного механизма каждой отдельной дозирующей системы вне зависимости от эксплуатационных параметров посевного агрегата в целом. Кроме того, внедрение электрического привода гарантирует поддержание стабильных характеристик работы вентиляционного узла, исключая влияние колебаний частоты вращения выходного вала отбора мощности трактора на функциональные показатели системы. Исследования показывают рост вариабельности нормы при увеличении рабочей скорости и недостаточной поддержке контакта колеса с почвой [базовая:

см. учебники/обзоры; 1, 4]. Современные реализации повышают устойчивость за счёт демпфирования, улучшенных шин и датчиков скорости (радар/GPS) с приводом от BOM, но гибкость VRS остаётся ограниченной [10].

Гидравлические приводы. В современной сельскохозяйственной технике, предназначенной для выполнения посевных операций, широкое применение нашли системы гидравлического привода. Данные технические решения интегрируются в конструкцию посевных агрегатов и обеспечивают функционирование механизмов, ответственных за точное распределение посевного материала.

Принцип действия гидравлических систем в посевном оборудовании заключается в передаче энергии рабочей жидкости к исполнительным механизмам высевających устройств. Эти устройства осуществляют порционную подачу семенного материала с последующей его транспортировкой через специализированные каналы – семяпроводы – непосредственно к рабочим органам, формирующим посевные борозды. В конструкциях с гидравлической системой приведения в действие крутящий момент на высевající механизм и устройство для создания воздушного потока передается посредством гидравлических двигателей. Данная схема привода гарантирует бесперебойное и точно отмеренное поступление посевного материала в высевající систему. Регулирование интенсивности распределения семян осуществляется оператором достаточно просто и эргономично через центральную панель управления агрегатом. В ходе проведенных исследований группой учёных под руководством Мойера была выявлена существенная проблематика функционирования высевających агрегатов прецизионного типа [3]. Авторы работы акцентировали внимание на том, что данное оборудование демонстрирует значительное ухудшение эксплуатационных характеристик в условиях работы на участках со сложным рельефом. Основная причина снижения эффективности кроется в нарушении стабильного контакта между опорным колесом высевající аппарата и поверхностью почвенного слоя при наличии выраженных неровностей. Подобные условия эксплуатации негативно сказываются на равномерности размещения посевного материала вдоль посевной борозды. Дополнительные исследования в данной области продемонстрировали прямую корреляцию между качеством распределения семян и итоговыми показателями продуктивности сельскохозяйственных культур [4]. Нарушение оптимальных интервалов между отдельными семенами в посевном ряду закономерно влечёт за собой уменьшение валового сбора урожая. Опираясь на результаты указанных научных изысканий и стремясь к устранению обозначенных технологических недостатков, специалисты предложили концепцию модернизации приводных механизмов. Суть инновационного подхода заключается в замещении традиционных механических трансмиссий альтернативными системами привода, использующими электрические силовые установки либо гидравлические моторы. Гидроприводы на основе планетарных моторов позволяют отделить кинематику дозатора от кинематики ходовой части и реализовать дистанционное управление нормой через изменение расхода/давления. Достоинства: высокий крутящий момент на низких оборотах, возможность поддержания оборотов при колебаниях нагрузки, интеграция с контроллерами трактора. Ограничения: тепловые потери в дросселировании, сложность точного позиционного/скоростного управления на очень низких скоростях, зависимость от чистоты рабочей жидкости и состояния гидросистемы трактора. Для стабильности на низких подачах требуется тонкая настройка клапанов и температурная компенсация рабочей жидкости [10].

Электрические приводы. Электроприводы (BLDC/PMDC/шаговые) – ключевой тренд последних лет. Возможны две архитектуры: один центральный мотор через распределительный вал и индивидуальные моторы на секцию/рядок. Последняя даёт наибольшую гибкость: секционный/строчный контроль, быстрая VRS, компенсация поворотов (turn compensation) путём задания разных скоростей крайним и внутренним секциям на разворотах. Управление осуществляется через контроллеры с интерфейсами ISOBUS (Task Controller, TC-GEO для карт-заданий), источники скорости (GPS, радар, инерциальные датчики), а обратная связь – по энкодерам или датчикам потока/обрыва семян. Доказано снижение лага при изменении нормы и повышение воспроизводимости по сравнению с гидро- и механическими приводами, особенно на переменных скоростях [6].

Электрические приводы являются наиболее перспективными во внедрении технологии точного земледелия, когда есть необходимость управления дозированием семян по карте задания для определенного участка поля. Однако применение данной технологии

ограничивается отдельными хозяйствующими субъектами, заинтересованными внедрением новых разработок. Они являются пионерами в области внедрения инноваций и цифровых технологий в сельском хозяйстве. Единичные заказы инновационных предприятий отрасли не позволяют предприятиям сельскохозяйственного машиностроения наладить серийный выпуск новых сеялок и посевных комплексов, что могло бы значительно снизить их стоимость. Кроме того, внедрение электрического привода дозаторов опирается на незначительный объем научных работ в данном направлении, в том числе отсутствуют комплексные технические и технологические решения по управлению, контролю и протоколированию качества технологического процесса работы посевных агрегатов [10].

Применение электрических приводов в конструкции высевальных аппаратов демонстрирует существенное превосходство над традиционными механическими решениями. Данная технология позволяет значительно упростить процедуры технического обслуживания оборудования благодаря исключению из конструкции целого ряда компонентов. В частности, отпадает необходимость в использовании цепных передач, механизмов, приводимых во вращение от опорно-ходовых колес, трансмиссионных валов, муфтовых соединений и звездочных элементов. Разработка электродвигателей для высевальных систем была направлена на замещение традиционных механических трансмиссий при обеспечении функционирования дозирующих устройств для семенного материала. Конструктивно каждый высевальной аппарат функционирует автономно благодаря компактному электроприводу. Прецизионная система дозирования обеспечивает мониторинг количества семян в отдельных рядах с возможностью прекращения процесса сева при отсутствии потребности в заделке семенного материала или при остановке агрегата.

Современные решения и тенденции внедрения. Среди преимуществ технологии ISOBUS следует выделить функционал фиксации производственных процессов с дальнейшей передачей информации в централизованную систему мониторинга предприятия, установленную на базовом вычислительном оборудовании. Менеджер задач бортового терминала позволяет импортировать производственную программу, а по завершении операций осуществить трансфер полученных сведений на головной компьютер. Вспомогательные данные интегрируются посредством USB-накопителей и применяются в рамках концепции прецизионного растениеводства. При данном подходе необходимыми условиями выступают лишь высокоточная геолокация через спутниковую навигацию GPS и предварительно внесённая в терминал цифровая схема угодий с зонированием территории согласно дифференцированным дозировкам внесения агрохимикатов.

Внедрение технологии ISOBUS способствует унификации программных и электронных компонентов сельскохозяйственной техники, что позволяет оптимизировать эксплуатацию машинно-тракторных соединений через их рациональное сочетание и согласованное функционирование. Данная технология открывает перспективы для автоматической адаптации технических средств под конкретные агротехнологические процессы и обеспечивает информационный обмен между полевым оборудованием и стационарными вычислительными системами аграрного предприятия. Кроме того, реализуется совместимость электронных решений различных производителей техники.

Практическое применение протокола характеризуется упрощенной процедурой интеграции: достаточно осуществить физическое подключение через стандартизированный разъем ISOBUS для немедленного начала эксплуатации оборудования по принципу «plug-and-play». Следовательно, отпадает потребность в использовании изолированных программных решений и множественных специализированных терминалов для управления каждым видом навесного или прицепного орудия, взаимодействующего с трактором. Протокол обеспечивает интегрированное соединение базовой машины с различными сельскохозяйственными агрегатами в единую коммуникационную сеть.

Применение методики переменного посева (VRS) основывается на принципе зонального распределения посевного материала и питательных компонентов по территории поля. Данный подход обеспечивает оптимизацию производственных издержек на малопродуктивных участках, одновременно способствуя увеличению их урожайности посредством технологического совершенствования агротехнических операций.

Реализация потенциала переменного посева становится возможной при использовании специализированной сеялки, оснащенной функцией динамического регулирования норм распределения семян. Именно такое техническое оснащение позволяет осуществ-

лять рациональное расходование семенного фонда, концентрируя посевы на зонах с повышенным плодородием почвы и формируя оптимальную густоту стояния растений в соответствии с агрохимическими характеристиками конкретных участков.

Ключевым фактором успешной реализации методики варьированного высева выступает предварительный анализ и идентификация участков применения данной агротехнологии с учётом характеристик различных растительных сообществ.

Агротехническая карта включает параметры вариативности, которые впоследствии группируются в обрабатываемые зоны на основании комплекса показателей: ретроспективных данных продуктивности, рельефных особенностей территории, физико-химических характеристик грунта и материалов дистанционного зондирования. Совокупность указанных параметров формирует информационную базу о продуктивности угодий.

Результаты и обсуждение. Анализ архивной информации по идентичной сельскохозяйственной культуре представляет собой систематический подход. Данная методология обеспечивает прецизионное картографирование показателей продуктивности, что критически важно, поскольку эффективность технологии дифференцированного внесения семян напрямую коррелирует с достоверностью исходных данных о продуктивности. Многолетние наблюдения фиксируются посредством откалиброванных систем мониторинга урожая.

При наличии документально зафиксированных показателей продуктивности за несколько производственных циклов формируется наиболее достоверная база для практического применения в агротехнологиях. Выделение участков с различным потенциалом продуктивности обеспечивает специалистов агрономического профиля необходимым объёмом сведений для корректировки посевных параметров применительно к каждому выявленному сегменту поля.

Подобная стратегия способствует оптимизации производственных издержек на фоне возрастания валового сбора культур. Дифференцированное применение питательных веществ базируется на установленных посевных нормативах, которые варьируются в зависимости от характеристик конкретной территориальной единицы. В качестве иллюстрации можно привести практику возделывания кукурузы: на высокопродуктивных площадях плотность посева увеличивают, тогда как на менее плодородных территориях применяют сниженные показатели густоты стояния растений.

Несмотря на сложности внедрения инноваций в сельском хозяйстве предприятия сельскохозяйственного машиностроения реализуют современные тенденции по использованию инфокоммуникационных и цифровых технологий при разработке новых сеялок и посевных комплексов по следующим направлениям:

- индивидуальные электроприводы секций/рядков с автоматическим секционным отключением и компенсацией поворотов уже стали стандартом для высокопроизводительных комплексов. Метрики точности включают среднюю относительную ошибку нормы (%), CV между секциями, долю пропусков и двоек (для дозаторов точного высева), а также время достижения новой нормы после команды

- интеграция VRS с агрономическими картами плодородия/влажности через ISOBUS TC-GEO повышает агрономическую эффективность на контрастных полях; ключевым фактором становится качество источника скорости (радар + GPS с фильтрацией) и предиктивные алгоритмы, сглаживающие динамические ошибки при перегазовке/торможении.

- в сегменте ретрофита наблюдается переход от механических и гидравлических приводов к модульным электроприводам со стандартными шлицевыми интерфейсами на вал дозатора, что сокращает время переоснастки и потребление энергии на гектар при условии грамотной архитектуры питания.

Методологические аспекты и качество доказательств. Ежегодно машинно-испытательными станциями (МИС) России проводится мониторинг качества производства выпускаемой продукции предприятиями сельскохозяйственного машиностроения путем проведения испытаний в реальных условиях эксплуатации. В соответствии с планом МИС на проведение работ по определению функциональных характеристик (потребительских свойств) и эффективности сельскохозяйственной техники и оборудования на 2021 г. испытаны сеялки и посевные комплексы различных марок (таблица 1, 2) [9]. В приведенном обзоре подробно проанализируем функциональные характеристики сеялок и посевных комплексов, которые определяют точность дозирования и распределения семян в борозде.

Таблица 1 – Результаты испытания сеялок [14]
Table 1 – Results of seed drill tests [14]

Указатели / Pointers	Значение в перечне критериев / The value in the list of criteria	Марка / Brand		
		C-7,2 ПМЗ	C-6 ПС	D9 6000-TC
Норма высева семян, кг/га / Seeding rate, kg/ha				
Зерновые / Grain	10-350	8,6-447,7	8,9-390,5	10-350
Зернобобовые / Legumes	35-400	2,6-459,5	30,5-419,5	35-400
Травы / Herbs	2-30	1,1-30,9	1,8-31,5	2-30
Норма высева удобрений (для зернотуковых сеялок), кг/га / Fertilizer seeding rate (for grain seed drills), kg/ha	50-250	225-413,7	10,5-412,5	50-250
Неравномерность высева семян отдельными аппаратами (не более), % / Seeding unevenness by individual machines (no more than), %				
Зерновые / Grain	3	4,42	10,42	1,8
Зернобобовые / Legumes	4	5,99	11,25	1,1
Травы / Herbs	8	2,87	7,32	1,4
Устойчивость общего высева (не более), % / General seeding stability (no more than), %				
Зерновые / Grain	2,8	0,48	1,08	2,6
Зернобобовые / Legumes	4	1,22	2,24	2,1
Травы / Herbs	9	1,93	2,41	3,3
Удобрения / Fertilizers	10	2	2,04	3,5
Глубина заделки семян, см / Seed embedding depth, cm				
Зерновые / Grain	3-8	3-8	3-8	3-8
Зернобобовые / Legumes	4-6	4-6	4-6	4-6
Травы / Herbs	2-6	2-6	Не обеспечивается / Not provided	2-6
Число семян, заделанных на заданную глубину, ±1 см (не менее), % / Number of seeds planted to the specified depth, ±1 cm (at least), %	80	82,2	89,7	86
Дробление семян (повреждение, не более), % / Seed crushing (damage, no more than), %				
Зерновые / Grain	0,3	0,2	0,18	0,1
Зернобобовые / Legumes	1,0	9	0,68	-
Сохранение пожнивных остатков (для стерневых сеялок) (не менее), % / Preservation of stubble residues (for stubble seeders) (at least), %	65	-	70,8	-
Наработка на отказ единичного изделия (не менее), ч / Single-unit failure rate (at least), h	100	122	124	105

Представленные в таблице 1 и 2 сеялки и посевные комплексы в большинстве своем соответствуют установленным критериям определения эффективности, а их функциональные характеристики – характеристикам, указанным заявителем. Из числа анализируемых показателей, которые представляют интерес в плане качества дозирования, обеспечения агротребований к посеву и возможность использования в технологии точного земледелия являются: «Неравномерность высева семян отдельными аппаратами» и «Неустойчивость общего высева». Приведенные в таблице 1 отечественные сеялки не соответствуют показателю «Неравномерность высева семян отдельными аппаратами», что указывает на несовершенство применяемых в них дозирующих устройств. Причины несоответствия нами подробно были рассмотрены при анализе конструкций дозаторов и механизмов их привода.

На основании проведенного анализа можно сформулировать перспективные и направления будущих исследований:

- разработка адаптивных регуляторов (model predictive control) для VRS с предсказанием нагрузки и скорости, снижением лага и перерегулирования;
- сенсорная фузия (радар + GNSS + IMU) для устойчивой оценки скорости и скольжения в реальном времени;

- самокалибрующиеся дозаторы с измерением мгновенного потока семян и автоматической корректировкой коэффициентов пересчёта;
- методы оценки жизненного цикла (LCA) и технико-экономической эффективности ретрофита электроприводами для хозяйств разного масштаба;
- открытые эталонные датасеты стендовых и полевых тестов для воспроизводимых сравнений.

Таблица 2 – Результаты испытаний посевных комплексов [14]

Table 2 – Results of testing seeding complexes [14]

Показатели / Indicators	Значение в перечне критериев / The value in the list of criteria	Марка / Brand			
		AGRATOR	Amazone	АППМ / APPM	Кузбасс / Kuzbass
Норма высева семян, кг/га / Seeding rate, kg/ha					
Зерновые / Grain	10-350	6-515	6,8-377,2	5,6-357,7	6,8-3777,2
Зернобобовые / Legumes	35-400	9-475	84,1-409,8	-	24,1-409,8
Травы / Herbs	2-30	0,4-50	1,5-320,8	0,9-39,4	1,5-32,8
Норма высева удобрений (для зернотуковых сеялок), кг/га / Fertilizer seeding rate (for grain seed drills), kg/ha	50-250	12-625	34,7-302,8	15,4-386,8	34,7-302,8
Неравномерность высева семян отдельными аппаратами (не более), % / Seeding unevenness by individual machines (no more than), %					
Зерновые / Grain	3	6,9	5,26	6,98	5,26
Зернобобовые / Legumes	4	6,58	5,94	-	5,94
Травы / Herbs	8	7	5,0	6,88	5,0
Неустойчивость общего высева (не более), % / Instability of total seeding (no more than), %					
Зерновые / Grain	2,8	0,2	0,53	0,1	0,53
Зернобобовые / Legumes	4	0,3	2,65	-	2,65
Травы / Herbs	9	1,5	0,55	1,12	0,55
Удобрения / Fertilizers	10	4,5	0,67	6,46	0,67
Глубина заделки семян, см / Seed embedding depth, cm					
Зерновые / Grain	3-8	2-8	2,6-8,8	3-8	2,6-8,8
Зернобобовые / Legumes	4-6	2-6	3,3-6,8	3-8	3,3-6,8
Травы / Herbs	2-6	2-6	1,7-7,0	-	1,7-7,0
Число семян, заделанных на заданную глубину, ± 1 см (не менее), % / Number of seeds planted to the specified depth, ±1 cm (at least), %	80	81,2	92,7	83,6	99,9 99,2 96,2
Дробление семян (повреждение, не более), % / Number of seeds planted to the specified depth, ±1 cm (at least), %					
Зерновые / Grain	0,3	0,25	0,12	0,3	0,12
Зернобобовые / Legumes	1,0	0,9	1		1,0
Сохранение пожнивных остат- ков (для стерневых сеялок) (не менее), % / Preservation of stub- ble residues (for stubble seeders) (at least), %	65	75	-	-	-
Наработка на отказ единичного изделия (не менее), ч / Single- unit failure rate (at least). h	100	174	126	164	126

Следует выделить практические аспекты и социально-этические импликации, которые следует учитывать при проведении и внедрении результатов НИР. Для хозяйств РФ/ЕАЭС важны совместимость с парком тракторов, доступность сервисной поддержки и простота калибровки. Электроприводы снижают трудоёмкость перенастройки нормы и дают экономию семян за счёт секционного контроля, но требуют квалификации в диагностике электроники и соблюдения требований ЭМС. Безопасность оператора включает защиту от непреднамеренного пуска, надёжную блокировку при обслуживании и информирование об авариях через терминал.

Заключение. Системный анализ показывает, что эволюция приводов дозаторов зерновых сеялок идёт от механических к полностью электрическим архитектурам с цифровым управлением. Электроприводы обеспечивают лучшую управляемость нормы, снижение лага и гибкий секционный/строчный контроль, тогда как механические и гидравлические решения остаются оправданными в условиях жёстких ограничений по бюджету и простоты обслуживания. Ключ к рациональному выбору – сопоставление требуемой точности и функциональности с энергопотреблением, надёжностью и интеграционными возможностями. Для ускорения внедрения VRS и повышения воспроизводимости результатов необходимы стандартизованные методики испытаний, эталонные метрики и долгосрочные исследования надёжности.

Conclusions. A systems analysis shows that grain seed drill metering drives are evolving from mechanical to fully electric architectures with digital control. Electric drives offer better rate control, reduced lag, and flexible section/row control, while mechanical and hydraulic solutions remain feasible given tight budget constraints and ease of maintenance. The key to making a rational choice is balancing the required precision and functionality with energy consumption, reliability, and integration capabilities. Standardized test methods, benchmark metrics, and long-term reliability studies are needed to accelerate VRS adoption and improve the reproducibility of results.

Библиографический список

1. 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.
2. Фадеев И. В. и др. Электротракторы сельскохозяйственного назначения: проблемы и перспективы развития. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 4 (82). С. 492-502.
3. Кузнецова Э. В., Успенский И. А., Юхин И. А., Горохов А. А. Совершенствование диагностирования тракторов агропромышленного комплекса. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2025. Т. 17. № 1. С. 135-142.
4. 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.
5. Шемякин А. В. и др. Гальванические покрытия Fe-Ni-p для восстановления изношенных деталей сельскохозяйственной техники и технологического оборудования. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 3(75). С. 302-309.
6. Карагодин В. И. и др. Зависимость стратегий ремонта машин от условий их эксплуатации. Транспорт на альтернативном топливе. 2024. № 3 (99). С. 62-72.
7. Шемякин А. В. и др. Внедрение интеллектуальной системы в процессы перевозки грузов для увеличения безопасности транспортировки. Транспортное дело России. 2023. № 5. С. 118-123.
8. Костенко М. Ю. и др. Разработка шнекового дозирующего устройства твердых минеральных удобрений. Техника и оборудование для села. 2023. № 5 (311). С. 16-21.
9. Бышов Н. В. и др. Диагностика технического состояния фильтрующего элемента гидросистемы. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2017. № 1 (33). С. 63-68.
10. Онкаев А. В. и др. Исследование влияния дезинфекции химическими растворами на энергетические свойства зернового материала. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2024. Т. 16. № 2. С. 49-57.
11. Сенин П. В., Чаткин М. Н., Кильмашкин Е. А. Аддитивные технологии для производства и ремонта сельскохозяйственной техники. Инженерные технологии и системы. 2024. Т. 34. № 4. С. 584-596.
12. Чаткин М. Н., Федоров С. Е., Жалнин А. А., Бычков М. В. Оценка эффективности почвообрабатывающего комбинированного культиватора. Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32. № 4. С. 539-551.
13. Купряшкин В. Ф. и др. Методика проведения испытаний катушечного высевающего аппарата зерновой сеялки. E-Scio. 2019. № 11 (38). С. 435-441.
14. Некрасов Р. В. и др. Каталог машин, прошедших испытания по определению функциональных характеристик (потребительских свойств) и эффективности сельскохозяйственной техники и оборудования на машиноиспытательных станциях в 2021-2022 гг. Москва: Росинформагротех, 2023. 318 с.

References

1. Kolotov A. S. et al. The Effectiveness of Telematics in the Technical Operation of Motor Vehicles. News of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No 3 (81). Pp. 504-511.
2. Fadeev I. V. et al. Agricultural Electric Tractors: Problems and Development Prospects. News of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No 4 (82). Pp. 492-502.
3. Kuznetsova E. V., Uspensky I. A., Yuhin I. A., Gorokhov A. A. Improvement of Diagnostics of Tractors of the Agro-Industrial Complex. Bulletin of the Ryazan State Agro-technological University named after P. A. Kostychev. 2025. V. 17. No 1. Pp. 135-142.
4. Didmanidze O. N. et al. Technical Regulation in the Field of Agricultural Self-Propelled Machines, Taking into Account Re-equipment and Changes in Design. Transport Business of Russia. 2024. No 2. Pp. 91-94.
5. Shemyakin A. V. et al. Electroplated Fe-Ni-p coatings for the restoration of worn-out parts of agricultural machinery and technological equipment. News of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2024. No 3 (75). Pp. 302-309.
6. Karagodin V. I. et al. Dependence of machine repair strategies on their operating conditions. Alternative Fuel Transportation. 2024. No 3 (99). Pp. 62-72.
7. Shemyakin A. V. et al. Introduction of an intelligent system in the processes of cargo transportation to increase the safety of transportation. Transport Business of Russia. 2023. No 5. Pp. 118-123.

8. Kostenko M. Yu. et al. Development of an auger dosing device for solid mineral fertilizers. Technique and Equipment for the Countryside. 2023. No 5 (311). Pp. 16-21.
9. Byshov N. V. et al. Diagnostics of the technical condition of the filter element of the hydraulic system. Bulletin of the Ryazan State Agro-technological University named after P. A. Kostychev. 2017. No 1 (33). Pp. 63-68.
10. Onkaev A. V. et al. Study of the effect of chemical disinfection on the energy properties of grain material. Bulletin of the Ryazan State Agro-technological University named after P. A. Kostychev. 2024. Vol. 16. No 2. Pp. 49-57.
11. Senin P. V., Chatkin M. N., Kilmyashkin E. A. Additive technologies for the production and repair of agricultural machinery. Engineering Technologies and Systems. 2024. Vol. 34. No 4. Pp. 584-596.
12. Chatkin M. N., Fedorov S. E., Zhaltin A. A., Bychkov M. V. Evaluation of the Efficiency of a Combined Cultivator. Engineering Technologies and Systems. 2022. Vol. 32. No 4. Pp. 539-551.
13. Kupryashkin V. F. et al. Test Methods for the Coil Seeding Apparatus of a Grain Sower. E-Scio. 2019. No 11 (38). Pp. 435-441.
14. Nekrasov R. V. et al. Catalog of machines that passed tests to determine the functional characteristics (consumer properties) and efficiency of agricultural machinery and equipment at machine testing stations in 2021-2022. Moscow: Rosinformagrotekh, 2023. 318 p.

Информация об авторах

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.uspenskiy@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

Чаткин Михаил Николаевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева (г. Саранск), e-mail: chatkinm@yandex.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

Колотов Антон Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: anton.kolotov.89@mail.ru

Горошков Антон Павлович, аспирант, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева (г. Саранск), e-mail: anton.goroshkov@mail.ru

Authors' Information

Uspenskiy Ivan Alekseevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Department, Ryazan State Agro-technological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev Str., 1), e-mail: ivan.uspenskiy@yandex.ru

Yukhin Ivan Aleksandrovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Department, Ryazan State Agro-technological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev Str., 1), e-mail: yuival@rambler.ru

Chatkin Mikhail Nikolaevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of the Department, National Research Mordovia State University named after N. P. Ogarev (Russian Federation, Saransk), e-mail: chatkinm@yandex.ru

Byshov Dmitry Nikolaevich, 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: university@rgatu.ru

Kolotov Anton Sergeevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Ryazan State Agro-technological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev Str., 1), e-mail: anton.kolotov.89@mail.ru

Goroshkov Anton Pavlovich, Postgraduate Student, National Research Mordovia State University named after N. P. Ogarev (Russian Federation, Saransk), e-mail: anton.goroshkov@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-62

THE MODERNIZATION OF THE AGRICULTURAL MACHINERY CORROSION PROTECTING COMPOSITION¹Fadeev I. V., ²Uspenskiy I. A., ³Fomin S. D., ²Yukhin I. A., ²Byshov D. N., ²Ushanev A. I.

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

Corresponding author E-mail: ivan-fadeev-2012@mail.ru

Received 26.01.2026

Submitted 26.03.2026

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

This study examines the effectiveness of potassium meta-, tetra-, and pentaboron phosphate as inhibitor additives in D11A plastisol mastic used to protect agricultural machinery from corrosion. Potassium boron phosphates and tetraboron phosphate in particular, have proven promising as an effective and environmentally friendly alternative to traditional corrosion inhibitors for creating next-generation protective coatings.

Abstract

Introduction. Currently used inhibitors in protective coatings have significant limitations, such as toxicity, a tendency to delaminate, and high cost, necessitating the search for new, technologically advanced, and environmentally friendly solutions. **Object.** D11A plastisol mastic was selected as the base material for the modernized coating. **Materials and methods.** To modify the plastisol's properties, synthesized potassium meta-, tetra-, and pentaboron phosphates were introduced into its composition at concentrations ranging from 1 to 6 % by weight. A comprehensive effectiveness assessment was conducted through a study of the physical and mechanical properties, adhesion using the cross-hatch method, electrochemical methods, and corrosion testing in a salt spray chamber. **Results and conclusion.** Experiments have shown that all the studied boron phosphate additives improve the coating's performance: adhesion increases to the highest class 0, tensile strength increases by 38-209 %, and electrochemical measurements record a pronounced inhibitory effect. Among the modifiers studied, potassium tetraborophosphate at a 5 % concentration demonstrated the optimal combination of properties, providing the best long-term corrosion resistance in aggressive environments while maintaining high coating elasticity. Thus, potassium borophosphates, particularly tetraborophosphate, have proven their potential as an effective and environmentally friendly alternative to traditional corrosion inhibitors.

Keywords: protective coatings, anti-corrosion coatings, corrosion inhibitors, barrier properties of potassium borophosphates, steel passivation.

Citation. Fadeev I. V., Uspensky I. A., Fomin S. D., Yukhin I. A., Byshov D. N., Ushanev A. I. The modernization of the agricultural machinery corrosion protecting composition. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 559-571 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-62.

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 620.197:631.3:678.5.06

**МОДЕРНИЗАЦИЯ СОСТАВА ДЛЯ ЗАЩИТЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ
ОТ КОРРОЗИИ**

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
²Ушанев А. И., кандидат технических наук, доцент

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

Работа выполнена в соответствии с планом НИР ФГБОУ ВО РГАТУ на 2021-2025 годы по теме «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве. Перспективы развития сельских территорий».

Актуальность. Применяемые сегодня ингибиторы в составе защитных покрытий имеют существенные ограничения, такие как токсичность, склонность к расслоению или высокая стоимость, что диктует необходимость поиска новых, технологичных и экологических решений. **Объект.** В качестве базового материала для создания модернизированного покрытия выбрана пластизольная мастика Д11А. **Материалы и методы.** Для модификации свойств пластизоля в его состав вводились синтезированные мета-, тетра- и пентаборфосфат калия в концентрациях от 1 до 6 % масс. Комплексная оценка эффективности проводилась с помощью исследования физико-механических свойств, адгезии методом решетчатого надреза, электрохимических методов и коррозионных испытаний в камере соляного тумана. **Результаты и выводы.** Экспериментально установлено, что все исследуемые борфосфатные добавки улучшают характеристики покрытия: адгезия возрастает до наивысшего класса 0, предел прочности увеличивается на 38-209 %, а электрохимические измерения фиксируют выраженный ингибирующий эффект. Среди изученных модификаторов тетраборфосфат калия в концентрации 5 % продемонстрировал оптимальный комплекс свойств, обеспечив наилучшую долговременную коррозионную стойкость в агрессивной среде при сохранении высокой эластичности покрытия. Таким образом, борфосфаты калия, в особенности тетраборфосфат, подтвердили свою перспективность в качестве эффективной и экологичной альтернативы традиционным ингибиторам коррозии.

Ключевые слова: защитные покрытия, противокоррозионные покрытия, ингибиторы коррозии, барьерные свойства борфосфатов калия, пассивация стали.

Цитирование. Фадеев И. В., Успенский И. А., Фомин С. Д., Юхин И. А., Бышов Д. Н., Ушанев А. И. Модернизация состава для защиты сельскохозяйственной техники от коррозии. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 559-571. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-62.

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. Поливинилхлоридные (ПВХ) пластизолы, в частности мастика Д11А, широко применяются для защиты сельскохозяйственной техники, металлических конструкций и трубопроводов от атмосферной, химической и подземной коррозии, благодаря высокой водостойкости, эластичности и адгезии к металлам [1, 2, 3]. Однако в условиях длительной эксплуатации при циклических механических и термических нагрузках, а также в средах с высокой концентрацией хлоридов наблюдается постепенное снижение барьерных свойств покрытия, приводящее к локальным отслоениям и развитию подпленочной коррозии [4, 5, 6].

Традиционным решением для повышения защитных характеристик является введение в состав мастик пигментов и ингибиторов коррозии (фосфата цинка, хроматов стронция, силикатов) [7, 8, 9]. Однако большинство из них обладают рядом недостатков: высокая плотность и склонность к седиментации, токсичность и экологические риски, высокая стоимость [10, 11, 12]. В связи с этим актуальной является разработка эффективных и экологически безопасных модифицирующих добавок, способных одновременно улучшать адгезионные, реологические и ингибирующие свойства пластизолов.

Перспективным классом таких соединений являются борфосфаты щелочных металлов, сочетающие свойства боратов (способность к полимеризации с образованием стеклообразных защитных слоев, буферная емкость) и фосфатов (хемосорбция на оксидной пленке металла с образованием нерастворимых фосфатов железа) [13, 14]. Их комплексное воздействие на систему «полимер-металл» изучено недостаточно, особенно в контексте диспергирования в пластизольной матрице на основе ПВХ.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния метаборфосфата ($\text{KPO}_3 \cdot \text{V}_2\text{O}_5$), тетраборфосфата ($\text{K}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot \text{K}_3\text{PO}_4$) и пентаборфосфата ($\text{K}_3\text{B}_5\text{O}_8 \cdot \text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$) калия на физико-механические, адгезионные и противокоррозионные свойства пластизольной мастики Д11А и установление корреляции между структурой добавки и защитной эффективностью модифицированного покрытия.

Материалы и методы исследования. В качестве объекта исследования использовалась серийная пластизольная мастика Д11А (ТУ 6-01-538-76) на основе дисперсионного поливинилхлорида, пластифицированного диоктилфталатом в соотношении 1:1,2, со стабилизатором теплового старения (соединение свинца) и борфосфатные добавки:

- метаборфосфат калия (МБФК), синтезированный сплавлением при 650 °С стехиометрической смеси KH_2PO_4 и H_3BO_3 с последующим охлаждением и помолом до удельной поверхности 2,5 м²/г;

- тетраборфосфат калия (ТБФК), полученный совместной кристаллизацией из водных растворов $\text{K}_2\text{B}_4\text{O}_7$ и K_3PO_4 , выход 94 %, размер частиц 5-20 мкм;

- пентаборфосфат калия (ПБФК), синтезированный твердофазной реакцией при 720 °С из смеси $\text{K}_2\text{B}_4\text{O}_7$, KBO_2 и $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$.

Подложками служили пластины из стали Ст3 размерами 100×50×2 мм, обработанные абразивом № 6 в соответствии с ГОСТ 9.402-2004, обезжиренные ацетоном.

Борфосфаты вводили в мастику в концентрациях 1, 2, 3, 4, 5 и 6 % масс. от общей массы композиции. Диспергирование проводили на трехвалковой краскотерочной машине ЕХАКТ 80Е при зазоре 30 мкм в течение 40 минут до достижения степени дисперсности Негман 7, что определили с помощью специального прибора гриндометра Хегмана. Контрольным составом служил пластизол Д11А без добавок. Нанесение покрытия осуществляли методом шпателя (толщина мокрой пленки 500 мкм) с последующей гелефикацией при 180 °С в течение 15 мин. в сушильном шкафу Nabertherm. Толщина сухой пленки контролировалась магнитным толщиномером Elcometer 456 и составляла 280 мкм.

Для определения предела прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве использовали метод испытания на растяжение, суть которого заключается в растяжении образца на разрывной испытательной машине с постоянной невысокой скоро-

стью при температуре 23 °С до его разрушения по ГОСТ 11262-2017 «Пластмассы. Метод испытания на растяжение». Во время испытания машина автоматически записывает зависимость приложенной силы от удлинения образца, что позволяет рассчитать все необходимые параметры по специальным формулам:

Предел прочности при растяжении вычисляли по формуле [15]:

$$\sigma = N_{\max} / A,$$

где: σ – предел прочности при растяжении (МПа); $N_{\max}$ – максимальная сила, приложенная к образцу (Н); A – площадь поперечного сечения образца (мм²).

относительное удлинение при разрыве (δ) [16]:

$$\delta = (l_k - l_0) / l_0 \times 100, \%,$$

где: l_k – конечная длина образца после разрыва, см; l_0 – начальная расчетная длина образца, см.

Стандартные образцы в виде «гантелей» изготавливали из мастики Д11А и ее композиций с борфосфатами концентрацией 1 % масс., 2 % масс., 3 % масс., 4 % масс., 5 % масс., 6 % масс., которые отверждали при температуре 180 °С в течение 15 минут.

Адгезионную прочность составов определяли методом решетчатого надреза в соответствии с ГОСТ 15140-78 «Материалы лакокрасочные. Методы определения адгезии», который основан на нанесении на покрытие толщиной 280 мкм решетки из шести параллельных надрезов шагом 2,0 мм в двух взаимно перпендикулярных направлениях с помощью стандартного резака для адгезии Elcometer 1540 с многолезвийной головкой и последующей визуальной оценкой степени отслоения покрытия в зоне надрезов. Надрезы прорезали до подложки (пластины из стали Ст3 размерами 150×100 мм), разделяя покрытие на 25 отдельных квадратов. После нанесения надрезов проводили тестирование с использованием клейкой ленты (прозрачная самоклеящаяся лента Permacel 99 на основе целлофана шириной 25 мм, адгезия ленты к стеклу составляет 6,5 Н/25 мм) для выявления слабосвязанных участков покрытия. Ленту приклеивали к образцу так, чтобы она покрывала не менее 20 квадратов решетки, затем резким движением отрывали ее под углом, близким к 180°, за свободный конец. Продолжительность отрыва составляла 0,5-1,0 секунды. Результат оценивали визуально по стандартной шкале классов в соответствии с нормативами, приведенными в ГОСТ 15140-78 (таблица 1). Степень повреждения покрытия классифицировали по шкале от 0 (наилучший результат) до 5 (наихудший результат). Оценка проводилась для трех образцов из одной серии, итоговый класс присваивался по худшему результату.

Таблица 1 – Шкала оценки адгезии методом решетчатого надреза
Table 1 – Cross-cut adhesion rating scale

Класс / Class	Описание состояния кромок надрезов и площади отслоения / Description of the condition of the cut edges and the area of delamination
0	Кромки надрезов совершенно гладкие; ни один из квадратов не отслоился / The edges of the cuts are perfectly smooth; none of the squares have peeled off
1	Незначительное отслоение покрытия в местах пересечения надрезов. Отслоенная площадь составляет менее 5 % всей площади решетки / Minor peeling of the coating at the intersection of the cuts. The peeled area is less than 5 % of the total area of the grid
2	Отслоение покрытия происходит вдоль кромок надрезов и/или в местах их пересечений. Отслоенная площадь составляет от 5 % до 15 % площади решетки / The coating peels off along the edges of the incisions and/or at their intersections. The peeled-off area ranges from 5 % to 15 % of the grid area
3	Частичное или полное отслоение покрытия по кромкам надрезов, а также отслоение отдельных квадратов. Отслоенная площадь составляет от 15 % до 35 % / Partial or complete peeling of the coating along the edges of the cuts, as well as peeling of individual squares. The peeled area ranges from 15 % to 35 %
4	Полное отслоение покрытия по кромкам надрезов и отслоение некоторых квадратов. Отслоенная площадь составляет от 35 % до 65 % / Complete peeling of the coating along the edges of the cuts and peeling of some squares. The peeled area ranges from 35 % to 65 %
5	Любая степень отслоения, превышающая характеристики, описанные для класса 4 (более 65 % отслоения) / Any degree of peeling that exceeds the characteristics described for class 4 (more than 65 % peeling)

Примечание: Для ингибированных пластизольных мастик, предназначенных для долговременной защиты, приемлемым результатом считается класс 0 или 1. Класс 2 и ниже указывают на недостаточную адгезию для ответственных конструкций.

Электрохимические испытания потенциостатическим методом проводили с целью определения устойчивости покрытий на основе пластизольной мастики Д11А и ее композиций с борфосфатами к электрохимической коррозии в 3 %-м растворе NaCl методом длительного потенциостатического выдерживания. Оценку защитных свойств покрытий производили по изменению стационарного потенциала системы «покрытие-металл» во времени.

Метод основан на непрерывной регистрации установившегося (стационарного) потенциала стали, защищенной покрытием, при ее длительном контакте с электролитом. Смещение потенциала в сторону более положительных значений свидетельствует о формировании или сохранении пассивного состояния металла под покрытием и о его высоких барьерных свойствах. В экспериментах использовали потенциостат/гальваностат П-5848, со стандартной трехэлектродной ячейкой объемом 500 мл. Рабочим электродом служила пластина из стали Ст3 размерами 20×20×2 мм с нанесенным исследуемым покрытием толщиной 280 мкм, электродом сравнения – хлоридсеребряный электрод (ХСЭ), вспомогательным электродом – платиновая сетка.

Температура электролита составляла 23,0 °С, время экспозиции – 24 часа. Испытывали покрытия из пластизоля Д11А и покрытия из модифицированных композиций Д11А + 5 % МБФК, Д11А + 5 % ТБФК, Д11А + 5 % ПБФК.

После запуска эксперимента потенциостат непрерывно регистрировал значение потенциала рабочего электрода (Е) во времени (t) с интервалом записи 1-10 секунд. По окончании измерения данные использовали для построения графиков и анализа.

Коррозионные испытания в камере соляного тумана в 5 %-м растворе NaCl при температуре 35 °С проводили по ГОСТ 9.407-2015 «Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Метод оценки внешнего вида» с целью определения коррозионной стойкости защитных покрытий из пластизольной мастики Д11А и ее композиций с борфосфатами в ускоренных условиях.

Пластины размерами 100×150 мм из стали Ст3 очищали, обезжиривали и наносили на них контрольное или модифицированные покрытия толщиной 280 мкм. На каждом образце делали искусственный сквозной Х-образный надрез до металла длиной около 50 мм. Края и места креплений изолировали герметиком на основе силикона. Затем образцы устанавливали на стойки в герметичной камере под углом 20° на расстоянии не менее 20 мм друг от друга, от стенок – не менее 100 мм, от дна камеры – не менее 200 мм. В камере непрерывно распылялся аэрозоль из 5 %-го раствора хлорида натрия (NaCl). Высокая влажность ≥ 95 % и температура +35 °С в камере значительно ускоряют коррозионные процессы.

Образцы после извлечения из камеры промывали проточной водой, просушивали фильтровальной бумагой, осматривали на наличие разрушений. При оценке внешнего вида состояние покрытия на кромках и прилегающих к ним поверхностях на расстоянии 10 мм не учитывали. Оценку проводили визуально по степени поражения покрытия через фиксированные промежутки времени: через 240 часов (10 суток), 500 часов (~21 сутки) и 1000 часов (~42 суток) по стандартной шкале ISO 4628 «Лаки и краски. Оценка разрушения лакокрасочных покрытий». В качестве основного оцениваемого дефекта было принято отслоение (адгезионная потеря) от надреза или края. Результаты выражали в виде цифрового кода (0-5) и процента пораженной площади [17]:

- 0 (S0) – отслоений нет;
- 1 (S1) – отслоение ≤ 0.5 мм от надреза, площадь < 1 %;
- 2 (S2) – отслоение ≤ 1 мм, площадь < 3 %;
- 3 (S3) – отслоение ≤ 2 мм, площадь < 15 %;
- 4 (S4) – отслоение > 2 мм, площадь < 50 %;
- 5 (S5) – отслоение любой ширины, площадь > 50 %.

Результаты и их обсуждение. Влияние борфосфатов на физико-механические свойства композиций отражено в таблице 1 и рисунке 1.

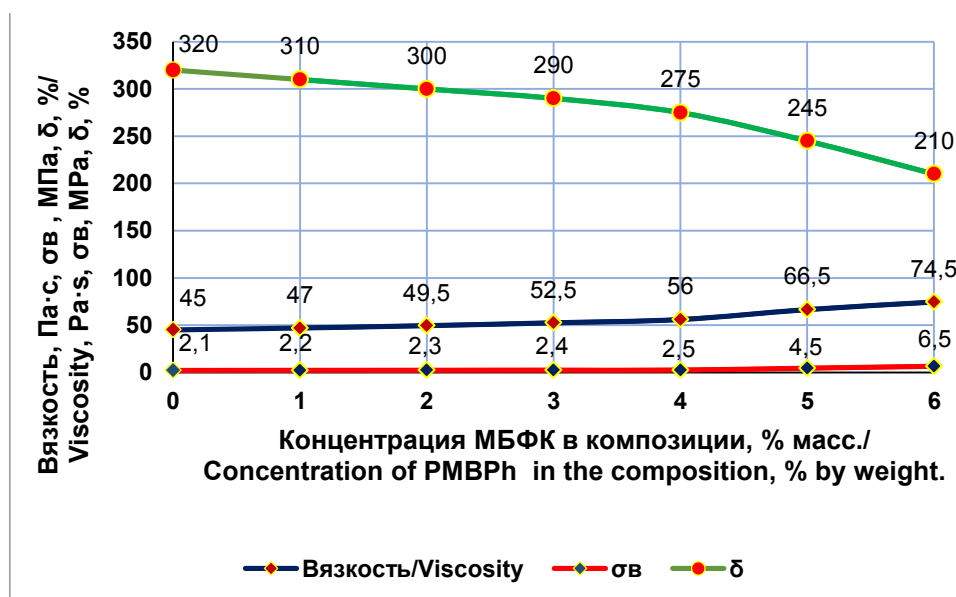
Проведенные исследования реологических и механических свойств пластизольной мастики Д11А, модифицированной борфосфатами калия, выявили четкие закономерности и существенные различия в действии изучаемых добавок.

Таблица 2 – Влияние концентрации борфосфатов на физико-механические свойства композиций
Table 2 – Effect of boron phosphate concentration on the physical and mechanical properties of the compositions

Состав / Composition	Вязкость, Па·с / Viscosity, Pa s	Предел прочности при растяжении, σ_b , МПа / Tensile strength, σ_b , MPa	Относительное удлинение при разрыве, δ , % / Elongation at break, δ , %
Д11А (контроль) / control	45,0	2,10	320
Д11А + 1 % МБФК / РМВРh	47,0	2,20	310
Д11А + 2 % МБФК / РМВРh	49,5	2,30	300
Д11А + 3 % МБФК / РМВРh	52,5	2,40	290
Д11А + 4 % МБФК / РМВРh	56,0	2,50	275
Д11А + 5 % МБФК / РМВРh	66,5	4,50	245
Д11А + 6 % МБФК / РМВРh	74,5	6,50	210
Д11А + 1 % ТБФК / РТВРh	47,5	2,30	305
Д11А + 2 % ТБФК / РТВРh	50,5	2,45	290
Д11А + 3 % ТБФК / РТВРh	54,0	2,60	275
Д11А + 4 % ТБФК / РТВРh	58,0	2,75	260
Д11А + 5 % ТБФК / РТВРh	62,5	2,90	245
Д11А + 6 % ТБФК / РТВРh	67,5	3,10	230
Д11А + 1 % ПБФК / РРВРh	48,0	2,25	300
Д11А + 2 % ПБФК / РРВРh	51,5	2,40	280
Д11А + 3 % ПБФК / РРВРh	55,5	2,55	260
Д11А + 4 % ПБФК / РРВРh	60,0	2,70	240
Д11А + 5 % ПБФК / РРВРh	69,5	2,85	210
Д11А + 6 % ПБФК / РРВРh	74,5	3,00	180

Введение всех трех типов борфосфатов приводит к монотонному росту вязкости и предела прочности (σ_b) при одновременном снижении относительного удлинения (δ). Это объясняется тем, что твердые частицы борфосфатов, взаимодействуя с полимерной матрицей, упрочняют ее, но ограничивают подвижность макромолекул, снижая эластичность.

Большой интерес вызывает аномальное поведение композиции с МБФК. При концентрациях 1-4 % влияние МБФК на физико-механические свойства композиции сопоставимо с другими добавками. Однако при 5 % и, особенно, при 6 % наблюдается скачкообразный рост σ_b – в 2,1 и 3,1 раза (до 4,5 и 6,5 МПа) соответственно относительно контроля (2,1 МПа). Этот прирост на порядок превышает эффект от ТБФК и ПБФК при тех же концентрациях.



a)

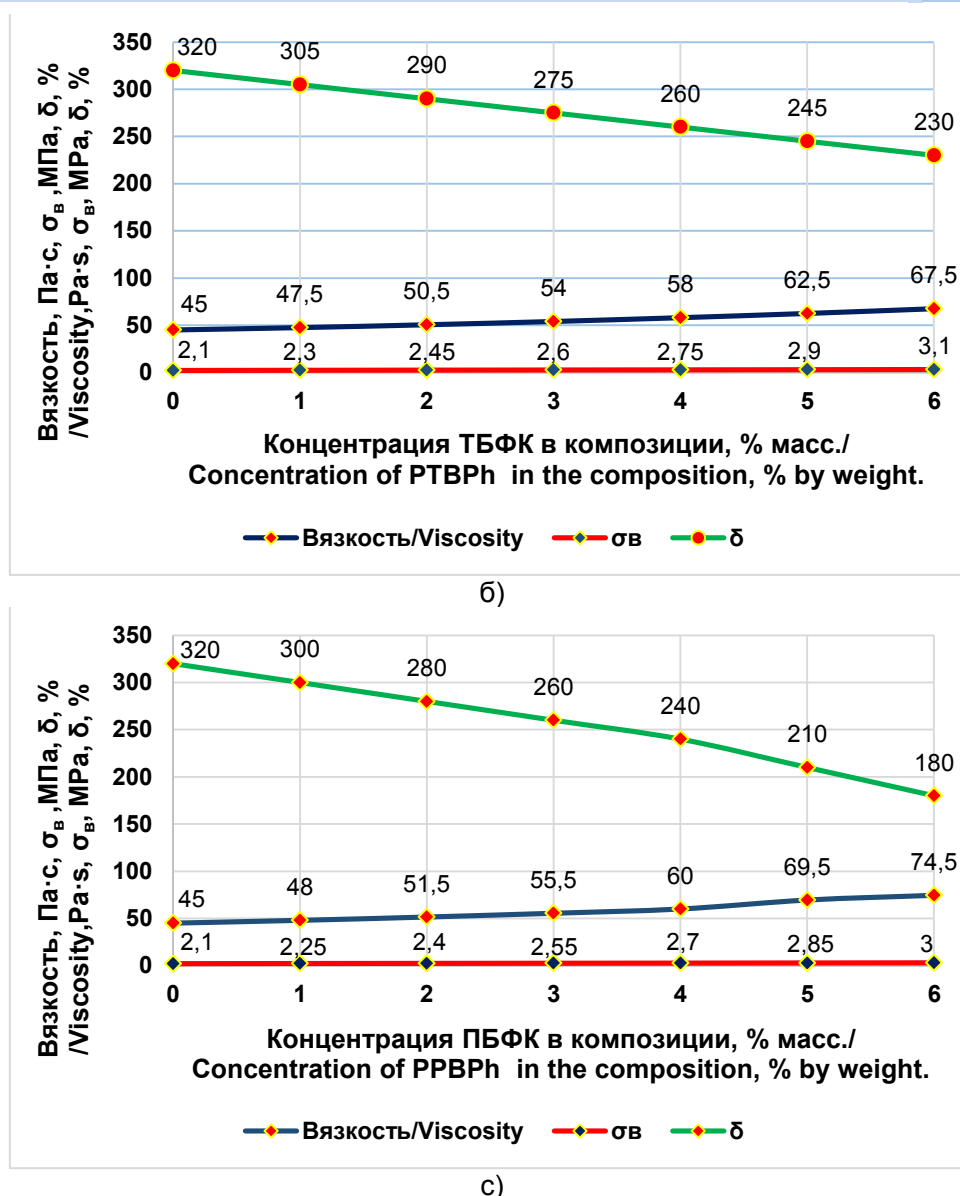


Рисунок 1 – Влияние концентрации борфосфатов на физико-механические свойства композиции:
а) – МБФК; б) – ТБФК; в) – ПБФК

Figure 1 – Effect of boron phosphate concentration on the physical and mechanical properties of the composition: а) – PMBPh; б) – PTBPh; в) – PPBPh

Столь резкое упрочнение, сопровождаемое значительным ростом вязкости и падением эластичности, указывает на качественное изменение структуры композита. Можно предположить, что частицы МБФК при критической концентрации образуют в пластизоле протяженную пространственную сетку, что резко повышает сопротивление деформации.

Влияние ТБФК и ПБФК на физико-механические свойства композиции носит более линейный и предсказуемый характер. ТБФК показывает наилучший сбалансированный эффект в диапазоне концентраций 1-5 % масс., обеспечивая плавный рост σ_v при наиболее умеренном снижении δ . Так, при концентрации ТБФК 5 % эластичность композиции остается на уровне 245 %, что значительно выше, чем у состава с 5 %-м ПБФК (210 %).

ТБФК, содержащий в структуре как боратные, так и фосфатные анионы, проявляет синергетический эффект. Боратный компонент способствует взаимодействию с полимером, а фосфатный – с поверхностью металла, что в комплексе обеспечивает эффективное упрочнение без значительной потери пластичности. Его влияние на вязкость также наиболее контролируемо.

С точки зрения технологии нанесения, составы с ТБФК являются наиболее предпочтительными. Даже при его концентрации 6 % вязкость композиции (67,5 Па·с) остается в приемлемых для шпатлевания пределах, в то время как МБФК и ПБФК при 6 %-й концентрации приводят вязкость к предельно высоким значениям (74,5 Па·с), что может затруднить шпатлевание композиции.

Исследование адгезии по методу решетчатого надреза покрытий показал, что все композиции пластизола Д11А, модифицированные борфосфатами калия (МБФК, ТБФК, ПБФК) в концентрациях 1-6 % масс, продемонстрировали высокую адгезию к стальной подложке, соответствующую наивысшему классу 0 (рисунок 2, а) по ГОСТ 15140-78. При этом контрольный (немодифицированный) состав показал лишь удовлетворительную адгезию класса 2 (рисунок 2, б), с отслоением до 15 % площади в зоне надрезов.

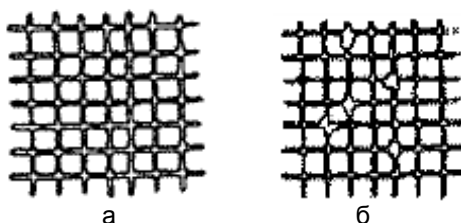


Рисунок 2 – Результаты исследования адгезии покрытий по методу решетчатого надреза:
а – композиций пластизола Д11А, модифицированных борфосфатами калия (наивысший класс 0);
б – немодифицированного состава (класс 2)

Figure 2 – Results of the study of coating adhesion using the cross-cut method:
a – compositions of plastisol D11A modified with potassium borophosphates (the highest class 0);
b – unmodified composition (class 2)

Резкое улучшение адгезии модифицированных композиций связано со способностью бор- и фосфат-ионов, входящих в состав добавок, к хемосорбции на оксидной поверхности стали. Это приводит к формированию дополнительных химических связей на границе раздела фаз, значительно увеличивая энергию сцепления полимерной матрицы с металлом.

Полученные данные по адгезии находятся в полной корреляции с результатами механических испытаний, показавшими значительный рост предела прочности (σ_b) для модифицированных композиций. Усиление межфазного взаимодействия является главной причиной общего повышения прочностных характеристик модифицированного покрытия.

Класс адгезии 0 указывает на формирование высокопрочного адгезионного контакта покрытия с подложкой, исключающего риск отслоения покрытия от подложки в условиях эксплуатационных нагрузок и воздействия агрессивных сред. Это подтверждает, что введение борфосфатов не только упрочняет мастику, но и кардинально повышает ее защитную функцию и долговечность.

Электрохимические испытания устойчивости покрытий на основе пластизольной мастики Д11А и ее композиций с борфосфатами к электрохимической коррозии в 3 %-м растворе NaCl методом длительного потенциостатического выдерживания дали результаты, приведенные в таблице 3, используя которые были построены кинетические кривые изменения потенциала образцов с различными покрытиями во времени (рисунок 3).

Таблица 3 – Изменение значения потенциала рабочего электрода (Е) с различными покрытиями во времени (t)

Table 3 – Change in the value of the working electrode potential (E) with different coatings over time (t)

Время, t, ч / Time, t, h	Электродный потенциал стали с покрытием, E, В (ХСЭ) / Electrode potential of coated steel, E, V (S.Ch.E.)			
	Д11А / D11A	Д11А + 5 % МБФК / D11A + 5 % РМВPh	Д11А + 5 % ПБФК / D11A + 5 % РРВPh	Д11А + 5 % ТБФК / D11A + 5 % РТВPh
0	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40
6	-0,34	-0,32	-0,30	-0,27
12	-0,32	-0,28	-0,25	-0,20
18	-0,30	-0,26	-0,22	-0,16
24	-0,31	-0,25	-0,21	-0,13

Полученные кинетические кривые изменения потенциала во времени (таблица 3 и рисунок 3) наглядно демонстрируют принципиальное различие в защитной эффективности исследуемых покрытий.

У образцов со всеми покрытиями в первые часы испытаний происходит смещение потенциала в положительную (анодную) область. Однако динамика и конечная величина этого смещения у образцов различны и зависят от состава покрытия.

Немодифицированная мастика Д11А демонстрирует наименее выраженный защитный эффект. После начального смещения от $-0,40$ В до $-0,34$ В (через 6 часов) потенциал практически стабилизируется в диапазоне от $-0,32$ В до $-0,31$ В. Это указывает на то, что барьерные свойства чистого пластизола ограничены. Покрытие оказывает пассивное сопротивление, но, вероятно, достаточно быстро происходит его набухание и диффузия электролита к поверхности металла, после чего система выходит на стационарный режим с активным протеканием коррозионных процессов на сравнительно отрицательном потенциале.

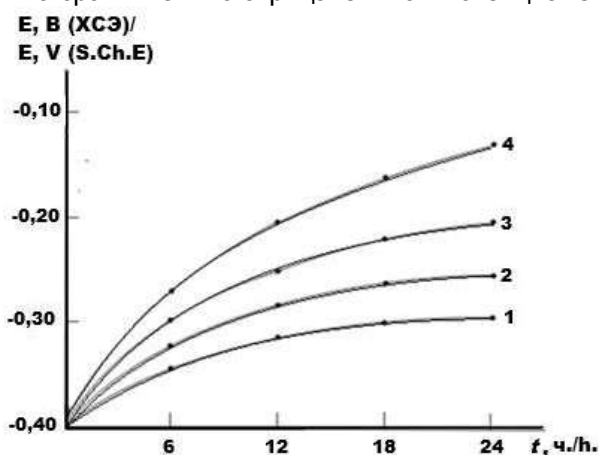


Рисунок 3 – Кинетические кривые изменения потенциала во времени:

1 – Д11А; 2 – Д11А + 5 % МБФК; 3 – Д11А + 5 % ПБФК; 4 – Д11А + 5 % ТБФК

Figure 3 – Kinetic curves of potential change over time:

1 – D11A; 2 – D11A + 5 % PMBPh; 3 – D11A + 5 % PPBPh; 4 – D11A + 5 % PTBPh

Введение борфосфатов приводит к качественному изменению электрохимического поведения системы. Все модифицированные композиции обеспечивают более положительное смещение потенциала, что является однозначным признаком ингибирования анодной реакции растворения железа:

Композиция Д11А + 5 % МБФК смещает потенциал до $-0,25$ В к 24-му часу. Показавшая ранее наибольший прирост механической прочности, она демонстрирует и значительный ингибирующий эффект.

У композиции Д11А + 5 % ПБФК динамика потенциала наиболее плавная и устойчивая, достигая значения $-0,21$ В к концу экспозиции. Это говорит о том, что ПБФК, несмотря на вызываемое им снижение эластичности, является эффективным анодным ингибитором, способным за счет образования наиболее плотных и непроницаемых слоев комплексных борат-фосфатных соединений на поверхности стали, максимально подавлять ее коррозию.

Композиция Д11А + 5 % ТБФК показала наилучший результат в электрохимическом тесте, установившись на потенциале $-0,13$ В к концу экспозиции. Такой потенциал близок к области пассивного состояния железа в нейтральных средах. Это коррелирует с ранее выявленным оптимальным балансом механических свойств у данной композиции и свидетельствует о синергетическом ингибирующем действии тетраборфосфата.

Ранжирование покрытий по конечному значению потенциала через 24 часа выглядит следующим образом (от лучшего к худшему):

$$\begin{aligned} \text{Д11А} + 5 \% \text{ ТБФК } (-0,13 \text{ В}) &> \text{Д11А} + 5 \% \text{ ПБФК } (-0,21 \text{ В}) > \\ &> \text{Д11А} + 5 \% \text{ МБФК } (-0,25 \text{ В}) > \text{Д11А } (-0,31 \text{ В}). \end{aligned}$$

Полученные данные подтверждают, что борфосфаты выполняют функцию пассиваторов-ингибиторов. Они образуют на поверхности стали труднорастворимые соединения (бораты и фосфаты железа), блокируя активные анодные центры. Это приводит к смеще-

нию потенциала в благородную область и резкому торможению коррозии. Разная эффективность мета-, тетра- и пентаборфосфатов калия связана с их химической структурой, растворимостью и соотношением бор : фосфор, определяющим свойства формируемого защитного слоя.

Наиболее эффективным с точки зрения антикоррозионной защиты в моделированной коррозионной среде является ТБФК.

В процессе проведения ускоренных испытаний в камере соляного тумана получены следующие результаты коррозионной стойкости защитных покрытий пластизольной мастики Д11А и ее композиций с борфосфатами (таблица 4).

Данные таблицы 4 наглядно показывают эффективность борфосфатов как ингибиторов подпленочной коррозии:

ТБФК обеспечивает наилучшую долговременную защиту от распространения коррозии от надреза. Это связано с его сбалансированным составом, обеспечивающим как хорошую адгезию, так и анодное ингибирование.

Композиции с МБФК и ПБФК демонстрируют среднюю коррозионную стойкость, что можно объяснить их меньшей сопротивляемостью воздействию соляного тумана.

Контрольный состав с худшей начальной адгезией (класс 2 по решетке) показывает наихудший результат в камере.

Таблица 4 – Результаты ускоренных испытаний коррозионной стойкости защитных покрытий пластизольной мастики Д11А и ее композиций с борфосфатами в камере соляного тумана
Table 4 – Results of accelerated tests of corrosion resistance of protective coatings of plastisol mastic Д11А and its compositions with boron phosphates in a salt spray chamber

Состав покрытия / Coating composition	Периодичность оценки / Frequency of assessment			Итоговый класс / Final class (ISO 4628-8)
	через 240 ч / in 240 hours	через 500 ч / in 500 hours	через 1000 ч / in 1000 hours	
Д11А (контроль) / D11A (control)	Начальное вздутие по краю надреза (S2) / Initial swelling at the incision edge (S2)	Увеличение зоны отслоения (S3) / In- crease in the detach- ment zone (S3)	Сильное отслоение, коррозия металла под пленкой (S4) / Severe peeling and metal corrosion under the film (S4)	4 (S4)
Д11А + 5 % МБФК / D11A + 5 % РМВРh	Возможно мини- мальное вздутие (S0-S1) / Minimal swelling is possi- ble (S0-S1)	Стабильное состоя- ние, возможна узкая полоса вздутия ≤1 мм (S1-S2) / Sta- ble condition, possible narrow band of swell- ing ≤1 mm (S1-S2)	Умеренное прогрес- сирование отслоения от надреза (S2-S3) / Moderate progression of detachment from the incision (S2-S3)	2-3 (S2-S3)
Д11А + 5 % ТБФК / D11A + 5 % РТВРh	Практически без изменений (S0) / Almost unchanged (S0)	Минимальные изме- нения, стабильность (S0-S1) / Minimal changes, stability (S0-S1)	Незначительное от- слоение, значительно меньше контроля (S1- S2) / Minor detach- ment, significantly less than control (S1-S2)	1-2 (S1-S2)
Д11А + 5 % ПБФК / D11A + 5 % РРВРh	Возможно мини- мальное вздутие (S0-S1) / Minimal swelling is possi- ble (S0-S1)	Стабильное состоя- ние, возможна узкая полоса вздутия ≤1 мм (S1-S2) / Sta- ble condition, possible narrow band of swell- ing ≤1 mm (S1-S2)	Умеренное прогрес- сирование отслоения от надреза (S2-S3) / Moderate progression of detachment from the incision (S2-S3)	2-3 (S2-S3)

Положительное влияние борфосфатов в условиях солевого тумана объясняется их синергетическим ингибирующим и пассивирующим действием. Борат-фосфатные ионы, проникая с влагой к границе металл-покрытие, формируют нерастворимые соединения, восстанавливая дефекты и блокируя анодные участки даже при длительном воздействии хлоридов.

Испытания доказали, что введение 5 % ТБФК не только улучшает физико-механические свойства, но и повышает эксплуатационный ресурс покрытия в несколько раз (переход от класса S4 к S1-S2 означает качественный скачок в долговечности).

Модификация мастики Д11А борфосфатами калия, и в особенности тетраборфосфатом калия, является эффективным способом создания покрытий для работы в условиях коррозионно-агрессивного климата.

Заключение. 1. Установлена высокая эффективность мета-, тетра- и пентаборфосфата калия в качестве модифицирующих добавок к пластизольной мастике Д11А. В оптимальной концентрации 5 % масс. все три добавки улучшают комплекс эксплуатационных свойств покрытия: повышают адгезию с подложкой до наивысшего класса 0 (без отслоений), увеличивают предел прочности при растяжении и обеспечивают выраженный ингибирующий эффект, смещая потенциал стали в пассивную область.

2. Выявлена селективность действия исследуемых борфосфатов, определяемая их химической структурой:

- тетраборфосфат калия показал наиболее сбалансированный и эффективный комплекс свойств. Он обеспечивает значительное упрочнение материала ($\sigma_b = 2,9-3,1$ МПа при концентрации 5-6 % масс.), сохраняет высокую эластичность ($\delta = 230-245$ %), демонстрирует максимальный анодно-ингибирующий потенциал ($-0,13$ В) и наилучшую коррозионную стойкость в камере солевого тумана (класс S1-S2 после 1000 ч). Это связано с синергетическим эффектом ионов бора и фосфора в его составе;

- метаборфосфат калия вызывает скачкообразное увеличение механической прочности (до 6,5 МПа), но приводит к значительному росту вязкости и снижению эластичности, что может ограничивать его технологическое применение;

- пентаборфосфат калия проявляет хороший ингибирующий эффект, но приводит к наибольшему снижению эластичности покрытия.

3. Научно обоснован механизм защиты, обеспечиваемый борфосфатами. Улучшение свойств обусловлено их многофункциональным действием: формированием дополнительных химических связей на границе «металл-покрытие» (хемосорбция), упрочнением полимерной матрицы и, что наиболее важно, анодно-пассивирующим ингибированием за счет образования в дефектах покрытия нерастворимых боратно-фосфатных соединений железа. Это подтверждается положительной динамикой потенциала и высокими барьерными свойствами в агрессивной среде.

4. Подтверждена практическая целесообразность модификации мастики Д11А борфосфатами для применения в условиях сельского хозяйства. Модифицированные составы, особенно с 5 %-й концентрацией ТБФК, в 4-6 раз снижают скорость подпленочной коррозии, обеспечивают долговременную защиту при механических повреждениях и циклических нагрузках, сохраняя при этом технологичность нанесения. Это позволяет рекомендовать тетраборфосфат калия в качестве оптимальной экологически безопасной альтернативы традиционным хроматным и фосфатным ингибиторам для создания защитных покрытий нового поколения.

Conclusions. 1. The high effectiveness of potassium meta-, tetra-, and pentaboron phosphate as modifying additives for D11A plastisol mastic was established. At an optimal concentration of 5 % by weight, all three additives improve the coating's performance properties: they increase adhesion to the substrate to the highest Class 0 (no delamination), increase tensile strength, and provide a pronounced inhibitory effect, shifting the steel's potential to the passive region.

2. The selectivity of the studied boron phosphates, determined by their chemical structure, was revealed:

- potassium tetraboron phosphate demonstrated the most balanced and effective combination of properties. It provides significant material strengthening ($\sigma = 2.9-3.1$ MPa at a concentration of 5-6 % by weight), maintains high elasticity ($\delta = 230-245$ %), exhibits maximum anodic inhibition potential (-0.13 V), and excellent corrosion resistance in a salt spray chamber (class S1-S2 after 1000 h). This is due to the synergistic effect of boron and phosphorus ions in its composition;

- potassium metaboron phosphate causes a sudden increase in mechanical strength (up to 6.5 MPa), but leads to a significant increase in viscosity and a decrease in elasticity, which may limit its technological application;

- potassium pentaboron phosphate exhibits a good inhibitory effect, but leads to the greatest decrease in coating elasticity.

3. The protective mechanism provided by boron phosphates has been scientifically substantiated. The improved properties are due to their multifunctional action: the formation of additional chemical bonds at the metal-coating interface (chemisorption), strengthening of the polymer matrix, and, most importantly, anodic-passivating inhibition due to the formation of insoluble iron borate-phosphate compounds in coating defects. This is confirmed by the positive potential dynamics and high barrier properties in aggressive environments.

4. The practical feasibility of modifying D11A mastic with boron phosphates for use in agricultural conditions has been confirmed. Modified compositions, especially those with a 5 % concentration of TBPP, reduce the rate of under-film corrosion by 4-6 times, provide long-term protection against mechanical damage and cyclic loads, while maintaining the ease of application. This allows potassium tetraborophosphate to be recommended as an optimal, environmentally friendly alternative to traditional chromate and phosphate inhibitors for creating next-generation protective coatings.

Библиографический список

1. Бышов Н. В., Бoryчев 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. Смирнов А. Г., Максимов И. И., Калимуллин М. Н. Использование биоразлагаемых материалов для защиты сельскохозяйственной техники от коррозии. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2025. Т. 20. № 1(77). С. 75-81.
3. 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.
4. Бышов Н. В., Успенский И. А., Цымбал А. А. и др. Влияние величины зазора на скорость щелевой коррозии автотракторной техники. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 2 (58). С. 328-337.
5. Смирнов А. Г., Максимов И. И., Гордеев А. А. Противокоррозионные свойства сосновой живицы. Сельский механизатор. 2025. № 8. С. 35-37.
6. 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.
7. Фадеев И. В., Успенский И. А., Пестряева Л. Ш., Садетдинов Ш. В. Глицероборатное моющее-пассивирующее средство для ремонтного производства автотракторной техники. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 2 (62). С. 431-441.
8. 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.
9. 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.
10. Бышов Н. В., Полищук С. Д., Фадеев И. В., Садетдинов Ш. В. Ингибитор коррозии металлов для использования при ремонте автотракторной техники. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 2 (54). С. 265-275.
11. Успенский И. А., Фадеев И. В., Ушанев А. И. и др. Улучшение защитных свойств противокоррозионной мастики. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2020. № 2 (46). С. 96-101.
12. 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.
13. Илларионов И. Е., Садетдинов Ш. В., Фадеев И. В. [и др.] Влияние боратов на противокоррозионную стойкость стали Ст3 в растворах синтетических моющих средств. Черные металлы. 2020. № 1. С. 50-55.
14. Успенский И. А., Фадеев И. В., Садетдинов Ш. В. и др. Получение ингибиторов коррозии черных металлов методом физико-химического анализа. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2020. № 2 (46). С. 90-95.
15. Бышов Н. В., Успенский И. А., Юхин И. А. и др. Исследование способов улучшения моющих и противокоррозионных свойств растворов синтетических моющих средств. Техника и оборудование для села. 2020. № 5 (275). С. 42-44.
16. Шемякин А. В., Фадеев И. В., Успенский И. А. и др. Состав для противокоррозионной обработки деталей резьбовых соединений. Инженерные технологии и системы. 2023. Т. 33. № 2. С. 256-269.
17. Успенский И. А., Фадеев И. В., Шемякин А. В. и др. Анализ факторов воздействия моющих средств на сельскохозяйственную технику. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2021. Т. 13. № 3. С. 120-129.

References

1. Byshov N. V., Borychev S. N., Uspensky I. A., Fadeev I. V. Development of a new means for protecting agricultural machinery during storage. Machinery and equipment for the village. 2019. No 6 (264). Pp. 38-42.
2. Smirnov A. G., Maksimov I. I., Kalimullin M. N. Use of biodegradable materials for protecting agricultural machinery from corrosion. Bulletin of Kazan State Agrarian University. 2025. Vol. 20. No 1 (77). Pp. 75-81.
3. Fadeev I. V., Uspensky I. A., Ushanev A. I. et al. Improving the efficiency of the technology for applying an anti-corrosion composition when storing agricultural machinery. Machinery and equipment for the village. 2022. No 1 (295). Pp. 39-42.
4. Byshov N. V., Uspensky I. A., Tsybmal A. A. et al. Effect of gap size on the rate of crevice corrosion of automotive and tractor equipment. News of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2020. No 2 (58). Pp. 328-337.
5. Smirnov A. G., Maksimov I. I., Gordeev A. A. Anticorrosive properties of pine resin. Rural machine operator. 2025. No 8. Pp. 35-37.
6. 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.
7. 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.
8. Uspensky I. A., Fadeev I. V., Pestryaeva L. Sh., et al. Additive to detergents for washing parts of automotive and tractor equipment. News of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2020. No 4 (60). Pp. 414-425.
9. Sadetdinov Sh. V., Pestryaeva L. Sh., Fadeev I. V., Pestryaev D. A. Increasing the corrosion resistance of carbon steel using dipine conborate compounds. Ferrous Metals. 2020. No 11. Pp. 40-45.
10. Byshov N. V., Polischuk S. D., Fadeev I. V., Sadetdinov Sh. V. Corrosion inhibitor for use in the repair of automotive and tractor equipment. News of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2019. No 2 (54). Pp. 265-275.

11. Uspensky I. A., Fadeev I. V., Ushanev A. I. et al. Improving the protective properties of anticorrosive mastic. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2020. No 2 (46). Pp. 96-101.
12. Byshov N. V., Uspensky I. A., Alekseev V. V., Fadeev I. V. Changes in contact angles when adding surfactants to cleaning solutions. Engineering technologies and systems. 2019. Vol. 29. No 2. Pp. 295-305.
13. Illarionov I. E., Sadetdinov Sh. V., Fadeev I. V. et al. Effect of borates on the anticorrosion resistance of St3 steel in synthetic detergent solutions. Ferrous metals. 2020. No 1. Pp. 50-55.
14. Uspensky I. A., Fadeev I. V., Sadetdinov Sh. V. et al. Obtaining corrosion inhibitors for ferrous metals by physicochemical analysis. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2020. No 2 (46). Pp. 90-95.
15. Byshov N. V., Uspensky I. A., Yukhin I. A. [et al.] Study of methods for improving the cleaning and anticorrosion properties of synthetic detergent solutions. Machinery and equipment for the village. 2020. No 5 (275). Pp. 42-44.
16. Shemyakin A. V., Fadeev I. V., Uspensky I. A. et al. Composition for anti-corrosion treatment of threaded joint parts. Engineering technologies and systems. 2023. Vol. 33. No 2. Pp. 256-269.
17. Uspensky I. A., Fadeev I. V., Shemyakin A. V. et al. Analysis of the impact factors of detergents on agricultural machinery. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2021. V. 13. No 3. Pp. 120-129.

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, 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

Ушанев Александр Игоревич, кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева» (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: aushaniev@inbox.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 Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva str., 1), e-mail: ivan.uspensckij@yandex.ru

Fomin Sergey Denisovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, 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 Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva str., 1), e-mail: yuival@rambler.ru

Byshov Dmitry Nikolaevich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Professor, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva str., 1), e-mail: dmitry.byshov@yandex.ru

Ushanev Aleksandr Igorevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva str., 1), e-mail: aushaniev@inbox.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-63

THE EFFECT OF FERTILIZER-ENRICHED HYDROSORBENTS ON THE CHICKPEAS YIELD UNDER IRRIGATION

Tseplyaev A. N., Semenenko S. Ya., Kupriyanov A. A., Melnik S. V.

*All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – the branch of the Federal Scientific Center of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: can_volgau@mail.ru

Received 16.03.2026

Submitted 06.04.2026

The work was carried out within the framework of the state assignment FNFR-2025-0004 "To develop innovative water-saving agricultural technologies for irrigation of crops using precision irrigation based on digital control systems that ensure sustainable yields in the face of global climate change."

Abstract

Introduction. Chickpeas are a promising crop for the arid regions of the Lower Volga region. Its biological feature, associated with obtaining crops in arid, low-moisture climate, was noted in their works by N. I. Vavilov, P. P. Beguchev, V. R. Gulyaev, D. N. Pryanishnikov, and others. V. V. Balashov made a particularly

significant contribution to the development of chickpea production and the expansion of its areas in the Volgograd region and in the Russian Federation. He created and zoned the varieties "Privo-1", "Privo-2", "Volzhanin" and others. Their biological yield ranges from 1.0 t/ha to 3.6 t/ha and depends on the agro-climatic conditions, fertilizers used, sowing dates, etc. It should be noted that large doses of fertilizers help to improve nutrition and increase yields only if there is the necessary amount of moisture, as well as the period of its preservation. Therefore, to increase chickpea yields to 2.5-3.0 t/ha, it is necessary to apply increased doses of fertilizers (350-400 kg/ha), and to create a nutrient medium in the root layer of the soil, to ensure the greatest need for nutrients during the formation and subsequent maturation of beans, therefore, to maintain and prolong the nutrient medium, it is necessary simultaneously with apply a hydrosorbent with fertilizers. It accumulates a nutrient solution (water with fertilizers dissolved in it), and then transmits it to plants through the root system practically during the season. **The object of the study.** The technology of chickpea cultivation based on irrigation using hydrosorbents. **Materials and methods.** The research is based on field experience, during which the necessary measurements of the biometric parameters of chickpea plants were performed using a hydrogel enriched with fertilizers and its effect on crop yields. **The results of the study.** Based on the obtained data on the yield of chickpeas and their mathematical processing, an increase in yield was established. The yield with the row method of sowing on the control was 2.03 t/ha, and with the application of 100 kg/ha and 200 kg/ha of hydrogel 2.46 t/ha and 2.66 t/ha, respectively. In the wide-row sowing method, the yield in the control group was 1.17 t/ha, while the yields in the experimental groups with 100 kg/ha and 200 kg/ha application were 1.42 t/ha and 1.6 t/ha, respectively.

Keywords: chickpea plants, sprinkler irrigation, chickpea cultivation techniques, chickpea sowing methods, chickpea yields.

Citation. Tseplyaev A. N., Semenenko S. Ya., Kupriyanov A. A., Melnik S. V. The effect of fertilizer-enriched hydrosorbents on the chickpeas yield under irrigation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 571-580 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-63.

Authors' contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, implementation and analysis of this study. All authors of this article approved the presented final version.

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

УДК 631.67:631.8:635.657

ВЛИЯНИЕ ГИДРОСОРБЕНТОВ, ОБОГАЩЁННЫХ УДОБРЕНИЯМИ, НА УРОЖАЙНОСТЬ НУТА ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ НА ОРОШЕНИИ

Цепляев А. Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Семененко С. Я., доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Куприянов А. А., кандидат технических наук
Мельник С. В., старший лаборант-исследователь

ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники
и мелиорации имени А. Н. Костякова»
г. Волгоград, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках государственного задания FNFR-2025-0004 «Разработать инновационные водосберегающие агротехнологии при орошении сельскохозяйственных культур с использованием прецизионного полива на основе цифровых систем управления, обеспечивающие получение устойчивой урожайности в условиях глобального изменения климата».

Актуальность. Для засушливых регионов Нижнего Поволжья перспективной культурой является нут. Его биологическую особенность, связанную с получением урожая в засушливом, с низким количеством влаги климате, отмечали в своих работах Н. И. Вавилов, П. П. Бегучев, В. Р. Гуляев, Д. Н. Прянишников и др. Особенно большой вклад в развитие производства нута и расширение площадей под ним в Волгоградской области, да и в РФ, внес В. В. Балашов. Им были созданы и районированы сорта «Приво-1», «Приво-2», «Волжанин» и др. Их биологическая урожайность колеблется от 1,0 т/га до 3,6 т/га и зависит от агроклиматических условий, применяемых удобрений, сроков посева и др. Следует отметить, что большие дозы удобрений способствуют улучшению питания и повышению урожайности только при наличии необходимого количества влаги, а также периода ее сохранения. Следовательно, для повышения урожайности нута до 2,5-3,0 т/га необходимо вносить повышенные дозы удобрений (350-400 кг/га), а для создания питательной среды в прикорневом слое почвы – обеспечить наибольшую потребность в питательных элементах в фазу формирования и последующего созревания бобов, поэтому для поддержания и пролонгирования действия питательной среды, следует одновременно с удобрениями вносить гидросорбент. Он накапливает питательный раствор (вода с растворенными в ней удобрениями), а затем через корневую систему передает растениям практически в течение сезона. **Объект исследования.** Культура нута на орошении с применением гидросорбентов. **Материалы и методы.** В основу исследований положен полевой опыт, при проведении которого выполняли необходимые измерения биометрических параметров растений нута при использовании гидрогеля, обогащенного удобрениями с определением его влияния на уро-

жайность. **Результаты исследования.** На основании полученных данных по урожайности нута и их математической обработки установлено повышение урожайности. Урожайность при рядовом способе посева на контроле составила 2,03 т/га, а при внесении 100 кг/га и 200 кг/га гидрогеля 2,46 т/га и 2,66 т/га соответственно. При широкорядном способе посева урожайность в контрольной группе составила 1,17 т/га, в опытных группах с внесением 100 кг/га и 200 кг/га гидрогеля соответственно 1,42 т/га и 1,6 т/га.

Ключевые слова: растения нута, орошение дождеванием, технологии возделывания нута, способы посева нута, урожайность нута.

Цитирование. Цепляев А. Н., Семенов С. Я., Куприянов А. А., Мельник С. В. Влияние гидросорбентов, обогащенных удобрениями, на урожайность нута при возделывании на орошении. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 571-580. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-63.

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. Зернобобовые культуры занимают важное место в производстве продукции растениеводства. Они служат основным источником растительного белка и широко используются в пищевой промышленности и животноводстве. По своей значимости бобовые культуры в животноводстве занимают второе место после кукурузы, а из них основной культурой является соя. Она служит основным источником белка, жиров, в ее составе витамины В₁, В₂, а продуктивность сорта Волгоградка-2 достигает 2,74 т/га [1].

Посевная площадь под соей в 2018 году составляла 438 тыс. га, а уже в 2024 году 512 тыс. га. Соответственно вырос и валовый сбор культуры с 1 130 тыс. т в 2018 году до 1 312 тыс. т в 2024 г. [2]. Однако большая часть посевов сои размещается под орошением, поскольку культура эта достаточно влаголюбивая и расход оросительной воды составляет за сезон до 4 500 м³/га, в связи с чем себестоимость продукции резко возрастает и достигает 40 429 рублей за тонну [3, 4, 5].

Поэтому в засушливых зонах РФ все большее внимание уделяют бобовой культуре – нут. Площадь под ним в 2020 году составляла 55 тыс. га [2]. Урожайность нута на богаре зависит от погодных условий вегетационного сезона. Например, урожайность нута сорта «Волжанин 50» с 2019 по 2022 год составляла от 1,75 до 2,42 т/га [6]. Повысить урожайность культуры можно за счет улучшения питательной среды, т. е. применения повышенных доз удобрений при соответствующей влажности почвы. Следовательно, несмотря на высокую засухоустойчивость нута, для достижения урожайности в 2,5 т/га и более необходимо внести повышенные дозы удобрений с орошением почвы. Учитывая технологические и биологические особенности нута, как засухоустойчивой культуры, больших объемов подачи воды при его выращивании не требуется. Однако, количество почвенной влаги в период всходов и цветения, а также почвенная среда являются значимыми факторами количества получаемого урожая [7]. Поэтому для поддержания необходимой влажности почвы более длительный период применяют гидросорбенты, которые широко используются в РФ и за рубежом [8, 9, 10, 11, 12]. Они способны абсорбировать растворенные в воде удобрения и подавать их растениям через корневую систему.

Нут весьма чувствителен к питательной среде в почве. По расчетным данным на одну тонну нута требуется 53 кг азота, 18 кг фосфора и 75 кг калия. Фосфорные и калийные удобрения рекомендуется вносить под вспашку, азотные под предпосевную обработку почвы. Наилучший эффект по урожайности получен при внесении удобрений N₆₀P₉₀K₉₀. Кроме того, инокуляция семян и листовая обработка растений нута повышает урожайность и качество зерна [13].

По результатам некоторых исследований авторами были сделаны выводы, что существенное влияние на количество получаемого урожая зерна нута оказывает некорневая подкормка в фазу ветвления органоминеральными удобрениями, а также применение химических средств борьбы с сорной растительностью [14].

Таким образом, из анализа представленного материала следует, что нут, относящийся к засухоустойчивым культурам, весьма чувствителен к наличию влаги в почве, особенно в период «всходы-цветение».

Особенности агроклиматических условий Нижнего Поволжья характеризуются короткой календарной весной и резким повышением температуры (до 30 °С) практически в течение 7-10 дней после холодного периода. Поэтому для получения более полных всхо-

дов растений нута необходимо наличие почвенной влаги и питательных элементов, что обеспечивается проведением предпосевного полива и внесением насыщенного удобрениями гидрогеля при посеве.

Однако часто повторяющиеся засухи, особенно в весенний период при появлении всходов нута и далее, существенно влияют на развитие растений и уменьшают его урожайность в 2-3 раза, а иногда приводят к полной гибели растений.

Поэтому сельхозтоваропроизводители, занимающиеся возделыванием нута, проводят предпосевной влагозарядковый полив поливной нормой от 100 до 300 м³/га. При этом отмечается лучшая динамика всходов с последующим интенсивным ростом вегетативной массы растений. Однако расход влаги и питательных веществ в почве резко возрастает к фазе цветения нута (особенно в фазе образования бобиков), ресурс указанных продуктов резко снижается, что приводит к недобору урожая.

Материалы и методы. Анализ метеоусловий по ГТК показывает, что в мае наблюдалась засуха средняя, в июне – недостаточное увлажнение, июле – достаточное увлажнение, августе – средняя засуха, в сентябре – сильная засуха. Фактический режим увлажнения, с некоторым допущением, должен коррелировать с показателями естественной увлажнённости.

Таким образом, климатические условия в 2025 г. оказались весьма благоприятными для возделывания нута, особенно в период с июня по сентябрь.

Последующими исследованиями агрохимического состава почвенных образцов на наличие элементов питания в корнеобитаемом слое растений нута установлено, что на опытных участках показатели были выше, чем на контроле.

Следовательно, использование гидрогелей, внесенных в почву вместе с удобрениями при посеве, способствовало поддержанию необходимой влагообеспеченности более длительный период и улучшало питание растений.

Исследование проводили в трехфакторном полевом опыте на опытном поле ВНИИОЗ. В опытах изучали факторы:

Фактор А – способ посева:

- А1 – рядовой (междурядье 0,15 м),
- А2 – широкорядный (междурядье 0,70 м).

Фактор В – варианты заделки гидрогеля:

- В1 – сплошной,
- В2- локальный.

Фактор С – дозы гидрогеля:

- С1 – 100 кг/га,
- С2 – 200 кг/га.

Схема проведения опыта представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема расположения вариантов опыта
Figure 1 – Layout of experimental options

Посев нута проводили в последней декаде апреля при температуре почвы не менее 8 градусов на глубину 0,06-0,08 м. Норма высева при рядовом посеве 780 тыс.шт./га, при широкорядном 400 тыс.шт./га. Режим увлажнения почвы – предпосевной полив нормой 100 м³/га. Доза внесения минеральных удобрений N₆₀P₉₀K₉₀. Глубина внесения гидрогеля в смеси с удобрениями при широкорядном посеве (локально) на 0,08 м ниже дна посадочной борозды семян нута, при рядовом – разбросным методом по поверхности поля с последующей заделкой на ту же глубину диском перед посевом.

Результаты. Применение гидрогеля в смеси с расчетными дозами удобрений оказало существенное влияние на динамику роста растений, а также на технологические характеристики.

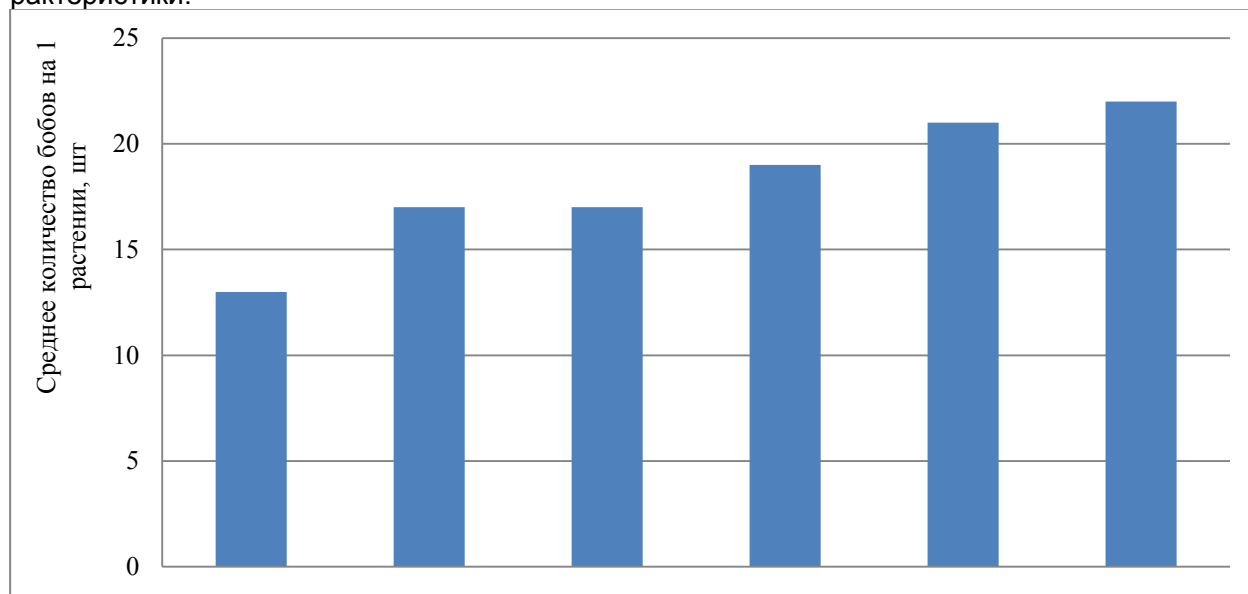


Рисунок 2 – Показатели изменения количества зерен нута сорта «Волжанин» в зависимости от доз гидрогеля и способа посева на одном растении, шт.

Figure 2 – Changes in the number of chickpea seeds of the Volzhanin variety, depending on the dose of hydrogel and the method of sowing, per plant, units

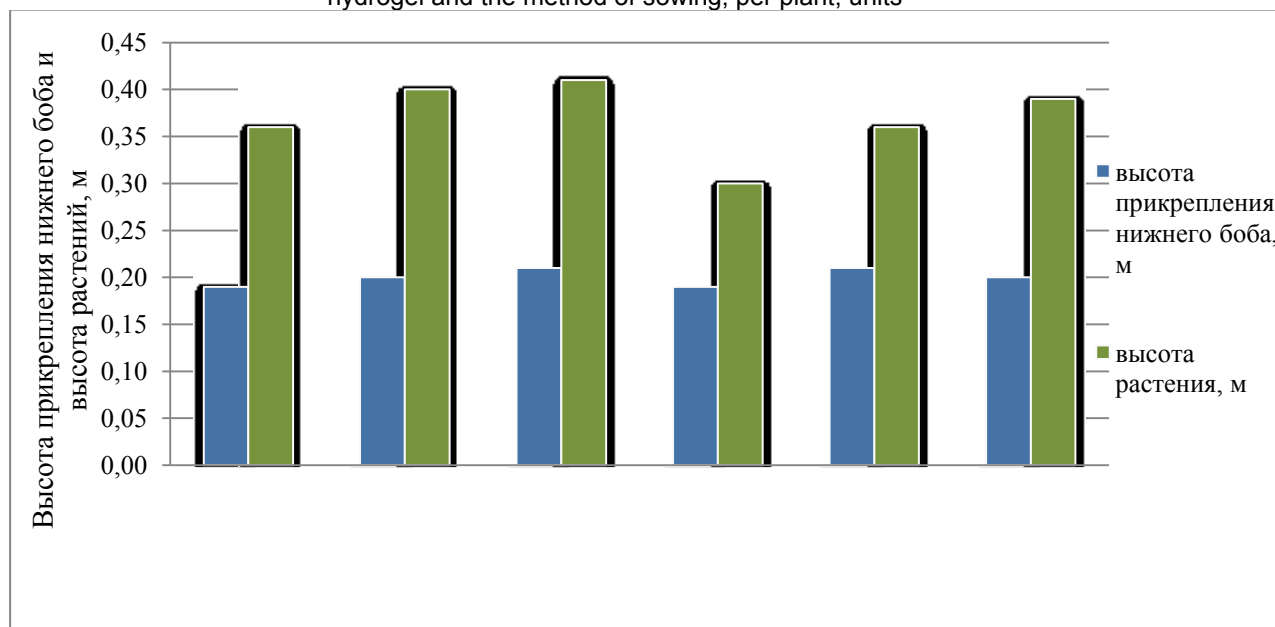


Рисунок 3 – Показатели изменения высоты растений и высоты прикрепления нижнего боба нута сорта «Волжанин» в зависимости от доз гидрогеля и способа посева, м

Figure 3 – Changes in plant height and attachment height of the lower bean of the Volzhanin variety, depending on the dose of hydrogel and the method of sowing, m

Из сравнения полученных, по результатам исследований данных, представленных в виде диаграмм (рисунок 2, 3), следует, что общая динамика изменения показателей биометрических характеристик растений нута от применения гидрогеля, обогащенного удобрениями, положительная. Высота растений, на контроле в среднем составляет 0,30 м, тогда как в опыте с внесенным гидрогелем из расчета 100 кг/га – 0,36 м, а при 200 кг/га – 0,39 м, что в процентном соотношении составляет 16,6 % и 30 % соответственно. Технологичность при уборке по высоте нижнего боба также возросла с 0,19 м на контроле, до 0,21 на опытах и составляет – 10,5 %. Следовательно, потери урожая при уборке уменьшатся. Количество бобов на одном растении выросло с 19 штук на контроле до 21-22 штук на опытных, составив 10,5 и 15,8 % соответственно. Судя по значениям $HCP_{0.5}$ все факторы оказались значимыми.

Таблица – Площадь листьев растений нута в период цветения по вариантам опыта, тыс. $m^2/га$
Table 1 – Leaf area of chickpea plants during the flowering period by experimental variant, thousand m^2/h

№	Контроль / Control		Широкорядный / Wide-row seeding method		Рядовой / Ordinary method of sowing	
	Широкорядный / Wide-row seeding method	Рядовой / Ordinary method of sowing	200	100	100	200
1	10,26	25,31	13,11	12,67	30,03	31,30
2	11,04	21,10	12,73	11,83	29,41	32,01
3	9,90	26,11	12,99	13,30	31,11	31,41
4	12,01	24,98	13,41	11,97	28,81	29,99
5	10,76	23,41	11,80	12,31	29,00	32,43
среднее / average	10,79	24,18	12,81	12,41	29,67	31,42
$HCP_{0.5}$	0,08	0,07	0,10	0,06	0,09	0,10

Судя по результатам анализа данных таблицы, средние показатели площади листьев на контроле существенно различаются по значениям при широкорядном и рядовом способах посева. Эта разница составляет 13,39 тыс. $m^2/га$ и объясняется количеством растений на одном гектаре. Посев рядовым способом проводился из расчета 780 тыс. шт. на 1 га, при широкорядном – 400 тыс. шт. на 1 га.

Применение гидрогеля способствовало увеличению площади листьев и по сравнению с контролем при внесении гидрогеля 100 кг/га в опытах на участке широкорядного посева площадь листьев составила 12,41 тыс. $m^2/га$, а 200 кг/га – 12,81 тыс. $m^2/га$. Прирост по сравнению с контролем составил 1,62 тыс. $m^2/га$ и 2,02 тыс. $m^2/га$ соответственно. Однако, следует отметить, что разница от внесения доз гидрогеля не оказала существенного влияния на показатель и не превысила 0,4 тыс. $m^2/га$. Следовательно, повышенные дозы гидрогеля до 200 кг/га не приводят к желаемому результату, увеличивая себестоимость продукции.

При рядовом способе посева площадь листьев на гидрогеле возросла с 24,18 тыс. $m^2/га$ – на контроле, до 29,67 тыс. $m^2/га$ при внесении 100 кг/га гидрогеля и до 31,42 тыс. $m^2/га$ – при 200 кг/га. Разность составила: 5,49 тыс. $m^2/га$ и 7,24 тыс. $m^2/га$ соответственно. Разность при повышении дозы гидрогеля со 100 кг/га до 200 кг/га повысила показатель площади листьев на 1,75 тыс. $m^2/га$ и с учетом ошибки опыта $HCP_{0.5}$ 0,09...0,10 является существенной.

Таким образом, внесение гидрогеля с удобрениями улучшает динамику фотосинтетической деятельности листового аппарата нута, что оказывает положительное влияние на его урожайность. Однако, широкорядный посев семян нута по схеме 0,70х0,11 по показателю площади листьев в опытах с гидрогелем на 17,26 тыс. $m^2/га$ и 18,61 тыс. $m^2/га$ меньше, чем при рядовом посеве, поэтому в последующих исследованиях необходимо рассматривать иные схемы посева.

Улучшение условий влагообеспеченности в период «всходы - цветение» на вариантах с применением гидросорбента увеличило урожайность зерна нута по сравнению с контролем в среднем на 0,43 и 0,63 т/га при рядовом способе посева и внесении 100 и 200 кг/га гидрогеля соответственно (рисунок 4, 5). Применение широкорядных посевов повысило урожайность относительно контроля, при внесении 100 и 200 кг/га гидрогеля соответственно на 42,2 и 39,9 %.

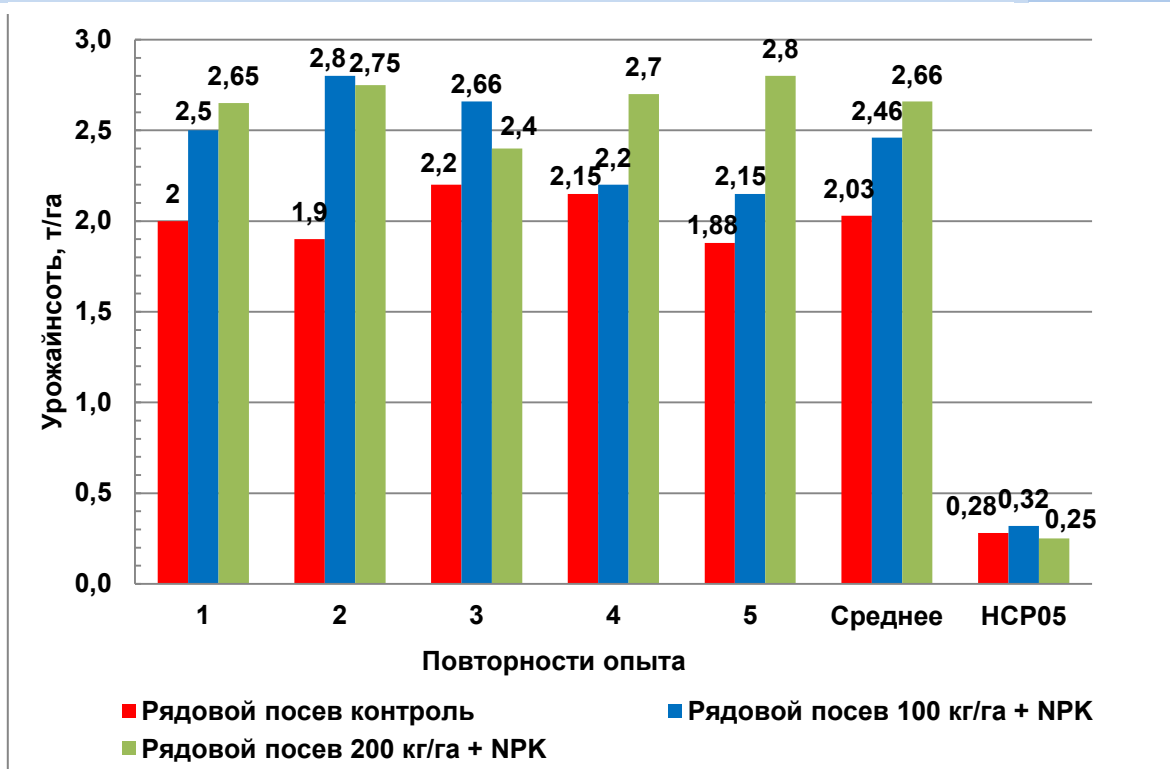


Рисунок 4 – Показатели изменения средней урожайности зерна нута сорта «Волжнин» при рядовом способе посева в зависимости от доз гидрогеля

Figure 4 – Indicators of changes in the average yield of chickpea of the "Volzhnin" variety with a standard sowing method, depending on the doses of hydrogel

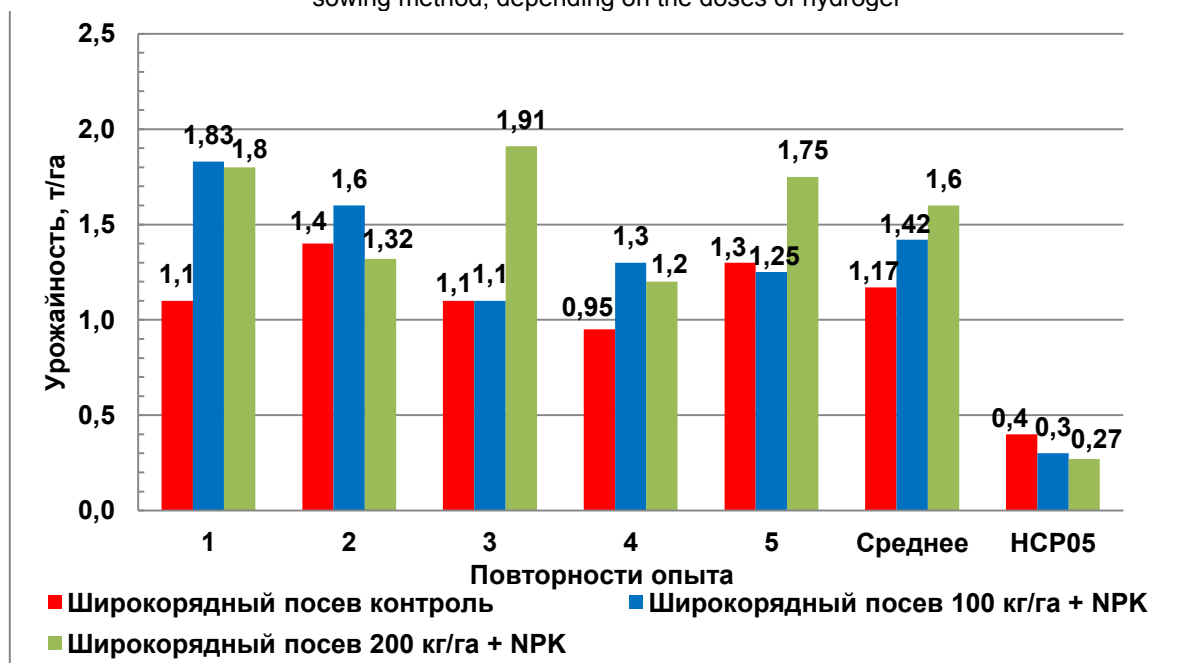


Рисунок 5 – Показатели изменения средней урожайности зерна нута сорта «Волжнин» при широком способе посева в зависимости от доз гидрогеля

Figure 5 – Indicators of changes in the average yield of chickpeas of the "Volzhnin" variety with a wide-range sowing method, depending on the doses of hydrogel

Судя по показателям биологической урожайности нута при рядовом способе посева, с внесением гидрогеля с комплексным удобрением – нитроаммофоской, максимальное ее значение 2,66 т/га соответствует 200 кг/га гидрогеля с фоновым удобрением $N_{60}P_{90}K_{90}$. В

сравнении с контролем этот показатель на 0,63 т/га выше и при $HCP_{0,5} = 0,28$ он является существенным, но при внесении гидрогеля 100 кг/га, урожайность составила 2,46 т/га, т. е. разница не превышает 0,20 т/га, а поскольку $HCP_{0,5} = 0,32$ т/га, то ее значение находится в пределах ошибки опыта.

При широкорядном посеве биологическая урожайность в опытах с гидрогелем выше, чем на контроле и при внесении гидрогеля 100 кг/га с нормой удобрений $N_{60}P_{90}K_{90}$ средняя урожайность равна 1,42 т/га, а при дозе гидрогеля 200 кг/га показатель урожайности доходит в среднем до 1,60 т/га. Сравнение полученных значений разности урожайности с контролем составляет: при 100 кг/га гидрогеля – 0,25 т/га, а при 200 кг/га – 0,43 т/га при $HCP_{0,5} = 0,40$. Последнее значение всего на 0,03 т/га выше ошибки опыта, что указывает на предельный показатель фактора и может быть отнесено к разряду несущественных.

Таким образом, на основании результата опыта по использованию гидрогеля с удобрениями при выращивании нута на орошении следует отметить, что наибольшая эффективность гидрогеля, судя по биологической урожайности, получена при рядовом способе посева нута, а учитывая затраты на приобретение гидрогеля его доза не должна превышать 100 кг/га.

Заключение. По результатам исследований применения гидрогеля «Аквасорб», обогащенного удобрениями при выращивании нута на орошении установлено:

- биометрические показатели растений нута в опытах с гидрогелем оказались выше чем на контроле: а) высота растений в среднем увеличилась на 30 %; б) высота прикрепления нижнего боба – на 10,5 %; количество бобов на 15,8 %. Площадь листьев возросла: а) при рядовом посеве – на 7,24 тыс. м²/га; б) при широкорядном – на 2,02 тыс. м²/га. Урожайность нута: а) при рядовом способе посева составила 2,66 т/га (на контроле – 2,03 т/га); б) при широкорядном – 1,6 т/га (на контроле 1,17 т/га). В среднем повышение урожайности составило 31,0...36 %.

Следовательно, использование гидросорбентов при возделывании нута на орошении оказало положительное влияние на показатели эффективности.

Conclusions. According to the results of studies on the use of Aquasorb hydrogel enriched with fertilizers for growing chickpeas under irrigation, it has been established:

- the biometric parameters of chickpea plants in experiments with hydrogel turned out to be higher than in the control: a) the height of plants increased by an average of 30 %; b) the height of attachment of the lower bean – by 10.5 %; the number of beans by 15.8 %. The leaf area has increased: a) for ordinary sowing – by 7.24 thousand m²/ha; b) for wide-row sowing – by 2.02 thousand m²/ha. The yield of chickpeas: a) with the ordinary method of sowing was 2.66 t/ha (in the control – 2.03 t/ha); b) with the wide-row method – 1.6 t/ha (in the control – 1.17 t/ha). On average, the increase in yield was 31.0...36 %. Consequently, the use of hydrosorbents in chickpea cultivation for irrigation had a positive effect on efficiency indicators.

Библиографический список

- 1 Толоконников В. В., Мухаметханова С. С., Канцер Г. П. Приёмы повышения семенной продуктивности сортов сои при орошении в Нижнем Поволжье. Орошаемое земледелие. 2023. № 3 (42). С. 15-18.
- 2 Зотиков В. И., Полухин А. А., Грядунова Н. В., Сидоренко В. С., Хмызова Н. Г. Развитие производства зернобобовых и крупяных культур в России на основе использования селекционных достижений. Зернобобовые и крупяные культуры. 2024. № 4 (36). С. 5-17.
- 3 Толоконников В. В., Вронская Л. В., Агапова С. А. Сортотвзвучивость 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.
- 4 Толоконников В. В. и др. Влияние орошения, удобрения и фактора сорта на урожайность сои в условиях Нижнего Поволжья. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 3 (63). С. 95-104.
- 5 Цепляев А. Н., Семенов С. Я. Современная технология возделывания сои при орошении дождеванием с использованием гидросорбентов. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 3 (71). С. 498-508.
- 6 Балашов А. В., Набойченко К. В., Малахова А. А., Балашов В. А. Биостатистический анализ хозяйственных показателей сортов нута Волгоградской селекции. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 2 (70). С. 22-30.
- 7 Солодовников А. П., Денисов К. Е., Нейфельд В. В. Агрофизические свойства, влажность почвы и погодные условия как факторы, определяющие урожайность зерна нута в Заволжье. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2024. Т. 16. № 3. С. 37-40.
- 8 Годунова Е. И., Шаповалова Н. Н. Динамика последствий различных доз гидрогеля на урожайность возделываемых культур на черноземах обыкновенных Центрального Предкавказья. Агрохимический вестник. 2022. № 4. С. 44-48.
- 9 Максимова Ю. Г., Щетко В. А., Максимов А. Ю. Полимерные гидрогели в сельском хозяйстве (обзор). Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58. № 1. С. 23-42.
- 10 Agbna G. H. D., Zaidi S. J. Hydrogel performance in boosting plant resilience to water stress: review. Gels. 2025. V. 11. № 4. P. 276.

11 Tibirkov A. P., Tibirkova N. N., Filin V. I., Kuzin A. G. The effectiveness of using soil hydrogel on light chestnut soils between the Volga and Don rivers to stimulate the germination of agricultural seeds. *Engineering Research and Cooperation in Global Agricultural Production*. IOP Conf. Ser. Earth Environ. 2021. V. 659.

12 Tibirkov A. P. Spring barley grain yield and quality at soil moisture sorbent using on light chestnut soil of the Lower Volga region. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2013. No 2. www.science-sd.com/455-24275.

13 Денисов К. Е. и др. Влияние инокуляции семян и некорневой подкормки на урожайность и качество зерна нута в условиях сухостепного Заволжья. *Аграрный научный журнал*. 2023. № 7. С. 17-21.

14 Солодовников А. П. и др. Влияние гербицидов и органоминеральных удобрений на коэффициент водопотребления нута в Нижнем Поволжье. *Аграрный научный журнал*. 2024. № 5. С. 66-72.

References

1 Tolokonnikov V. V., Mukhametkhanova S. S., Kanzer G. P. Techniques for increasing the seed productivity of soybean varieties during irrigation in the Lower Volga region. *Irrigated agriculture*. 2023. № 3 (42). Pp. 15-18.

2 Zotikov V. I., Polukhin A. A., Grydunova N. V., Sidorenko V. S., Khmyzova N. G. The development of the production of legumes and cereals in Russia based on the use of breeding achievements. *Leguminous and cereal crops*. 2024. No. 4 (36). Pp. 5-17.

3 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. V. 18. No. 3. Pp. 320-333.

4 Tolokonnikov V. V. et al. The influence of irrigation, fertilizers and the variety factor on soybean yield in the conditions of the Lower Volga region. *Proceedings of the Nizhnevolzhsky agro-University Complex: Science and higher professional education*. 2021. № 3 (63). Pp. 95-104.

5 Tseplyaev A. N., Semenenko S. Ya. Modern technology of soybean cultivation during irrigation by sprinkling using hydrosorbents. *Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and higher professional education*. 2023. № 3 (71). Pp. 498-508.

6 Balashov A. V., Naboichenko K. V., Malakhova A. A., Balashov V. A. Biostatistical analysis of economic indicators of chickpea varieties of Volgograd breeding. *Proceedings of the NV AUC*. 2023. № 2 (70). Pp. 22-30.

7 Solodovnikov A. P., Denisov K. E., Neufeld V. V. Agrophysical properties, soil moisture and weather conditions as factors determining chickpea grain yield in the Trans-Volga region. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev*. 2024. Vol. 16. No 3. Pp. 37-40.

8 Godunova E. I., Shapovalova N. N. Dynamics of the effects of various doses of hydrogel on the yield of cultivated crops on common chernozems of the Central Ciscaucasia. *Agrochemical Bulletin*. 2022. No 4. Pp. 44-48.

9 Maksimova Yu. G., Shchetko V. A., Maksimov A. Yu. Polymer hydrogels in agriculture (review). *Agricultural Biology*. 2023. Vol. 58. No 1. Pp. 23-42.

10 Agbna G. H. D., Zaidi S. J. Hydrogel performance in boosting plant resilience to water stress: review. *Gels*. 2025. V. 11. № 4. P. 276.

11 Tibirkov A. P., Tibirkova N. N., Filin V. I., Kuzin A. G. The effectiveness of using soil hydrogel on light chestnut soils between the Volga and Don rivers to stimulate the germination of agricultural seeds. *Engineering Research and Cooperation in Global Agricultural Production*. IOP Conf. Ser. Earth Environ. 2021. V. 659.

12 Tibirkov A. P. Spring barley grain yield and quality at soil moisture sorbent using on light chestnut soil of the Lower Volga region. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2013. No 2. www.science-sd.com/455-24275.

13 Denisov K. E. and others. The effect of seed inoculation and foliar top dressing on the yield and quality of chickpea grain in the conditions of the dry-steppe Trans-Volga region // *Agricultural Scientific Journal*. – 2023. – №. 7. – Pp. 17-21.

14 Solodovnikov A. P. et al. The effect of herbicides and organomineral fertilizers on the water consumption coefficient of chickpeas in the Lower Volga region. *Agricultural Scientific Journal*. 2024. № 5. Pp. 66-72.

Информация об авторах

Цепляев Алексей Николаевич, ведущий научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, Волгоград, ул. Тимирязева 9), ORCID: 0000 0003-1454-5784, e-mail: can_volgau@mail.ru

Семененко Сергей Яковлевич, главный научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, Волгоград, ул. Тимирязева 9), ORCID: 0000-0001-5992-8127, e-mail: semenenkossy.vniioz@yandex.ru

Куприянов Андрей Александрович, кандидат технических наук, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», (Российская Федерация, 400002, Волгоград, ул. Тимирязева 9), ORCID: 0000-0002-5469-2132, e-mail: kuprijanov19967@gmail.com

Мельник Софья Васильевна, ст. лаборант-исследователь, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», (Российская Федерация, 400002, Волгоград, ул. Тимирязева 9), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5802-1339>, e-mail: melnik_s1996@mail.ru

Authors' Information

Tseplyaev Aleksey Nikolaevich, Leading Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture, the branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution A. N. Kostyakov Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev str., 9), ORCID: 0000 0003-1454-5784, e-mail: can_volgau@mail.ru

Semenenko Sergey Yakovlevich, Chief Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture, the branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution A. N. Kostyakov Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev str., 9), ORCID: 0000-0001-5992-8127, e-mail: semenenkossy.vniioz@yandex.ru

Kupriyanov Andrey Aleksandrovich, Candidate of Engineering Sciences, All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture, the branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution A. N. Kostyakov Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev str., 9), ORCID: 0000-0002-549-2132, e-mail: kupriyanov19967@gmail.com

Melnik Sofya Vasilyevna, Senior Research Laboratory Assistant, All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture, the branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution A. N. Kostyakov Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev str., 9), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5802-1339>, e-mail: melnik_s1996@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-64

THE MULTIPLE-STEP VACUUM-EJECTOR DEVICE PARAMETERS OPTIMIZATION FOR THE UNDERGROUND WATER DEFERRIZING

¹Volskaya O. N., ²Pakhomov A. A., ²Tronev S. V., ¹Churakov A. A.

¹Volgograd State Technical University
Volgograd, Russian Federation

²Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: volskayao_8@mail.ru

Received 02.12.2025

Submitted 26.02.2026

Abstract

Introduction. For the sustainable development of agricultural enterprises (livestock farming, agriculture, irrigation), water quality has been and remains a priority, especially in arid regions such as the Astrakhan, Volgograd, and Kalmykia regions, where most agricultural enterprises, as well as rural settlements, rely on groundwater sources. Therefore, increasing attention is being paid to the search for new groundwater purification methods that are not only technologically effective but also compact, easy to operate, and cost-effective, which distinguishes agricultural water supply from urban water supply. **Object.** The object of this study is a multi-stage vacuum-ejector unit (MVEU), the key element of the vacuum-ejector method for removing iron from groundwater. **Materials and methods.** Through a comprehensive study encompassing both theoretical aspects and practical experiments, reliable conclusions were reached based on the principles of classical mechanics, mathematical methods, and statistical analysis. The use of advanced data processing software guaranteed high accuracy and objectivity of the results.

The work was carried out in full compliance with established methodological requirements and standards. **Results and conclusions.** The studies were conducted according to the Rechtschafner design for a three-factor experiment. The adequacy of the resulting mathematical models was verified using the Fisher criterion. Experimental studies demonstrated the optimal design parameters of the micro-wind turbine for specific initial feed water conditions: a Venturi nozzle-to-vacuum chamber area ratio of 1:6, a water-to-air flow rate ratio of 1:3, and four mixing chamber stages.

Keywords: de-ferrification of groundwater, groundwater, multi-stage vacuum-ejection devices, domestic and drinking water supply.

Citation. Volskaya O. N., Pakhomov A. A., Tronev S. V., Churakov A. A. The multiple-step vacuum-ejector device parameters optimization for the underground water deferrizing. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 580-588 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-64.

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.

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

УДК 628.161.2:645.72

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МНОГОСТУПЕНЧАТОГО ВАКУУМНО-ЭЖЕКЦИОННОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

¹Вольская О. Н., кандидат технических наук, доцент

²Пахомов А. А., доктор технических наук, профессор

²Тронеv С. В., доктор технических наук, профессор

¹Чураков А. А., кандидат технических наук, доцент

¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГТУ
г. Волгоград, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Для устойчивого развития предприятий АПК (животноводство, земледелие, орошение) качество воды было и остается приоритетной задачей, особенно в засушливых регионах, таких как Астраханская, Волгоградская области, Республика Калмыкия, где большая часть предприя-

тий АПК, а также сельских населенных пунктов используют подземные источники. В связи с этим все больше внимания уделяется поиску новых методов очистки подземных вод, которые были бы не только эффективны технологически, но и компактны, просты в эксплуатации и экономически выгодны для малых населенных пунктов и сельскохозяйственного производства. **Объект.** Объектом исследования является многоступенчатое вакуумно-эжекционное устройство (МВЭУ) – главный элемент вакуумно-эжекционного метода обезжелезивания подземных вод. **Материалы и методы.** Благодаря всестороннему исследованию, охватившему как теоретические аспекты, так и практические эксперименты, были достигнуты надежные выводы, опирающиеся на принципы классической механики, математические методы и статистический анализ. Применение передового программного обеспечения для обработки данных гарантировало высокую точность и объективность результатов. Работа была выполнена в полном соответствии с установленными методическими требованиями и стандартами. **Результаты и выводы.** Исследования проводились по плану Рехтшафнера для трехфакторного эксперимента. Адекватность полученных математических моделей проверялась по критерию Фишера. Экспериментальные исследования показали оптимальные конструктивные параметры МВЭУ при конкретных данных исходной воды: соотношение площади сопла Вентури и вакуумной камеры 1:6, соотношение расходов воды и воздуха 1:3, количество ступеней камеры смешения – 4 шт.

Ключевые слова: обезжелезивание подземных вод, подземные воды, многоступенчатое вакуумно-эжекционные устройства, хозяйственно-питьевое водоснабжение.

Цитирование. Вольская, О. Н., Пахомов, А. А., Тронеv, С. В., Чураков, А. А. Оптимизация параметров многоступенчатого вакуумно-эжекционного устройства для обезжелезивания подземных вод. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 580-588. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-64.

Вклад авторов. Все авторы данного исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы данной статьи просмотрели и одобрили окончательную версию.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В настоящее время сельские населенные пункты и предприятия АПК, которые все чаще используют подземные источники (около 85 % общего объема водопотребления), испытывают ряд трудностей в организации хозяйственно-питьевого водоснабжения. В первую очередь это разрушенные коммуникации или их отсутствие полностью. Во-вторых, критическое состояние водозаборных скважин, которые эксплуатируются более 25 лет без замены старого оборудования – насосов и фильтров. В-третьих, разрушение водонапорных башен, построенных более 30 лет назад [1]. Эти актуальные и очевидные проблемы стали поводом для разработки и реализации Национальных проектов¹ и Государственных программ², которые направлены на экологическую безопасность водопользования на селе³.

Для обеспечения сельских населенных пунктов и предприятий АПК чистой водой целесообразнее, с точки зрения экономики, использовать локальные водоочистные установки, на которых можно не только контролировать расход воды на питьевые и хозяйственные нужды, но и удалять загрязнения, в том числе и железо (Fe^{+2}), присутствие которого характерно практически для всех подземных источников любой части земного шара [2, 3].

Самыми распространенными методами обезжелезивания во всем мире, как по технологии, так и по стоимостным показателям, являются методы без применения реагентов. Окисление Fe^{+2} в Fe^{+3} с образованием золя $Fe(OH)_3$ происходит с помощью аэрации, различающейся по степени интенсивности процесса [4-7].

Несмотря на широкое использование вышеупомянутых методов обезжелезивания подземных вод, все-таки ряд проблем в этих методах существует:

- Процессы, протекающие в зоне аэрации, дают эффект только при небольшом диапазоне основных показателей, влияющих на окисление железа: $pH > 6,8$; $H_2S < 0,5$ мг/л и $CO_2 < 50$ мг/л.

- Значения показателей в исходной воде, превышающие вышеуказанные диапазоны, ведут либо к удорожанию оборудования, делая его более громоздким, либо к применению реагентов.

¹ Национальный проект «Экологическое благополучие» утвержденный Указом Президента РФ от 07.05.2024 № 309.

² Распоряжение Правительства РФ от 2 февраля 2015 г. № 151-р «Об утверждении Стратегии устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2030 года».

³ Государственная программа Российской Федерации, утвержденная постановлением Правительства РФ от 27.08.2025 № 1289 «Комплексное развитие сельских территорий».

- Процессы окисления железа Fe^{+2} , растворенного в воде, и дальнейшее преобразование его в гидроокись железа $Fe(OH)_3$, протекают крайне медленно и время для их завершения очень велико.

- Процесс интенсивной аэрации подземных вод происходит с большими затратами электроэнергии, что соответственно ведет к увеличению эксплуатационных затрат.

- При содержании железа в исходной воде 30 мг/л и выше, (характерно для подземных вод Волгоградской области), эффективность процессов окисления Fe^{+2} и образования геля $Fe(OH)_3$ зависит от значения pH , которое должно быть не менее 7,5 мг/л, что крайне трудно достичь этими методами, а значит, обработанная вода не будет соответствовать нормам СанПиН 2.1.3684-21 для питьевого водоснабжения.

Все перечисленные недостатки безреагентных аэрационных методов непосредственным образом влияют на внедрение их на территории сельских населенных пунктах и предприятий АПК.

Станции обезжелезивания подземных вод для сельского населения и предприятий АПК должны быть малогабаритными, компактными и эффективными в части очистки. В связи с этим предлагается безреагентный вакуумно-эжекционный метод обезжелезивания с содержанием железа 30 мг/л и более в подземной воде как наиболее эффективный, при котором процессы дегазации происходят интенсивно, повышение pH достигает 7,5 мг/л и более, а скорость окисления Fe^{+2} с последующим образованием геля $Fe(OH)_3$ измеряется секундами.

Материалы и методы исследований. Технологическая схема обезжелезивания подземных вод вакуумно-эжекционным методом представлена на рисунке 1.

Одним из главных элементов в технологии обезжелезивания подземных вод вакуумно-эжекционным методом является многоступенчатое вакуумно-эжекционное устройство (МВЭУ), работа которого осуществляется следующим образом (рисунок 1) [8-10]. Одним из основных условий эффективной работы МВЭУ является подача воды из скважины при определенном значении давления, которое должно находиться в диапазоне от 0,35 до 0,45 МПа в зависимости от содержания в исходной воде железа ($Fe_{общ.}$ и Fe^{+2}), растворенного CO_2 , H_2S и др. газов. Принцип работы МВЭУ следующий. С помощью погружного насоса, который поднимает подземную воду из скважины, вода поступает в МВЭУ (рисунок 1), состоящую из последовательно расположенных элементов, выполненных из качественных материалов (нержавеющая сталь, латунь). Первый элемент МВЭУ – конфузор, позволяющий одновременно с увеличением скорости понизить давление в потоке воды и подготовить плавный переход от сужающей части конфузора к соплу Вентури. Сопло Вентури, в котором поток превращается в струю, обладающую кинетической энергией такой силы, что позволяет создать сферическую вакуумно-кольцевую зону с вакуумом максимального значения – 0,01 МПа, причем кинетическая энергия создается самой струей. Затем струя движется в следующий элемент – вакуумную камеру, где создаются условия для «объемного вскипания» свободной CO_2 , т. е. парциальное давление газа больше внешнего давления ($P_{CO_2} > P_0$) что ведет к резкому разрушению целостности струи. Разрушение целостности струи говорит о том, что газы (CO_2 , H_2S и др.) выделились из потока и движутся вместе с потоком в следующий элемент – первую ступень вакуумно-эжекционной камеры смешения. Попадая в первую ступень вакуумно-эжекционной камеры смешения, в которой диаметрально равномерно расположены отверстия для эжекции воздуха из окружающей среды, процесс «объемного вскипания CO_2 » продолжается. Мелкие водяные капли, перемешиваясь с воздухом, визуально делают движущуюся струю белого цвета, в которой CO_2 переходит из воды в воздух.

Процесс выделения газов, в частности CO_2 , приводит к повышению водородного показателя pH воды, который в свою очередь положительно влияет на окисление Fe^{+2} [11, 12].

Абсорбционно-десорбционный процесс, начавшийся в вакуумной камере, продолжается в первой и последующих ступенях (2, 3 и 4) вакуумно-эжекционной камеры смешения. Заканчивается вышеописанный процесс с одновременным частичным окислением Fe^{+2} на отражательной пластине, где струя ударяется об нее и газы поднимаются вверх к патрубкам выхода их в атмосферу, а поток, разбрызгиваясь, поступает на фильтр с песчаной загрузкой, где продолжается процесс окисления Fe^{+2} и образования золя $Fe(OH)_3$, который откладывается в виде осадка на загрузке фильтра.

Для того, чтобы МВЭУ со всеми процессами, протекающими в нем, приводило к эффективному повышению pH для максимального окисления Fe^{+2} , т. е. образования Fe^{+3} в устройстве, необходимы следующие зависимости:

- зависимость величины вакуума от соотношения площадей истечения струи из сопла Вентури и вакуумной камеры (рисунок 1);
- зависимость степени десорбции CO_2 от соотношения объемов воды и воздуха;
- зависимость степени десорбции CO_2 от количества ступеней 2, 3, 4 и т. д. вакуумно-эжекционной камеры смешения (рисунок 1).

Эти зависимости можно контролировать с помощью параметров МВЭУ.

Целью исследований является определение и обоснование параметров МВЭУ по данным лабораторных исследований на подземной воде Среднеахтубинского района Волгоградской области.

В процессе испытаний постоянной была производительность МВЭУ, следовательно, диаметр сопла Вентури не менялся.

Менялись следующие параметры МВЭУ:

- диаметр вакуумной камеры варьировался от 8 до 12 мм;
- соотношение воды и воздуха менялось от 1:2 до 1:4 с шагом 1:1, т. е. менялись диаметры и количество окон для эжекции воздуха в вакуумно-эжекционных ступенях камеры смешения;
- количество ступеней вакуумно-эжекционной камеры смешения варьировалось от 2 до 6 штук с шагом 2.

Результаты и обсуждение. Для данных факторов назначены уровни и интервалы варьирования (таблица 1).

Таблица 1 – Факторы, их уровни и интервалы варьирования

Table 1 – Factors, their levels, and variation intervals

Факторы / Factors	Уровни фактора / Factor levels			Интервал варьирования, ε / Range of variation, ε
	0	-1	+1	
x_1 – соотношение площади сопла Вентури и вакуумной камеры / x_1 – ratio of the area of the Venturi nozzle and the vacuum chamber	1:6	1:4	1:8	1:2
x_2 – соотношение расходов воды и воздуха / x_2 – ratio of water and air consumption	1:3	1:2	1:4	1:1
x_3 – количество ступеней камеры смешения, шт. / x_3 – number of mixing chamber stages, units	4	2	6	2

На этапе исследований в качестве выходных факторов приняты показатели содержания веществ в воде: железа Fe^{+3} мг/л; железа общего $Fe_{общ}$ мг/л; CO_2 мг/л; pH .

В результате расчетов получены уравнения регрессии в кодированном виде:

$$Y_{Fe^{+3}} = 21,12 + 0,23x_1 + 0,16x_2 - 0,12x_3 - 0,86x_1x_2 + 0,65x_1x_3 - 0,41x_2x_3 - 2,56x_1^2 - 2,27x_2^2 - 1,53x_3^2, \quad (1)$$

$$Y_{Fe_{общ}} = 26,03 - 0,04x_1 + 0,02x_2 - 0,04x_1x_2 + 0,02x_1x_3 - 0,38x_1^2 - 0,32x_2^2 - 0,27x_3^2, \quad (2)$$

$$Y_{CO_2} = 29,57 - 0,49x_1 - 0,22x_2 + 0,34x_3 - 1,01x_1x_2 + 0,37x_2x_3 - 6,34x_1^2 + 5,7x_2^2 + 5,57x_3^2, \quad (3)$$

$$Y_{pH} = 7,51 + 0,02x_1 + 0,11x_1x_2 + 0,09x_1x_3 + 0,08x_2x_3 - 6,32x_1^2 - 0,25x_2^2 - 0,21x_3^2, \quad (4)$$

Адекватность полученных математических моделей проверялась по критерию Фишера:

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S^2(y)}, \quad (5)$$

где $S^2(y)$ – дисперсия ошибки опыта; $S_{ад}^2 = n \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)^2 / (N - [k + 1])$ – дисперсия неадекватности модели, здесь: y_i – случайная величина, рассчитанная по математической зависимости; $\hat{y}_i$ – среднеарифметическое 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.



Рисунок 1 – Технологическая схема обезжелезивания подземных вод вакуумно-эжекционным методом
Figure 1 – Technological scheme of underground water de-ferrousing by the vacuum-ejection method

Результаты расчетов $S_{ад}^2$ и $S^2(y)$ представлены в табл. П.2, П.3 и П.4.

При исследовании получены значения критериев Фишера для содержания: железа Fe^{+3} $F = 0,7138$, общего железа $Fe_{общ}$ $F = 0,5910$, CO_2 .

$F = 0,6713$, pH $F = 0,6126$, то есть $F_{0,05} > F$ (здесь $F_{0,05} = 2,599$ – табличное значение критерия Фишера при уровне значимости 5 %). Таким образом, математические модели адекватны результатам эксперимента.

С помощью предложенной программы были определены оптимальные условия факторов, таблица 2.

Таблица 2 – Оптимальные значения факторов
Table 2 – Optimal values of factors

Фактор / Factor	Железо Fe^{+3} / Iron Fe^{+3}	Железо общее $Fe_{общ}$ / Common iron Fe	CO_2	pH
x_1 – соотношение площади сопла Вентури и вакуумной камеры / x_1 – ratio of the area of the Venturi nozzle and the vacuum chamber	$\frac{0,03}{1:6,06}$	$\frac{-0,05}{1:5,9}$	$\frac{-0,04}{1:5,92}$	$\frac{0,03}{1:6,06}$
x_2 – соотношение расходов воды и воздуха / x_2 – the ratio of water and air consumption	$\frac{0,03}{1:3,03}$	$\frac{0,03}{1:3,03}$	$\frac{0,02}{1:3,02}$	$\frac{0,01}{1:3,01}$
x_3 – количество степеней камеры смешения, шт. / x_3 – number of mixing chamber degrees, units	$\frac{-0,04}{4}$	$\frac{-0,02}{4}$	$\frac{-0,03}{4}$	$\frac{0,01}{4}$

Примечание: в числителе – в кодированном виде, в знаменателе – в раскодированном виде.
Note: the numerator is in encoded form, and the denominator is in decoded form.

Для анализа и систематизации полученную математическую модель второго порядка привели к типовой канонической форме.

В результате расчетов, проведенных на ЭВМ, получены коэффициенты регрессии в канонической форме B_{11} , B_{22} , B_{33} и значения критерия оптимизации в оптимальной точке Y_s .

Уравнения регрессии (1), (2), (3) и (4), представленные в канонической форме, имеют вид:

$$Y_{Fe^{+3}} - 21,12 = -2,89X_1^2 - 2,16X_2^2 - 1,32X_3^2, \quad (6)$$

$$Y_{Fe_{общ}} - 26,03 = -0,39X_1^2 - 0,31X_2^2 - 0,27X_3^2, \quad (7)$$

$$Y_{CO_2} - 29,55 = 6,63X_1^2 + 5,32X_2^2 - 5,67X_3^2, \quad (8)$$

$$Y_{pH} - 7,51 = -0,35X_1^2 - 0,27X_2^2 - 0,16X_3^2, \quad (9)$$

Поскольку все коэффициенты при квадратных членах имеют отрицательные знаки, описанные уравнениями (6), (7), и (9), а уравнение (8), имеет положительные знаки, то поверхности откликов, представляют собой не что иное, как трехмерные параболоиды с координатами центров поверхностей в оптимальных значениях факторов.

Оптимальные конструктивные параметры многоступенчатого вакуумно-эжекционного устройства определились с помощью решения компрессионной задачи. В качестве основного критерия оптимизации вакуумно-эжекционного устройства было принято содержание в воде железа Fe^{+3} , а дополнительными критериям и являлись содержания веществ в воде: железо общее $Fe_{общ}$ мг/л; CO_2 мг/л; pH.

Решение компрессионной задачи заключалось в нахождении значений факторов (x_1 – соотношение площади сопла Вентури и вакуумной камеры;

x_2 – соотношение расходов воды и воздуха; x_3 – количество ступеней камеры смешения), дающих максимального увеличения основного критерия $Y_{Fe^{+3}}$ при фиксированных значениях дополнительных критериев $Y_{Fe_{общ}} = 26 \frac{мг}{л}$, $Y_{CO_2} = 30 \frac{мг}{л}$ и $Y_{pH} = 7,5$.

По уравнениям регрессии (1), (2), (3) и (4) строились двумерные сечения поверхностей откликов (табл. П.5...П.17) относительно исследуемых двух факторов, а прочие факторы фиксировались на уровнях, оптимальных по основному критерию оптимизации $x_1 = 0,03$, $x_2 = 0,03$ и $x_3 = -0,04$ (рисунок 1...3).

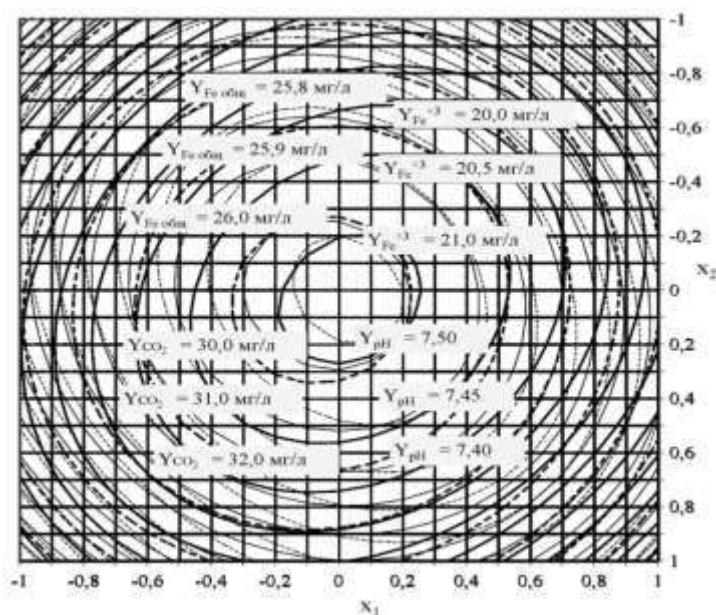


Рисунок 2 – Двумерное сечение для изучения влияния факторов x_1 и x_2 на $Y_{Fe^{+3}}$, $Y_{Fe_{общ}}$, Y_{CO_2} и Y_{pH} при $x_3 = -0,04$

Figure 2 – Two-dimensional section for studying the influence of factors x_1 and x_2 $Y_{Fe^{+3}}$, $Y_{Fe_{общ}}$, Y_{CO_2} and Y_{pH} at $x_3 = -0,04$

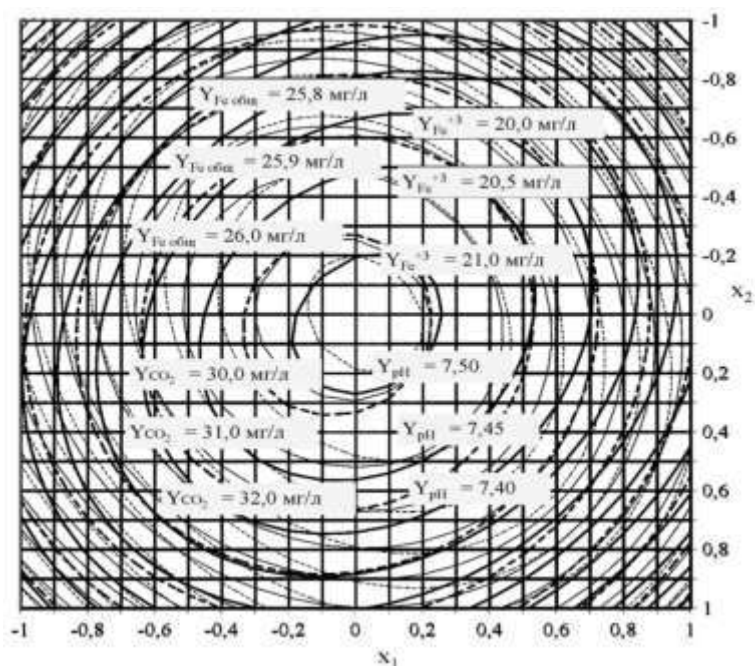


Рисунок 3 – Двумерное сечение для изучения влияния факторов x_1 и x_3 на $Y_{Fe^{+3}}$, $Y_{Fe_{общ}}$, Y_{CO_2} , Y_{pH} при $x_2 = 0,03$

Figure 3 – Two-dimensional cross-section for studying the influence of factors x_1 and x_3 on $Y_{Fe^{+3}}$, $Y_{Fe_{общ}}$, Y_{CO_2} , Y_{pH} at $x_2 = 0,03$

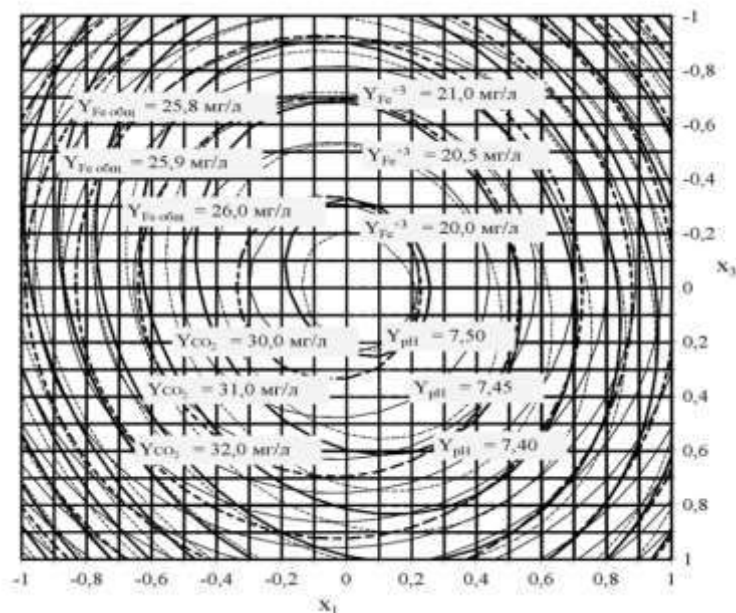


Рисунок 4 – Двумерное сечение для изучения влияния факторов x_2 и x_3 на $Y_{Fe^{+3}}$, $Y_{Fe_{общ}}$, Y_{CO_2} , Y_{pH} при $x_1 = 0,03$

Figure 4 – Two-dimensional cross-section for studying the influence of factors x_2 and x_3 on $Y_{Fe^{+3}}$, $Y_{Fe_{общ}}$, Y_{CO_2} , Y_{pH} at $x_1 = 0,03$

Результаты анализа и решения компрессионной задачи с помощью двумерных сечений по определению оптимальных значений факторов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Анализ и решение компрессионной задачи
Table 3 – Analysis and solution of the compression problem

№ п/п	Двумерное сечение относительно факторов / Two-dimensional cross section relative to the factors	Номер рисунка двумерного сечения / The number of the two-dimensional section drawing	Значения фиксируемого фактора / Values of the fixed factor	Общая зона оптимума в кодированном виде / The general optimum zone in encoded form	Общая зона оптимума в декодированном виде / The general optimum zone in decoded form
1	$x_1 - x_2$	1	$x_3 = -0,04$	$x_1 = -0,1...0,1$; $x_2 = -0,1...0,1$	$x_1 = 1: 5,8...1: 6,2$; $x_2 = 1: 2,9...1: 3,1$
2	$x_1 - x_3$	2	$x_2 = 0,03$	$x_1 = -0,1...0,1$; $x_3 = -0,1...0,1$	$x_1 = 1: 5,8...1: 6,2$; $x_3 = 4$ шт.
3	$x_2 - x_3$	3	$x_1 = 0,03$	$x_2 = -0,1...0,1$; $x_3 = -0,1...0,1$	$x_2 = 1: 2,9...1: 3,1$; $x_3 = 4$ шт.

Выводы. В результате решения компрессионной задачи при значениях факторов ($x_1 = 1: 5,8...1: 6,2$; $x_2 = 1: 2,9...1: 3,1$ и $x_3 = 4$ шт.), увеличение основного критерия составит $Y_{Fe^{+3}} = 26$ мг/л при фиксированных значениях дополнительных критериев $Y_{Fe_{общ}} = 26$ мг/л, $Y_{CO_2} = 30$ мг/л, $Y_{pH} = 7,5$.

Conclusions. As a result of solving the compression problem with factor values ($x_1 = 1: 5.8...1: 6.2$; $x_2 = 1: 2.9...1: 3.1$ and $x_3 = 4$ pieces), the increase in the main criterion will be $Y_{Fe^{+3}} = 26$ mg/l with fixed values of additional criteria $Y_{Fe_{общ}} = 26$ mg/l, $Y_{CO_2} = 30$ mg/l, $Y_{pH} = 7.5$.

Библиографический список

- Кондратьева Т. Л., Попова В. В. Сохранение фонда водяных скважин как один из способов качественного водоснабжения сельских населённых пунктов и сельскохозяйственных предприятий. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 3 (39). С. 207-223.
- Смирнов В. А. Анализ способов очистки воды от железа. Костромская государственная сельскохозяйственная академия. Караваево, 2019. 18 с.
- Войтов И. В., Гудинович П. М., Еловик В. Л. Биохимические технологии очистки артезианских вод для нужд промышленного водоснабжения. Труды БГТУ. Сер. 2. Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2021. № 1 (241). С. 205-210.
- Войтов Е. Л., Сколупович Ю. Л., Рафальская Т. А., Шевцов М. Н. Подготовка питьевой воды из скважин с высоким содержанием железа и марганца. Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2024. № 2 (59). С. 53-61.
- Войтов Е. Л., Сколупович Ю. Л., Майков В. М., Шведков П. В. Подготовка питьевой воды из подземного источника с повышенным содержанием железа и марганца. Известия вузов. Строительство. 2023. № 2 (770). С. 44-55.
- Соловьёв, Д. А., Дементьев, А. А., Ключникова, Н. М., Прохоров, Н. И. Гигиеническая характеристика химического состава воды подземных водоисточников Рязанской области. Вестник РГМУ. 2018. № 5. С. 48-54.
- Жулин А. Г., Сидоренко О. В., Белова Л. В. Технологические схемы обезжелезивания подземных вод Тюменского региона. Архитектура, строительство, транспорт. 2023. № 3 (105). С. 61-71.
- Belyaev A. I. et al. Improving the quality of irrigation water by vacuum treatment. E3S Web of Conferences. II International Conference on Agriculture, Earth Remote Sensing and Environment (RSE-II-2023). EDP Sciences, 2023. Vol. 392. Article 01016. 6 p.
- Боровой Е. П. и др. Улучшение качества оросительной воды методом вакуумной обработки. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 4 (72). С. 380-388.
- Вольская О. Н. и др. Интенсификация комплексной очистки подземных источников с помощью многоступенчатого вакуумного эжектора и полуавтоматического фильтра нисходящего фильтрования. Вестник ВолгГАСУ. 2025. Вып. 1 (98). С. 176-183.
- Ronny, Hasim A. H. Effectiveness of multiple tray-aerators in reducing iron (Fe) water wells in Gowa Regency, Indonesia. Ecology, Environment and Conservation. 2018. No 24 (1). Pp. 22-25.
- Marins K. et al. Iron and manganese present in underground water promote biochemical, genotoxic, and behavioral alterations in zebrafish (danio rerio). Environ. Sci. Pollut. Res. Int. 2019. No 26. Pp. 23555-23570.

References

- Kondratieva T. L., Popova V. V. Preservation of the water well fund as one of the methods of high-quality water supply of settlements and agricultural enterprises. Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2020. No 3 (39). Pp. 207-223.
- Smirnov V. A. Analysis of the method of water purification from iron. Kostroma State Agricultural Academy. Karavaevo, 2019. 18 p.
- Voitov I. V., Gudimovich P. M., Elovik V. L. Biochemical technologies for artesian water purification for industrial water supply needs. Proceedings of BSTU. Series 2, Chemical technologies, biotechnology, geoecology. 2021. No 1 (241). Pp. 205-210.
- Voitov E. L., Skolubovich Yu. L., Rafalskaya T. A., Shevtsov M. N. Preparation of drinking water from wells with minimal iron and manganese content. Bulletin of the Engineering School of Far Eastern Federal University. 2024. No 2 (59). Pp. 53-61.

5. Voytov E. L., Skolubovich Yu. L., Maikov V. M., Shvedkov P. V. Preparation of drinking water from an underground source with an increased content of iron and manganese. Bulletin of universities. Construction. 2023. No 2 (770). Pp. 44-55.
6. Soloviev D. A., Dementyev A. A., Klyuchnikova N. M., Prokhorov N. I. Hygienic characteristics of the chemical composition of water from underground water sources in the Ryazan region. Bulletin of the Russian State Medical University. 2018. No 5. Pp. 48-54.
7. Zhulin A. G., Sidorenko O. V., Belova L. V. Technological schemes for iron removal from groundwater in the Tyumen region. Architecture, construction, transport. 2023. No 3 (105). Pp. 61-71.
8. Belyaev A. I. et al. Improving the quality of irrigation water by vacuum treatment. E3S Web of Conferences. II International Conference on Agriculture, Earth Remote Sensing and Environment (RSE-II-2023). EDP Sciences, 2023. V. 392. Article 01016. 6 p.
9. Borovoy E. P. et al. Improving the quality of irrigation water by vacuum treatment. Bulletin of the Nizhnevolzhskiy Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2023. No 4 (72). Pp. 380-388.
10. Volskaya O. N. et al. Intensification of complex cleaning of underground sources using a multi-stage vacuum ejector and a semi-automatic downward filtration filter. Bulletin of VolgGASU. 2025. Issue 1 (98). Pp. 176-183.
11. Ronny, Hasim A. H. Effectiveness of multiple tray-aerators in reducing iron (Fe) water wells in Gowa Regency, Indonesia. Ecology, Environment and Conservation. 2018. No 24 (1). Pp. 22-25.
12. Marins K. et al. Iron and manganese present in underground water promote biochemical, genotoxic, and behavioral alterations in zebrafish (danio rerio). Environ. Sci. Pollut. Res. Int. 2019. No 26. Pp. 23555-23570.

Информация об авторах

Вольская Ольга Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1), e-mail: volskayao_8@mail.ru

Пахомов Александр Алексеевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: shvig31@mail.ru

Тронеv Сергей Викторович, доктор технических наук, доцент, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: stronev@mail.ru

Чураков Алексей Александрович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1), e-mail: alexei.churakov@yandex.ru

Authors' Information

Volskaya Olga Nikolaevna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400074, Volgograd, Akademicheskaya Street, 1), e-mail: volskayao_8@mail.ru

Pakhomov Aleksandr Alekseyevich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: shvig31@mail.ru

Tronev Sergey Viktorovich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: stronev@mail.ru

Churakov Aleksey Aleksandrovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400074, Volgograd, Akademicheskaya Street, 1), e-mail: alexei.churakov@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-65

THE AI AGENT DEVELOPMENT FOR HORTICULTURAL CROP IMAGES AUTOMATIC TAGGING WITH THE NEURAL NETWORKS USING

Kutyrev A. I.*Federal Scientific Agroengineering Center VIM
Moscow, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: alexeykutyrev@gmail.com

Received 23.01.2026

Submitted 26.03.2026

The research was carried out with the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the State Assignment of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Agroengineering Center VIM" (topic No. FGUN-2025-0011).

Summary

This article presents an AI agent for the automatic annotation of horticultural images. The proposed method integrates pre-trained YOLO neural network models with user interface automation technologies and computer vision algorithms. Experimental results demonstrate that the AI agent accelerates the annotation process by 4.2-7.6 times for segmentation and detection tasks, respectively, while simultaneously improving annotation accuracy (mIoU) by 12-16 % compared to manual expert work. The modular software architecture ensures compatibility with popular annotation platforms such as Roboflow, CVAT, and Label Studio, significantly reducing the labor costs of creating high-quality training datasets. The AI agent makes advanced computer vision technologies more accessible for industrial horticulture, facilitating the development of precise monitoring systems for yield prediction, phytosanitary control, and precision crop management.

Abstract

Introduction. The development of computer vision methods based on deep neural networks for monitoring orchard plantations is hindered by the complexity and high labor intensity of creating training datasets. Manual annotation of images of fruit crops obtained using UAVs, robotic platforms, and stationary RGB

cameras requires significant time investment. The article presents a method and software implementation of an AI agent for automatic annotation of images obtained in commercial horticulture settings. It integrates YOLO neural network models for recognizing biological objects (ovaries, flowers, fruits, leaves, signs of diseases) and technologies for automating interaction with annotation interfaces. **Materials and methods.** Software (SW) was developed in Python with a PyQt5 graphical interface to manage three complementary modules: 1) an operations automation module (adaptive clicker, search by color and template, etc.), 2) an automatic annotation module based on YOLO neural network models supporting detection, classification, and segmentation, and 3) a macro module for recording and reproducing sequences of user actions. Experimental studies were conducted on a dataset of images from a commercial apple orchard (420 images, 3840×2160 resolution). The method's effectiveness was evaluated in two modes: detection (bounding boxes) and segmentation (polygons). **Results and conclusion.** The use of the AI agent reduced dataset creation time by 4.2 times in segmentation mode and by 7.6 times in detection mode, while simultaneously increasing the mIoU accuracy metric by 12-16 % compared to manual expert annotation. Overall labor costs were reduced from ~17.5 to ~2.3 and ~4.2 machine-hours for detection and segmentation modes, respectively. The developed software is adapted to work with standard annotation tools on various platforms and image labeling web services (Roboflow, CVAT, Label Studio) and can be used to accelerate dataset creation for tasks of monitoring phytosanitary status, yield forecasting, and precision management of agrotechnological operations in commercial horticulture.

Keywords: *automated data labeling, industrial horticulture, computer vision, YOLO, garden planting monitoring, image annotation.*

Citation. Kutyrev A. I. The AI agent development for horticultural crop images automatic tagging with the neural networks using. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 588-599 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-65.

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 631.171:004.032.6:004.932.72

РАЗРАБОТКА ИИ-АГЕНТА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РАЗМЕТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ САДОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Кутырёв А. И., кандидат технических наук

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»
г. Москва, Российская Федерация

Исследования проведены при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (тема № FGUN-2025-0011).

Актуальность. Развитие методов компьютерного зрения, основанных на глубоких нейронных сетях, для мониторинга садовых насаждений сдерживается сложностью и высокой трудоемкостью создания обучающих датасетов. Ручная аннотация изображений плодовых культур, полученных с помощью БЛА, роботизированных платформ и стационарных RGB камер, требует значительных временных затрат. В статье представлен метод и программная реализация ИИ-агента для автоматической разметки изображений, получаемых в условиях промышленного садоводства, интегрирующий нейросетевые модели YOLO для распознавания биологических объектов (завязи, цветки, плоды, листья, признаки заболеваний) и технологии автоматизации взаимодействия с интерфейсами аннотирования. **Материалы и методы.** Разработано программное обеспечение (ПО) на Python с графическим интерфейсом PyQt5, для управления тремя взаимодополняющими модулями: 1) модуль автоматизации операций (адаптивный кликер, поиск по цвету и шаблону и др.) 2) модуль автоматической аннотации на основе нейросетевых моделей YOLO с поддержкой распознавания, классификации и сегментации 3) модуль макросов для записи и воспроизведения последовательностей действий пользователя. Экспериментальные исследования проведены на датасете изображений промышленного яблоневого сада (420 изображений, разрешение 3840×2160). Эффективность метода оценена в двух режимах: распознавания (ограничивающие рамки) и сегментации (полигоны). **Результаты и выводы.** Применение ИИ-агента позволило сократить время создания датасета в 4,2 раза в режиме сегментации и в 7,6 раза в режиме распознавания при одновременном повышении метрики точности mIoU на 12-16 % по сравнению с ручной разметкой эксперта. Общие трудозатраты сократились с ~17,5 до ~2,3 и ~4,2 машино-часов для режимов распознавания и сегментации соответственно. Разработанное ПО адаптировано для работы с типовыми инструментами аннотирования на различных платформах и веб-сервисах разметки изображений (Roboflow, CVAT, Label Studio) и может быть использовано для ускорения создания датасетов при решении задач мониторинга фитосанитарного состояния, прогнозирования урожайности и прецизионного управления агротехнологическими операциями в промышленном садоводстве.

Ключевые слова: автоматическая разметка данных, промышленное садоводство, компьютерное зрение, YOLO, мониторинг садовых насаждений, аннотация изображений.

Цитирование. Кутырёв А. И. Разработка ИИ-агента для автоматической разметки изображений садовых насаждений с использованием нейронных сетей. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 588-599. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-65.

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. В настоящее время промышленное садоводство характеризуется интенсивным внедрением цифровых технологий, основанных на данных дистанционного мониторинга [1, 2]. Компьютерное зрение, в частности нейросетевые модели распознавания и сегментации (YOLO, Mask R-CNN, U-Net, EfficientDet, DeepLab), находит все более широкое применение для решения задач автоматического подсчета завязей, цветков и плодов с целью прогноза урожайности [3-5], оценки фитосанитарного состояния насаждений [6, 7], идентификации сортов и фенологических фаз развития растений [8]. При этом под распознаванием (детекцией) обычно понимают локализацию объектов с помощью ограничивающих рамок (bounding boxes) [9], а под сегментацией – точное выделение контуров объектов (полигонов или масок) [10].

Эффективность моделей нейронных сетей зависит от объема, репрезентативности и качества размеченных обучающих выборок. Однако создание таких датасетов связано со значительными сложностями: сезонный характер развития культур ограничивает время для сбора данных; высокая вариативность условий съемки (освещенность, погода и др.) требует формирования выборки, охватывающей весь спектр условий; необходимость разметки большого количества сложных объектов (плоды, часто частично скрытые листвой; симптомы заболеваний на ранних стадиях) делает процесс трудоемким [11-13].

Ручная разметка изображений с использованием существующих инструментов на различных платформах и веб-сервисах RoboFlow, CVAT или LabelImg требует привлечения квалифицированных агрономов, чьи экспертные знания необходимы для точного выделения и классификации объектов. Этот процесс не только затратен по времени (разметка одного изображения высокого разрешения может занимать 2-5 минут), но и зависит от человеческого фактора, что неизбежно влечёт за собой субъективные ошибки [14-16]. В условиях промышленного садоводства, где требуется регулярный мониторинг сотен гектаров насаждений, подобные издержки становятся сдерживающим фактором для внедрения технологий ИИ.

К существующим методам ускорения разметки изображений относятся активное обучение (Active Learning), при котором модель запрашивает у эксперта разметку наиболее информативных для обучения изображений; слабо контролируемое обучение (Weakly-Supervised Learning), основанное на использовании частичных меток (например, указания присутствия объекта на изображении без выделения его точных границ), а также применение предобученных моделей (pre-trained models), которые после дообучения на небольшом размеченном наборе данных позволяют автоматически аннотировать новые изображения [17, 18]. Однако современные программные платформы не предоставляют готовых решений для полной автоматизации цикла «предсказание-размещение аннотации в интерфейсе-сохранение», требуя ручного переноса координат или разработки сложных скриптов интеграции через API. Таким образом, разработка специализированного программного ИИ-агента (агента на основе искусственного интеллекта), способного автономно выполнять разметку изображений садовых насаждений путем интеграции нейросетевой модели с графическим интерфейсом инструмента аннотирования, представляет собой актуальную научно-практическую задачу.

Целью исследований является разработка метода и программного ИИ-агента для автоматизации разметки изображений садовых насаждений, позволяющего сократить трудозатраты на создание датасетов за счёт использования нейросетевых моделей и автоматизации пользовательского интерфейса.

Материалы и методы. В рамках исследования разработан комплексный метод автоматизации разметки изображений садовых насаждений, реализованный в виде модульного программного обеспечения. Работа ИИ-агента построена на принципах модульности и

асинхронного выполнения задач с использованием языка Python 3.12 и фреймворка PyQt5 для создания графического интерфейса (рисунок 1). Для реализации функционала использованы библиотеки pyautogui и pynput для эмуляции перемещений компьютерной мыши и клавиатуры и захвата событий; библиотеки OpenCV и PIL для обработки и анализа изображений (поиска по цвету, сопоставления шаблонов); библиотека ultralytics для работы с моделями YOLO различных версий (v5, v8, v11, v12); PyTorch для нейросетевых вычислений; SQLite для ведения журнала операций.

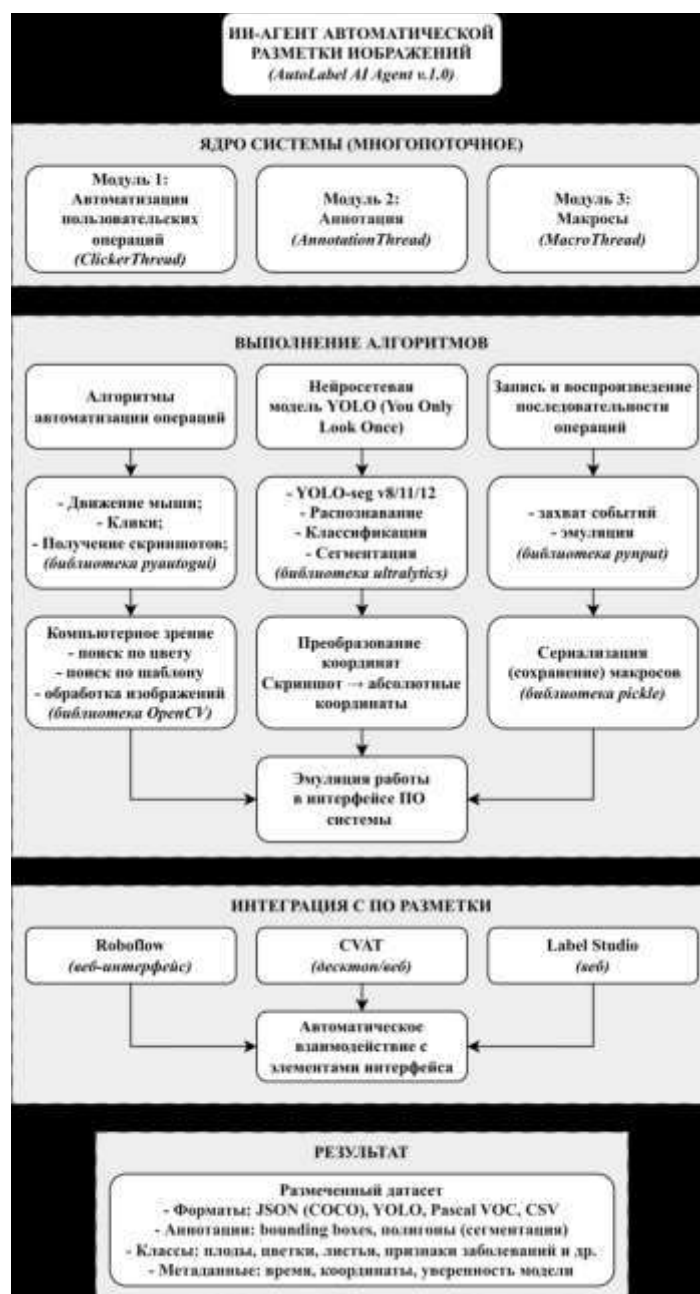


Рисунок 1 – Схема работы ИИ-агента для автоматической разметки изображений в садоводстве
Figure 1 – AI agent schematic diagram for horticulture automatic image annotation

Модуль 1 реализует набор операций, оптимизированных для типовых действий при работе с изображениями. Автоматический обход изображения по виртуальной сетке с заданным шагом (для систематического осмотра крупных планов деревьев, плодов, листьев и др. на предмет поражения болезнями). Поиск по цветовому диапазону, включая захват эталонного цвета (например, характерного для спелого плода яблока RGB (180, 30, 30) или

симптома заболеваний RGB(200, 220, 150)), что позволяет аннотировать объекты по цветовому признаку для оценки степени спелости плодов или диагностики дефицита питательных веществ.

Модуль 2 предназначен для автоматической аннотации на основе моделей YOLO. Работа модуля начинается с этапа инициализации, в ходе которого пользователь загружает файл весов предобученной модели нейронной сети YOLO (формат .pt). Необходимо использовать модель, предварительно обученную на репрезентативной выборке изображений для повышения точности начальных предсказаний. В интерфейсе программы задаются основные параметры инференса: порог уверенности (`conf_threshold`) и порог IoU (`iou_threshold`) для исключения дублирующихся распознаваний. Затем, с помощью инструмента захвата координат, фиксируются экранные координаты элементов интерфейса используемого программного обеспечения для разметки (например, кнопок «Bounding Box», «Polygon», «Подтвердить класс», «Следующее изображение»). После завершения настройки запускается основной цикл автоматической аннотации. На каждом шаге цикла программа вначале осуществляет захват области экрана, соответствующей окну приложения с текущим изображением для разметки. Полученный скриншот передается на вход загруженной модели YOLO, которая работает в режиме распознавания или сегментации. В случае сегментации, бинарные маски объектов проходят этап постобработки, производится аппроксимация контуров полигонами. Параметры алгоритма позволяют управлять степенью упрощения контура, обеспечивая баланс между точностью описания формы объекта (например, сложного контура яблока, частично закрытого листвой) и количеством точек полигона, что влияет на скорость и точность. Далее система преобразует координаты распознанных ограничивающих рамок (`bounding boxes`) или вершин полигонов из системы координат скриншота в абсолютные координаты экрана. На основе этих координат модуль осуществляет эмуляцию процесса ручной разметки. Для каждого обнаруженного объекта последовательно имитируется следующий набор действий: клик на соответствующий инструмент в интерфейсе («Прямоугольник» для выделения в ограничивающую рамку или «Полигон» для сегментации). После обработки всех объектов на текущем изображении эмулируется клик на кнопку перехода к следующему изображению в наборе данных. Весь процесс сопровождается логированием всех выполняемых действий, системных статусов и возможных ошибок. Для обеспечения контроля качества и возможного последующего дообучения модели предусмотрена опция сохранения скриншотов с визуально наложенными результатами предсказаний модели, что позволяет эксперту провести анализ результатов без необходимости повторного прохождения всего цикла разметки. Модуль 2 поддерживает работу в двух основных режимах, соответствующих задачам аннотирования: режим распознавания (детекция с построением ограничивающих рамок, `bounding boxes`) и режим сегментации (построение полигональных масок). Режим распознавания оптимален для задач подсчета и локализации, в то время как режим сегментации необходим для прецизионного анализа формы, размера и площади объектов.

Модуль 3 предназначен для записи и воспроизведения последовательности операций эксперта-агронома при работе со сложными случаями разметки (например, выделение частично скрытых плодов в кроне дерева) и автоматического применения их на новых изображениях. Система записывает все события мыши (перемещения, клики, перетаскивания) и клавиатуры с сохранением временных интервалов. Воспроизведение осуществляется с настраиваемой скоростью и поддержкой цикличности. При плотной листве плоды (например, яблоки) могут быть частично или полностью скрыты. Эксперт-агроном, используя комбинацию приближения (зума), смещения области просмотра и ручного обвода, может выделить такой объект. Макрос позволяет записать эту последовательность действий (1. клик на инструмент «Увеличение», 2. смещение курсора к зоне интереса, 3. ручной обвод полигоном, 4. выбор класса «Плод_скрытый») и применить её к аналогичным случаям на других изображениях. После работы модуля автоматической аннотации эксперт может провести верификацию. При обнаружении ошибки (ложное срабатывание) возможна запись макроса корректирующих действий: удаление неверной ограничивающей рамки, добавление пропущенного объекта с помощью полигональной разметки. Этот макрос затем можно воспроизвести для коррекции систематических ошибок модели на всей выборке изображений. Симптомы некоторых поражений или повреждений (градобой, солнечные ожоги) могут иметь нечеткие, размытые границы или нетипичную окраску, неточно распо-

знаваемые моделью нейронной сети. Эксперт, обладающий предметными знаниями, может записать оптимальную стратегию их разметки. Для задач, требующих разметки не просто объекта, а его состояния (например, «Плод_здоровый» – «Плод_с_признаком_парши»), часто требуется последовательность действий, включающая выделение объекта, выбор основного класса, открытие меню атрибутов, присвоение соответствующего атрибута. Макрос автоматизирует этот многоступенчатый процесс, значительно ускоряя разметку данных.

Интерфейс разработанного ИИ-агента представляет собой многофункциональную панель управления, организованную в виде системы вкладок и групп настроек (рисунок 2).

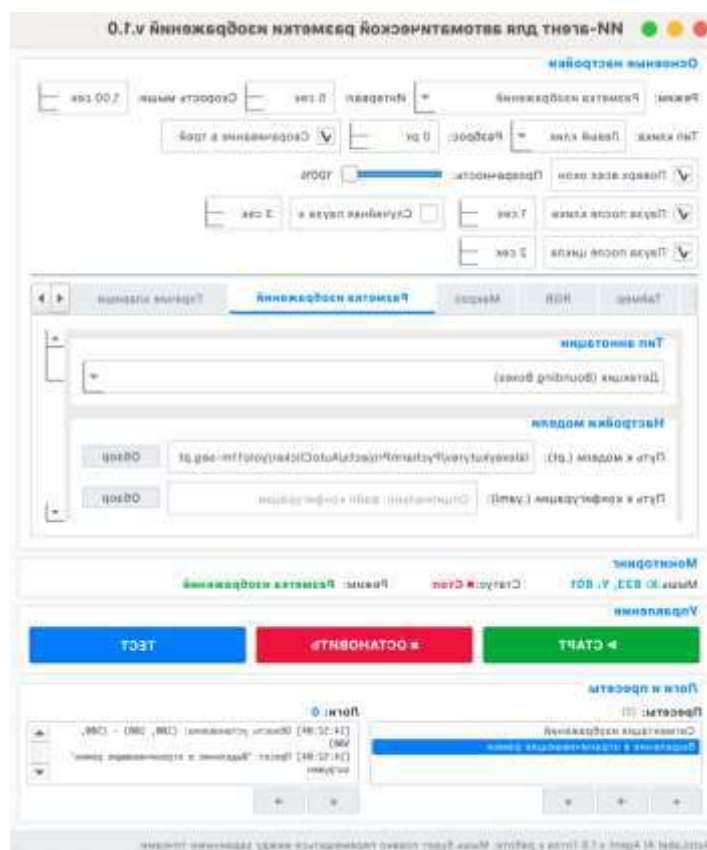


Рисунок 2 – Интерфейс ИИ-агента для автоматической разметки изображений
Figure 2 – AI Agent Interface for Automatic Image Annotation

В верхней части расположены основные параметры работы: выбор режима, настройки интервала, скорости движения мыши и типа клика. Центральную часть интерфейса занимают панели для детальной настройки выбранного режима, включая задание координат области разметки, параметров поиска по цвету или загруженному изображению, а также настроек нейросетевой модели для аннотирования. В нижней части расположены панель мониторинга с отображением текущей позиции мыши и статуса работы, блок управления с кнопками запуска, остановки и тестирования, а также разделы для работы с логами и сохраненными пресетами настроек. Интерфейс обеспечивает управление всеми модулями ИИ-агента, позволяя настраивать параметры автоматизации под конкретную задачу разметки садовых насаждений.

Для оценки точности соответствия автоматической разметки эталонной (ручной разметки, выполненной экспертом-агрономом) использована метрика (mean Intersection over Union, mIoU), вычисленная по формуле 1:

$$mIoU = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|A_i \cap B_i|}{|A_i \cup B_i|} \quad (1)$$

где N – общее количество объектов в датасете, A_i и B_i – бинарные маски -го сопоставленного объекта в автоматической и эталонной разметке соответственно. Маска представляет собой функцию $m(x, y) \in \{0, 1\}$ на области изображения, где 1 соответствует пикселям объекта, 0 – фону, $| \cdot |$ – площадь маски, равная сумме значений её пикселей, $\cap$ и $\cup$ – операции пересечения и объединения масок соответственно.

Площадь пересечения и объединения для пары масок вычисляются по формулам 2 и 3:

$$|A_i \cap B_i| = \sum_{x,y} A_i(x,y) \cdot B_i(x,y) \quad (2)$$

$$|A_i \cup B_i| = \sum_{x,y} \max(A_i(x,y), B_i(x,y)) \quad (3)$$

Значения mIoU лежат в диапазоне от 0 (полное несовпадение) до 1 (идеальное совпадение). В экспериментах объект считался корректно размеченным при mIoU > 0,7, что является стандартным порогом для задач распознавания и сегментации в компьютерном зрении.

Для оценки качества распознавания объектов и анализа работы моделей использовались метрики точности (precision, P) и полноты (recall, R), вычисляемые по формулам (4) и (5). Точность отражает долю корректно распознанных объектов среди всех срабатываний модели, минимизируя ложные срабатывания (False Positives, FP). Полнота отражает долю успешно обнаруженных объектов от общего числа истинных объектов на изображении и характеризует способность модели находить все целевые объекты, минимизируя пропуски (False Negatives, FN).

$$P = \frac{TP}{TP+FP} \quad (4)$$

$$R = \frac{TP}{TP+FN} \quad (5)$$

где TP (True Positives) – количество истинно-положительных распознаваний (объекты, которые модель корректно обнаружила и классифицировала), FP (False Positives) – количество ложно-положительных распознаваний (объекты, которые модель ошибочно обнаружила там, где их нет в эталонной разметке, либо обнаружила с неправильным классом), FN (False Negatives) – количество ложно-отрицательных распознаваний (объекты, присутствующие в эталонной разметке, которые модель не распознала [19, 20].

Высокое значение метрики точности минимизирует объем последующей работы эксперта по удалению ложных срабатываний модели, а высокое значение метрики полноты снижает пропуски целевых объектов, обеспечивая репрезентативность датасета.

Результаты и их обсуждение. В ходе эксперимента сравнивалась эффективность ручного и разработанного автоматизированного методов разметки изображений плодов яблони на кроне дерева. Проведены эксперименты по автоматической разметке изображений плодов яблони в двух режимах: распознавания (ограничивающие рамки) и сегментации (полигоны). Выполнена ручная разметка 100 изображений с помощью сервиса Roboflow, при этом фиксировалось общее время работы; в экспериментальной группе для разметки оставшихся 320 изображений использовался разработанный ИИ-агент, основанный на модуле автоматической аннотации с моделью YOLOv11-seg, которая была предварительно дообучена на 150 размеченных изображениях плодов яблони, с установленным порогом уверенности 0,45.

На рисунке 3 представлен процесс разметки изображений с помощью ИИ-агента на платформе Roboflow.



а



б

Рисунок 3 – Процесс разметки изображений с помощью ИИ-агента: а – выделение объектов в ограничивающие рамки (bounding boxes), б – выделение контуров объектов (полигонов)
Figure 3 – Image annotation process using an AI agent: a – placing objects within bounding boxes, b – outlining objects with polygons

Освобождение эксперта от выполнения повторяющихся действий и перенос его функций в область контроля и корректировки автоматизированного процесса разметки позволило существенно сократить время на выполнение однообразных операций, повысив общую эффективность и устойчивость формирования датасета.

Результаты проведения эксперимента представлены в Таблице 1. Время работы ИИ-агента включает настройку и периодический контроль. Метрика mIoU для ручной разметки не рассчитывалась (использовалась как эталон); для автоматической разметки она определена относительно эталона.

Таблица 1 – Результаты проведения эксперимента
Table 1 – The results of the experiment

Показатель / Parameter	Ручная разметка (эксперт) / Manual marking (expert)	Автоматическая разметка: режим распознавания, выделения объектов в ограничивающие рамки (ИИ-агент) / Automatic annotation: detection mode, outlining objects with bounding boxes (AI Agent)	Автоматическая разметка: режим сегментации, выделение контуров объектов (ИИ-агент) / Automatic annotation: segmentation mode, segmenting object boundaries (AI Agent)
Среднее время на изображение, сек. / Average time per image, sec.	150 ± 17	20 ± 5	36 ± 12
Общее время на датасет (420 изображений) / Total time for the dataset (420 images)	~17,5 человеко-часов / hours of human work	~2,3 маш.-ч. / machine operating hours	~4,2 маш.-ч. / machine operating hours
Метрика mIoU / mIoU metric	- (эталон) / - (standard)	0,91	0,94
Доля аннотаций с IoU > 0,7 / Share of annotations with IoU > 0.7	82,2 % *	93,0 %	94,3 %

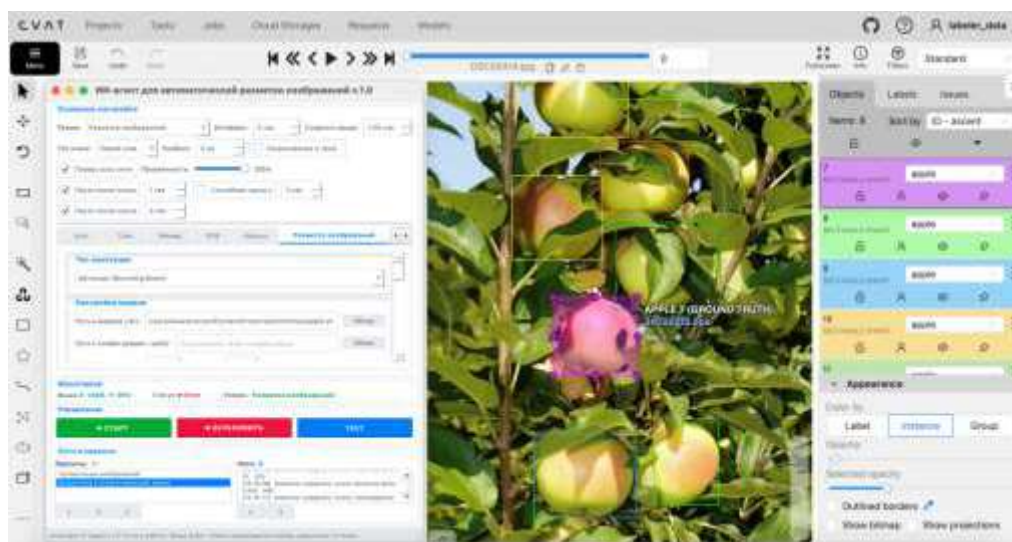
* Для ручной разметки показатель рассчитан как доля объектов, где согласие между двумя независимыми экспертами превысило порог IoU > 0,7.

* For manual labeling, the indicator is calculated as the proportion of objects where the agreement between two independent experts exceeded the IoU threshold of > 0.7.

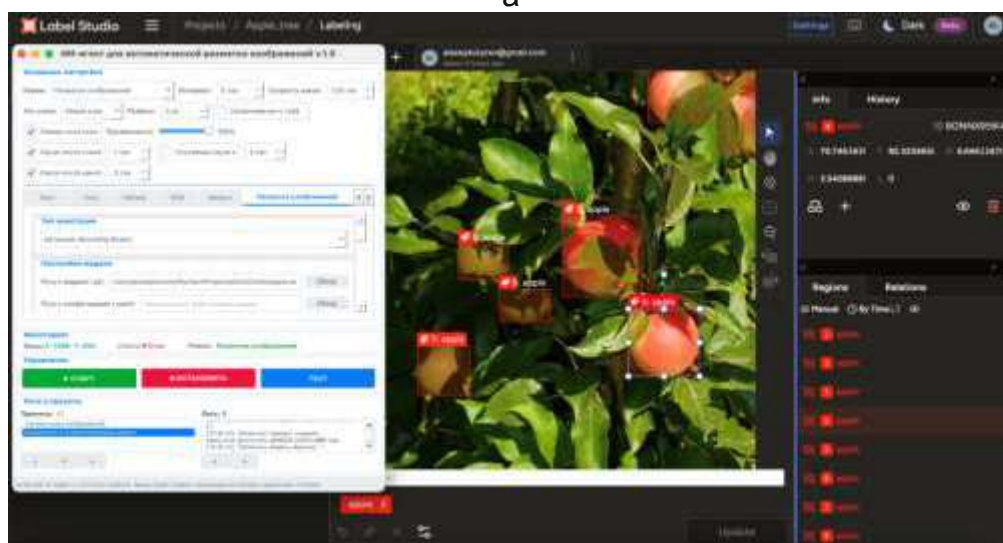
Режим распознавания, выделения объектов в ограничивающие рамки, обеспечил максимальное ускорение разметки в 7,6 раз (среднее время сократилось с 150 ± 17 до 20 ± 5 секунд). Режим сегментации оказался в 4,2 раза быстрее ручного метода. Общие трудозатраты на создание датасета снизились с $\sim 17,5$ человеко-часов до $\sim 2,3$ и $\sim 4,2$ машинно-часов для распознавания и сегментации соответственно.

Качество автоматической разметки превысило ручное в обоих режимах. В режиме сегментации значение метрики mIoU достигло 0,94, что на 16 % выше, чем аналогичный показатель согласованности между экспертами при ручной разметке (0,81). В режиме распознавания метрика mIoU составила 0,91, что на 12 % выше.

Исследована зависимость между точностью (precision) и полнотой (recall) при сегментации плодов яблони от выбранного порога уверенности модели. Снижение порога с 0,6 до 0,3 позволило увеличить полноту сегментации плодов яблони с 85 % до 94 %, однако при этом точность снизилась с 92 % до 81 %. Таким образом, настройка порога уверенности модели нейронной сети позволяет управлять процессом разметки в зависимости от приоритетов задачи: смещение в сторону высокой полноты целесообразно на этапе первоначального создания датасета, а высокая точность для расширения датасета с минимальными последующими правками.



а



б

Рисунок 4 – Процесс разметки изображений с помощью ИИ-агента в веб-сервисах разметки:
а – интерфейс CVAT, б – интерфейс Label Studio

Figure 4 – The image annotation process using an AI agent in web-based annotation platforms:
a – interface CVAT, b – interface Label Studio

Работа на уровне пользовательского интерфейса (без использования API) позволяет обеспечить совместимость ИИ-агента с различными платформами и веб-сервисами разметки (рисунок 4). Работу ИИ-агента возможно адаптировать для разметки различных плодовых культур путем замены модели YOLO.

Использование Модуля 1 (автоматизации операций) для автоматического обхода изображения по виртуальной сетке позволило сократить время на осмотр и первичную разметку на 20-25 % по сравнению с ручным поиском и масштабированием каждого фрагмента изображения вручную. Анализ случаев, где автоматическая разметка плодов показала низкую точность ($IoU < 0,5$), показал, что ~60 % из них приходится на объекты в условиях тени или низкого освещения. Для таких условий создан корректирующий макрос, который автоматически применял дополнительную пороговую обработку по яркости перед повторной разметкой, что позволило повысить точность на 15-20 % для данной категории изображений.

Модуль 3 (макросов) показал высокую эффективность при коррекции систематических ошибок. Применение записанных последовательностей для удаления типичных ложных срабатываний модели сократило время постобработки одного изображения в среднем с 15 до 8 секунд, повысив скорость выполнения этой операции более чем в 1,8 раза.

Заключение. Разработан метод и его программная реализация в виде ИИ-агента для автоматической разметки изображений. Метод основан на использовании предобученных нейросетевых моделей, алгоритмов компьютерного зрения и технологий автоматизации пользовательского интерфейса. Экспериментально подтверждено, что применение разработанного ПО позволяет сократить трудозатраты на создание размеченных датасетов в 4,2-7,6 раз (в зависимости от выбранного режима) при одновременном повышении точности (mIoU) на 12-16 %.

Перспективы развития метода охватывают несколько ключевых направлений. Технически возможно встраивание ИИ-агента в систему сбора данных, подключение к видеопотоку, получаемому с БЛА или роботизированных платформ для разметки изображений в полевых условиях в режиме реального времени. Для повышения автономности ИИ-агент целесообразно дополнить механизмом активного обучения, который будет автоматически отбирать наиболее сложные и информативные кадры для последующего дообучения модели, сокращая трудозатраты эксперта. В дальнейших исследованиях целесообразно создать библиотеку предобученных профилей (пресетов) под основные культуры и задачи: оценку интенсивности цветения, диагностику болезней листьев или анализ спелости плодов.

Внедрение инструментов автоматизации разметки позволяет сделать технологии ИИ более доступными для промышленного садоводства за счёт сокращения трудозатрат на создание обучающих выборок. Это, в свою очередь, позволяет создавать более точные и специализированные модели для мониторинга, что ускоряет окупаемость цифровых систем и в конечном итоге способствует повышению продуктивности насаждений и качества урожая.

Conclusions. A method and its software implementation in the form of an AI agent for automatic image annotation have been developed. The method is based on the use of pre-trained neural network models, computer vision algorithms, and user interface automation technologies. The integration of YOLO neural network models with user interface automation technologies reduced annotation time by 4.2-7.6 times while simultaneously increasing the accuracy metric mIoU by 12-16 % compared to manual expert work. The modular software architecture ensures adaptability to various annotation tools (Roboflow, CVAT, Label Studio) and tasks (detection, segmentation). The implementation of annotation automation tools makes AI technologies more accessible for industrial horticulture by reducing the labor costs of creating training datasets. This, in turn, enables the creation of more accurate and specialized models for monitoring, which accelerates the payback of digital systems and ultimately contributes to increased plantation productivity and crop quality.

Библиографический список

1. Lv M., Xu Y.-X., Miao Y.-H., Su W.-H. A Comprehensive Review of Deep Learning in Computer Vision for Monitoring Apple Tree Growth and Fruit Production. *Sensors*. 2025. V. 25. No. 8. Art. 2433.
2. Du X., Zhang X., Li T., Chen X., Yu X., Wang H. YOLO-WAS: A Lightweight Apple Target Detection Method Based on Improved YOLO11. *Agriculture*. 2025. V. 15. No. 14. Art. 1521.
3. Yang X., Gao Y., Yin M., Li H. Automatic Apple Detection and Counting with AD-YOLO and MR-SORT. *Sensors*. 2024. V. 24. No. 21. Art. 7012.
4. Chen Z., Su R., Wang Y., Chen G., Wang Z., Yin P., Wang J. Automatic Estimation of Apple Orchard Blooming Levels Using the Improved YOLOv5. *Agronomy*. 2022. V. 12. No. 10. Art. 2483.
5. Хорт Д. О., Кутырев А. И., Смирнов И. Г., Филиппов Р. А., Вершинин Р. В. Разработка алгоритмов системы распознавания ягод земляники садовой при роботизированном сборе. *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2020. Т. 67. № 1 (38). С. 133-141.
6. Gao L., Cao H., Zou H., Wu H. DMN-YOLO: A Robust YOLOv11 Model for Detecting Apple Leaf Diseases in Complex Field Conditions. *Agriculture*. 2025. V. 15. No. 11. Art. 1138.

7. Khort D. O., Kuttyrev A., Smirnov I., Andriyanov N., Filippov R., Chilikin A., Astashev M. E., Molkova E. A., Sarimov R. M., Matveeva T. A., Gudkov S. Enhancing sustainable automated fruit sorting: hyperspectral analysis and machine learning algorithms. *Sustainability*. 2024. V. 16. No. 22. Art. 10084.
8. Olguin-Rojas J. C., Vasquez J. I., López-Canteñs J., Herrera-Lozada J. C., Mota-Delfin C. A Lightweight YOLO-Based Architecture for Apple Detection on Embedded Systems. *Agriculture*. 2025. V. 15. No. 8. Art. 838.
9. Wu T., Miao Z., Huang W., Han W., Guo Z., Li T. SGW-YOLOv8n: An Improved YOLOv8n-Based Model for Apple Detection and Segmentation in Complex Orchard Environments. *Agriculture*. 2024. V. 14. No. 11. Art. 1958.
10. Han W., Li T., Guo Z., Wu T., Huang W., Feng Q., Chen L. LGVM-YOLOv8n: A Lightweight Apple Instance Segmentation Model for Standard Orchard Environments. *Agriculture*. 2025. V. 15. No. 12. Art. 1238.
11. Wang M., Li F. Real-Time Accurate Apple Detection Based on Improved YOLOv8n in Complex Natural Environments. *Plants*. 2025. V. 14. No. 3. Art. 365.
12. Кутырёв А. И., Смирнов И. Г., Андриянов Н. А. Сравнительный анализ моделей нейронных сетей для распознавания плодов яблони на кроне дерева. *Садоводство и виноградарство*. 2023. № 5. С. 56-63.
13. Sekharamantray P. K., Melgani F., Malacarne J. Deep Learning-Based Apple Detection with Attention Module and Improved Loss Function in YOLO. *Remote Sensing*. 2023. V. 15. No. 6. Art. 1516.
14. Kuttyrev A., Andriyanov N., Khort D., Smirnov I., Zubina V. Adaptive CNN Ensemble for Apple Detection: Enabling Sustainable Monitoring Orchard. *AgriEngineering*. 2025. V. 7. No. 11. Art. 369.
15. Oliveira F., da Silva D. Q., Filipe V., Pinho T. M., Cunha M., Cunha J. B., dos Santos F.N. Enhancing Grapevine Node Detection to Support Pruning Automation: Leveraging State-of-the-Art YOLO Detection Models for 2D Image Analysis. *Sensors*. 2024. V. 24. No. 21. Art. 6774.
16. Yang H., Liu Y., Wang S., Qu H., Li N., Wu J., Yan Y., Zhang H., Wang J., Qiu J. Improved Apple Fruit Target Recognition Method Based on YOLOv7 Model. *Agriculture*. 2023. V. 13 No. 7. Art. 1278.
17. Bhattarai U., Karkee M. A Weakly-Supervised Approach for Flower/Fruit Counting in Apple Orchards. *Comput. Ind.* 2022. No 138. Art. 103635.
18. Liu J., Wang C., Xing J. YOLOv5-ACS: Improved Model for Apple Detection and Positioning in Apple Forests in Complex Scenes. *Forests*. 2023. V. 14. No. 12. Art. 2304.
19. Кутырёв А. И. Распознавание и классификация болезней листьев яблони на основе анализа их изображений моделями сверточных нейронных сетей (CNN). *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2023. № 3 (63). С. 215-223.
20. Nguyen L. A., Tran M. D., Son Y. Empirical Evaluation and Analysis of YOLO Models in Smart Transportation. *AI*. 2024. V. 5. No. 4. Pp. 2518-2537.

References

1. Lv M., Xu Y.-X., Miao Y.-H., Su W.-H. A Comprehensive Review of Deep Learning in Computer Vision for Monitoring Apple Tree Growth and Fruit Production. *Sensors*. 2025. V. 25. No. 8. Art. 2433.
2. Du X., Zhang X., Li T., Chen X., Yu X., Wang H. YOLO-WAS: A Lightweight Apple Target Detection Method Based on Improved YOLO11. *Agriculture*. 2025. V. 15. No. 14. Art. 1521.
3. Yang X., Gao Y., Yin M., Li H. Automatic Apple Detection and Counting with AD-YOLO and MR-SORT. *Sensors*. 2024. V. 24. No. 21. Art. 7012.
4. Chen Z., Su R., Wang Y., Chen G., Wang Z., Yin P., Wang J. Automatic Estimation of Apple Orchard Blooming Levels Using the Improved YOLOv5. *Agronomy*. 2022. V. 12. No. 10. Art. 2483.
5. Khort D. O., Kuttyrev A. I., Smirnov I. G., Filippov R. A., Vershinin R. V. Development of algorithms for the recognition of strawberries in robotic harvesting. *Electrical technologies and electrical equipment in the agro-industrial complex*. 2020. V. 67. No. 1 (38). Pp. 133-141.
6. Gao L., Cao H., Zou H., Wu H. DMN-YOLO: A Robust YOLOv11 Model for Detecting Apple Leaf Diseases in Complex Field Conditions. *Agriculture*. 2025. V. 15. No. 11. Art. 1138.
7. Khort D. O., Kuttyrev A., Smirnov I., Andriyanov N., Filippov R., Chilikin A., Astashev M. E., Molkova E. A., Sarimov R. M., Matveeva T. A., Gudkov S. Enhancing sustainable automated fruit sorting: hyperspectral analysis and machine learning algorithms. *Sustainability*. 2024. V. 16. No. 22. Art. 10084.
8. Olguin-Rojas J. C., Vasquez J. I., López-Canteñs J., Herrera-Lozada J. C., Mota-Delfin C. A Lightweight YOLO-Based Architecture for Apple Detection on Embedded Systems. *Agriculture*. 2025. V. 15. No. 8. Art. 838.
9. Wu T., Miao Z., Huang W., Han W., Guo Z., Li T. SGW-YOLOv8n: An Improved YOLOv8n-Based Model for Apple Detection and Segmentation in Complex Orchard Environments. *Agriculture*. 2024. V. 14. No. 11. Art. 1958.
10. Han W., Li T., Guo Z., Wu T., Huang W., Feng Q., Chen L. LGVM-YOLOv8n: A Lightweight Apple Instance Segmentation Model for Standard Orchard Environments. *Agriculture*. 2025. V. 15. No. 12. Art. 1238.
11. Wang M., Li F. Real-Time Accurate Apple Detection Based on Improved YOLOv8n in Complex Natural Environments. *Plants*. 2025. V. 14. No. 3. Art. 365.
12. Kuttyrev A. I., Smirnov I. G., Andriyanov N. A. Comparative analysis of neural network models for apple fruit recognition on a tree crown. *Gardening and viticulture*. 2023. No. 5. Pp. 56-63.
13. Sekharamantray P. K., Melgani F., Malacarne J. Deep Learning-Based Apple Detection with Attention Module and Improved Loss Function in YOLO. *Remote Sensing*. 2023. V. 15. No. 6. Art. 1516.
14. Kuttyrev A., Andriyanov N., Khort D., Smirnov I., Zubina V. Adaptive CNN Ensemble for Apple Detection: Enabling Sustainable Monitoring Orchard. *AgriEngineering*. 2025. V. 7. No. 11. Art. 369.
15. Oliveira F., da Silva D. Q., Filipe V., Pinho T. M., Cunha M., Cunha J. B., dos Santos F.N. Enhancing Grapevine Node Detection to Support Pruning Automation: Leveraging State-of-the-Art YOLO Detection Models for 2D Image Analysis. *Sensors*. 2024. V. 24. No. 21. Art. 6774.
16. Yang H., Liu Y., Wang S., Qu H., Li N., Wu J., Yan Y., Zhang H., Wang J., Qiu J. Improved Apple Fruit Target Recognition Method Based on YOLOv7 Model. *Agriculture*. 2023. V. 13 No. 7. Art. 1278.
17. Bhattarai U., Karkee M. A Weakly-Supervised Approach for Flower/Fruit Counting in Apple Orchards. *Comput. Ind.* 2022. No 138. Art. 103635.
18. Liu J., Wang C., Xing J. YOLOv5-ACS: Improved Model for Apple Detection and Positioning in Apple Forests in Complex Scenes. *Forests*. 2023. V. 14. No. 12. Art. 2304.

19. Kutyrav A. I. Recognition and classification of diseases of apple leaves based on the analysis of their images by convolutional neural network (CNN) models. Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2023. No. 3 (63). Pp. 215-223.

20. Nguyen L. A., Tran M. D., Son Y. Empirical Evaluation and Analysis of YOLO Models in Smart Transportation. AI. 2024. V. 5. No. 4. Pp. 2518-2537.

Информация об авторах

Кутырёв Алексей Игоревич, кандидат технических наук, заведующий лабораторией, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5), e-mail: alexeykutyrav@gmail.com

Author's Information

Kutyrev Aleksey Igorevich, Candidate of Engineering Sciences, Head of the laboratory, Leading Researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5), e-mail: alexeykutyrav@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-66

THE CATTLE SAFETY IMPROVING IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEXES IN CASE OF FIRE

Lepikhova V. A., Lyashenko N. V.

*Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)
Novocherkassk, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: odejnaya@rambler.ru

Received 17.12.2022

Submitted 25.02.2026

Summary

The article is devoted to improving fire safety at agricultural facilities with a priority on animal welfare. A set of organizational and technical solutions for livestock, poultry and fur farming complexes is proposed. Statistical data on fires in rural areas are analyzed, the key causes of fires are identified, and the limitations of the current regulatory framework for the evacuation of animals are assessed. Estimates of the time required for hazardous fire factors to develop are provided and compared with the possible time required to remove animals from a cowshed using various tethering methods and evacuation route lengths. Practical recommendations are formulated for early fire detection, improvement of planning solutions and staff training.

Abstract

Introduction. The main problem with ensuring fire safety at agricultural facilities is that the level of fire safety training among their employees and the firefighting equipment available at these enterprises and farms do not meet the requirements of current technical regulations and fire safety rules. In accordance with Federal Law No. 100 of 6 May 2011 'On Voluntary Fire Protection,' it is necessary to create, train and maintain voluntary fire protection, fire brigades and volunteer firefighters in the agro-industrial complex, providing them with modern and diverse certified fire-fighting equipment and personal protective equipment. **Object.** The article focuses on the development of measures aimed at improving fire safety at agricultural facilities, including livestock, poultry and fur farming complexes, and minimizing fire load. **Materials and methods.** The methodological basis was provided by statistical data from the Russian Ministry of Emergency Situations on fires in rural areas, industry regulations, and standard design solutions for livestock and poultry facilities. Comparative analysis methods, calculated estimates of critical times for the development of hazardous fire factors, and modelling of animal evacuation processes under various housing schemes were used. Fire scenarios typical for agricultural buildings with increased fire load (bedding, feed, wooden structures) were considered. **Results and conclusion.** Investigations show that most electrical fires start at temporary connections, in junction boxes with loose contacts, and in lines serving electric motors for feed dispensers, ventilation, and pumps. To reduce risks, it is necessary to regulate the replacement of cables when the heat resistance of the insulation is exceeded, as well as to use cable lines with reduced smoke and gas emission capacity. Production lines should be equipped with equipment shutdown mechanisms in case of excessive dissipation currents and bearing overheating. In order to detect the source of a fire as early as possible, before it becomes dangerous, advanced fire alarm systems (heat cables, autonomous detectors and other equipment) should be actively introduced in various premises of agricultural enterprises. When designing the architectural and planning structure of agricultural enterprises, it is necessary to provide for the possibility of emergency evacuation of animals and birds in the event of a fire, before the formation of fire hazards or the creation of safety zones for them, by installing effective and safe ventilation systems. The evacuation plan for animals and birds and the instructions for action in case of fire should be simple enough for agricultural workers and firefighters to understand and implement. The Lesokhranitel intelligent video surveillance and early fire warning system installed on the territories of agricultural enterprises, as well as the Russian Ministry of Emergency Situations' Thermal Points mobile application, will undoubtedly provide significant assistance in monitoring the situation and promptly eliminating natural fires and other emergencies.

Keywords: fire safety of livestock facilities, fire alarms, building ventilation systems, fire prevention, and fire control measures.

Citation. Lepikhova V. A., Lyashenko N. V. The cattle safety improving in the agro-industrial complexes in case of fire. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 599-609 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-66.

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 614.84:631.22+636

ПОВЫШЕНИЕ СОХРАННОСТИ ПОГОЛОВЬЯ СКОТА В АГРОПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПЛЕКСАХ ПРИ ОСЛОЖНЕНИИ ПОЖАРНОЙ ОБСТАНОВКИ

Лепихова В. А., кандидат технических наук, доцент

Ляшенко Н. В., кандидат технических наук, доцент

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова
г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация*

Актуальность. Основная проблема обеспечения пожарной безопасности объектов агропромышленного комплекса (АПК) состоит в том, что уровень подготовленности их работников в противопожарном отношении и оснащённость противопожарными средствами этих предприятий и хозяйств не соответствует требованиям действующих технических регламентов и правил в области пожарной безопасности. В соответствии с ФЗ-100 от 06.05.2011 «О добровольной пожарной охране (ДПО)» необходимо в АПК создавать, подготавливать и содержать ДПО, дружины (ДПД), ДПК и добровольных пожарных (ДП), обеспечив их современными и разнообразными сертифицированными средствами пожаротушения и средствами индивидуальной защиты. **Объект.** В статье объектом исследования является разработка мероприятий, направленных на повышение пожарной безопасности объектов АПК, включающих животноводческие, птицеводческие и звероводческие комплексы и минимизацию пожарной нагрузки. **Материалы и методы.** Методологической основой послужили статистические сведения МЧС России по пожарам в сельской местности, отраслевые нормативные документы, а также типовые проектные решения для животноводческих и птицеводческих объектов. Применялись методы сравнительного анализа, расчётные оценки критического времени развития опасных факторов пожара (ОФП) и моделирование процессов эвакуации животных при различных схемах содержания. Рассмотрены сценарии пожара, типичные для сельскохозяйственных зданий с повышенной пожарной нагрузкой (подстилка, корма, деревянные конструкции). **Результаты и выводы.** Практика расследований показывает, что большинство электротехнических пожаров инициируются в местах временных подключений, в распределительных коробках с ослабленными контактами и в линиях, обслуживающих электродвигатели кормораздатчиков, вентиляции и насосов. Для снижения рисков необходимо регламентировать замену кабелей при превышении термостойкости изоляции, а также использовать кабельные линии с пониженной дымо- и газовыделяющей способностью. На производственных линиях следует предусматривать отключение оборудования при превышении токов рассеивания и перегреве подшипников. Для максимально раннего обнаружения очага пожара, до образования его опасных факторов, в различных помещениях АПК следует активно внедрять передовые разработки в области пожарной сигнализации (термокабели, автономные извещатели и другое оборудование). При формировании архитектурно-планировочной структуры необходимо, в случае возникновения пожара, предусмотреть возможность экстренной эвакуации животных и птиц до образования ОФП, а также рассмотреть вариант создания зон безопасности, за счёт установки эффективных и безопасных систем вентиляции. План эвакуации животных и птиц и инструкция действий в случае пожара должны быть достаточно просты для понимания и практического исполнения сельхозработниками и пожарными спасателями. Существенную помощь в отслеживании обстановки и оперативной ликвидации природных пожаров и других чрезвычайных ситуаций (ЧС) окажут установленные на территориях АПК системы интеллектуального видеонаблюдения и раннего оповещения о пожарах «Лесохранитель», а также мобильное приложение МЧС России «Термические точки».

Ключевые слова: *пожарная безопасность животноводческих объектов, пожарная сигнализация, системы вентиляции зданий, профилактика пожаров, противопожарные мероприятия.*

Цитирование. Лепихова В. А., Ляшенко Н. В. Повышение сохранности поголовья скота в агропромышленных комплексах при осложнении пожарной обстановки. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 599-609. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-66.

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. Вопросы пожарной безопасности в АПК и крестьянско-фермерских хозяйствах имеют не только экономическое, но и социальное измерение: от бесперебойного функционирования ферм зависит продовольственная стабильность регионов и благополучие сельских семей. Несмотря на наличие нормативных требований, уровень оснащённости средствами предупреждения и тушения пожаров, а также подготовка персонала по-прежнему неоднородны. На практике нередко отсутствуют локальные добровольные пожарные формирования, недостаточно развита система внутреннего контроля состояния электросетей и оборудования. При этом современная ферма – это высокоавтоматизированный объект с большим количеством электроустановок и длинными кабельными трассами, что повышает вероятность аварийных режимов [1].

Особое значение приобретает обеспечение сохранности поголовья: гибель животных при пожарах приводит к невосполнимым потерям, длительным простоям и разрыву технологических цепочек. Поэтому требуется комплекс мер, который одновременно снижает вероятность пожара, ускоряет его обнаружение и обеспечивает безопасное и быстрое перемещение животных в зоны безопасности [2].

Материалы и методы. Цель работы – сформировать набор унифицированных решений, обеспечивающих снижение пожарных рисков и повышение сохранности животных в условиях ухудшения пожарной обстановки.

Традиционно АПК классифицируются по ряду признаков (Демин О. Б., Ельчищева Т. Ф. Проектирование агропромышленных комплексов. Тамбов: ТГТУ, 2012. 129 с.): по назначению, форме управления, основным производственным признакам, производственной и архитектурно-планировочной структуре, специализации и источникам поступления кормов.

Пожарная безопасность АПК с 2021 года регламентируется Правилами противопожарного режима в Российской Федерации (РФ) 2020 г., которые конкретизируются в Инструкциях по пожарной безопасности указанных объектов [3].

Несмотря на то, что в современном сельском хозяйстве выстроена определённая система пожарной профилактики, пожары имеют место быть ежегодно, нанося значительный материальный ущерб, связанный с гибелью животных и птиц и уничтожением строений.

1 ноября 2023 года произошло возгорание в бытовом помещении частной животноводческой фермы в поселке Ближний Агаповского района Челябинской области. При разборе конструкции после ликвидации возгорания пожарные обнаружили погибшего мужчину – сотрудника фермы. Еще один работник обратился за медицинской помощью самостоятельно – он отравился продуктами горения. Также при пожаре погибло 250 голов свиней и 10 телят.

19 апреля 2024 года в Бирском районе Башкирии на ферме произошел крупный пожар, площадь возгорания достигла 1200 квадратных метров. Огонь полностью охватил здание фермы, а также гараж, баню и сарай, которые находились под одной крышей. В результате пожара пострадал один человек, погибло 80 овец, восемь телят и 50 кур. 20 овец удалось спасти.

3 ноября 2024 года в деревне Слегино Даниловского района Ярославской области произошел пожар, в результате которого была уничтожена животноводческая ферма площадью 1400 квадратных метров, и погибло 104 коровы.

Пожарная безопасность в сельскохозяйственном производстве – актуальная социальная проблема, для решения которой авторы провели обработку и анализ статистических данных о пожарах в сельской местности и АПК с применением методов сплошного и выборочного исследования [4, 5].

Результаты и обсуждение. В сельской местности проживает чуть больше четверти населения нашей страны, на нее в 2024 году пришлось около половины всех погибших на пожарах в России (45,9 %) и 33,4 % материального ущерба. По статистическим данным МЧС России обстановка с пожарами и их последствиями в сельской местности в 2024 году по сравнению с 2023 годом сложилась следующим образом (рисунок 1): зарегистрировано 159 597 пожаров (45,9 %), на которых погибло 3 780 человек (50 %), в том числе 230 несовершеннолетних (60,8 %), получили травмы 2 864 человека (34,2 %).

Структура причин пожаров в сельской местности по ежегодной статистике МЧС России традиционно включает:

- 1) неосторожное обращение с огнём – 97 396 пожаров (порядка 61 %),
- 2) нарушения эксплуатации электрооборудования – 30 778 (19,3 %),

- 3) неисправности и неправильную эксплуатацию печей – 13 039 (8,2 %),
 4) умышленные поджоги – 4 486 (~2,8 %),
 5) неисправности сельхозтехники и транспортных средств – 4 015 (~2,5 %),
 6) прочие причины (нарушение условий хранения сельскохозяйственной продукции, взрывы и самовозгорания, попадание молний и др.) – 9 883 (~6,2 %).

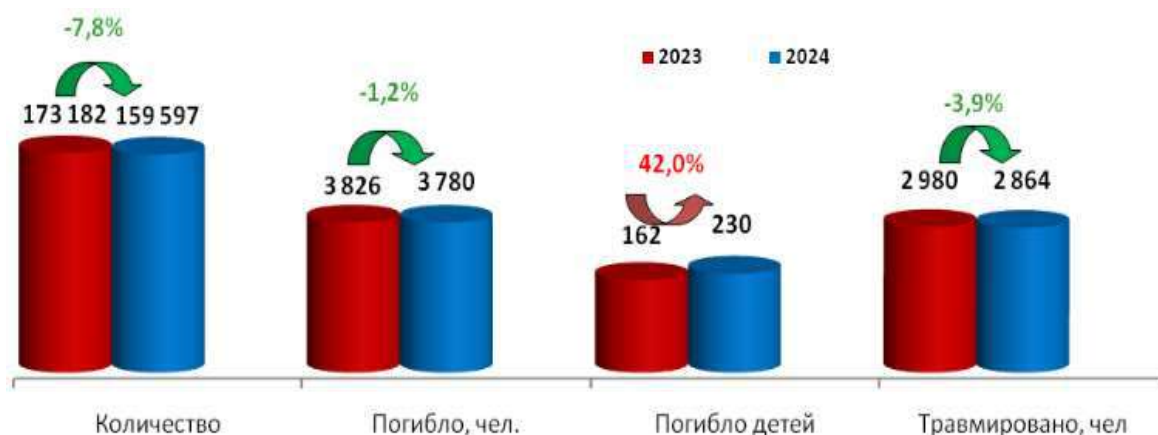


Рисунок 1 – Основные показатели обстановки в сельской местности в РФ
 Figure 1 – Key indicators of the situation in the Russian Federation rural areas

Для агропроизводственных площадок характерны большие площади помещений, значительная плотность пожарной нагрузки (корма, подстилка, деревянные элементы), разветвлённые кабельные сети, а также наличие пыли и агрессивных сред [1, 6-7]. Ветер и перепады температур усиливают конвективный перенос продуктов горения [8, 9], а недостаточная плотность дорог с твёрдым покрытием затрудняет подвоз воды. Даже при наличии систем автоматизации, их отказ или неправильная эксплуатация могут стать инициаторами аварийной ситуации. Существенная проблема – обеспечение нормативного противопожарного водоснабжения. По данным практики, до половины сельских пожаров тушат с подвозом воды, что повышает чувствительность результата к логистике и состоянию дорог, особенно в распутицу и в период паводков [10].

В сельском хозяйстве помимо человеческого фактора, существенную роль играет состояние инженерных сетей. Для сельских электросетей характерны перегрузки, износ изоляции, отсутствие селективной защиты и дефицит квалифицированного обслуживания, что приводит к росту числа коротких замыканий и нагреву контактных соединений [11]. Исследования показали, что ежегодно выходит из строя до 18 % электропроводок на объектах АПК, а удалённость от пожарных подразделений увеличивает расчётное время прибытия на место происшествия и усложняет ограничение распространения огня [12].

АПК расположены, как правило, на большой удалённости от пожарных частей ФПС МЧС России и муниципальных (частных) пожарных команд [13, 14], при этом штатная численности этих пожарно-спасательных подразделений не отвечает требованиям приказа МЧС России № 452 от 29.10.2017 года, что накладывает существенные особенности на расчётное время прибытия пожарной команды к объектам сельскохозяйственного назначения и на оперативное реагирование на пожар (рисунок 2).

Одной из главных, труднорешаемых проблем пожарной безопасности АПК является эвакуация животных и птиц при возникновении пожара. Животные инстинктивно испытывают страх перед задымлением и огнем, их панику предотвратить невозможно, они сопротивляются спасению и проявляют агрессию по отношению к своему хозяину и спасителю. Действующие своды правил по пожарной безопасности регламентируют архитектурно-планировочные решения и инженерные системы, однако вопросы эвакуации животных формализованы неполно и слабо учитывают их поведенческие особенности [15]. Животные при задымлении и воздействии высокой температуры проявляют стресс и стремятся вернуться в привычные зоны, что приводит к заторам у выходов. Имеющиеся нормы по предельным расстояниям до выходов и ширине проходов, рассчитанные, прежде всего на людей, не всегда коррелируют с реальной кинематикой движения стада [6].



Рисунок 2 – Показатели оперативного реагирования на пожары в сельской местности в РФ
Figure 2 – Indicators of rapid response to fires in the Russian Federation rural areas

Авторы, проведя ретроспективный анализ пожаров и их последствий в АПК и фермерских хозяйствах России, опираясь на законодательство и материалы учебно-методических пособий в области обеспечения пожарной безопасности в животноводческих, птицеводческих и звероводческих зданиях и сооружениях, установили:

В соответствии с «Техническим регламентом о безопасности зданий и сооружений» (ФЗ-384 от 30.12.09 г.) на законодательном декларативном уровне обеспечена безопасность животных в зданиях и сооружениях. Однако, как показывает жизненная практика, ещё отсутствуют законодательно утверждённые методики по определению расчётных величин пожарного риска для животноводческих, птицеводческих и звероводческих зданий и сооружений. В этой связи, несмотря на действующие своды правил: СП 106.13330.2012, СП 2.13130.2020, СП 374.1325800.2018, СП 289.1325800.2017, СП 1.13130.2020 и др., а также на многочисленные РК-АПК и НТП-АПК и сборники типовых проектных решений (Войтюк М. М., Сураева Е. А. Типовые проектные решения для модернизации животноводческих и птицеводческих комплексов и ферм. Москва: Росинформагротех. 2017. 272 с.) вопросы безопасной и быстрой эвакуации животных и птиц в случае пожара окончательно не исследованы и практически не решены.

Решить проблему обеспечения пожарной безопасности для зданий и сооружений животноводческих, птицеводческих и звероводческих комплексов за счёт внедрения огнестойкого строительства, запрета многоэтажного строительства и уменьшения до минимума пожарной нагрузки невозможно, так как гибель животных и птиц во время пожара наступает в первую очередь из-за снижения кислорода (16-17 %) и появления токсичных продуктов горения (CO – 0,5 %, CO_2 – 12 %) в воздухе, а не от огня. Установлено (Русакова И., Шевченко Д. Альтернативные методы управления растительными остатками в растениеводстве вместо сжиганий. СПб.: КСИ-Принт. 2017. 66 с.), что на 1 квадратный метр поверхности солома сгорает за 30-40 секунд, нагревая поверхность до 360 °С.

Для оценки развития опасных факторов пожара (ОФП) в животноводческом здании мы выбрали здание коровника на 200 голов крупнорогатого скота (КРС), размерами в плане 72 × 21 × 4 метра и вычислили значение критической продолжительности пожара $\tau_{\text{кр}}$ (с). Так как ОФП для жизни животных в основном идентичны по количественным показателям ОФП для жизни людей, то расчёт $\tau_{\text{кр}}$ производился по известным методикам (Приказ МЧС России от 14.11.2022 № 1140 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности», Приказ МЧС России от 26.06.2024 № 533 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах»), с использованием общедоступных справочных данных, в том числе (СИТИС-СПН-1. Пожарная нагрузка. Справочник. 2014.), по условию достижения каждым из ОФП предельно допустимых значений в зоне пребывания животных (рабочей зоне), изменяя материал подстилки для животных. Параметры материалов подстилки приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры материалов для расчета критической продолжительности пожара $\tau_{кр}$

Table 1 – Material parameters for calculating critical fire duration $\tau_{кр}$

Материал / stuff	Линейная скорость распространения пламени, м/с / Linear flame propagation velocity, m/s	Массовая скорость выгорания, кг/(м ² · с) / Mass burning rate, kg/(m ² · s)	Дымообразующая способность D, (Нп · м ²)/кг / Smoke generation capacity D, (Нп · м ²)/kg	Низшая теплота сгорания МДж/кг / Lower heat of combustion MJ/kg
Сено / Hay	0,018	0,025	100-200	14,7-17
Солома / Straw	0,018	0,025	100-200	14,7-17
Опилки / Sawdust	0,008	0,017	57-760	8,4-11
Резиновое покрытие / Rubber flooring	0,0184	0,0112	850-1680	14,1-36

Результаты расчётов критической продолжительности пожара $\tau_{кр}$ для разных видов подстилки для животных приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов критической продолжительности пожара $\tau_{кр}$

Table 2 – Results of critical fire duration calculations $\tau_{кр}$

Опасные факторы пожара / Fire hazards	Расчетный параметр $\tau_{кр}$ (с) по видам подстилки / Estimated parameter by type of bedding			
	Сено / Hay	Солома / Straw	Опилки / Sawdust	Резиновое покрытие / Rubber flooring
Повышенная температура / Increased temperature	207	207	459	207
Потеря видимости / Loss of visibility	80	80	98	194
Пониженное содержание O ₂ / Reduced content O ₂	199	199	418	194
Содержание CO / Content CO	-	-	710	-
Содержание CO ₂ / Content CO ₂	-	-	-	-
Содержание HCl / Content HCl	165	165	314	145

Полученные значения показывают, что минимальным ограничивающим фактором чаще выступает потеря видимости (десять секунд – первые минуты), в то время как по температурному критерию предельно допустимые значения достигаются позже. Следовательно, мероприятия по дымоудалению и предотвращению задымления в зоне животных оказывают решающее влияние на исход эвакуации.

Натуральными наблюдениями и исследованиями установлены определённые закономерности в движении животных при входе (загоне) в коровник и выходе (выгоне) из коровника. У животных выработан условный рефлекс действий на определённые сигналы обслуживающего персонала (скотников), и он зависит от условий содержания животных и от времени суток. Так, вход (наполняемость) в коровник вечером животные осуществляют в 1,2-1,5 раза быстрее (при условии их подкормки), чем выход утром из здания коровника.

В настоящее время в практике животноводства для привязного содержания КРС применяют в системе стойлового оборудования групповые привязи ОСК-25, ОСК-25А, ОСК-Ф-27, ОСК-Ф-25, а также привязи системы Оленева и автопривязь Калмыкова, позволяющие отвязывать сразу группу до 50 и более животных. Однако, как показывает практика, один оператор (скотник) не в состоянии в расчётное время провести выгон (эвакуацию) 200 КРС из здания коровника.

Согласно учебному пособию МЧС России (Грушевский Б. В., Яковлев А. И., Кривошеев И. Н., Шурин Е. Т., Климушин Н. Г. Пожарная профилактика в строительстве. 1985. М.: ВИПТШ МВД СССР. 454 с.) время освобождения животного от привязи и открывание ворот (дверей) для эвакуации составляет от 2 до 12 с, при этом скорость движения животных (в свободном пространстве) составляет от 20-40 м/мин, а в ограниченном пространстве, имеющем определённую ширину, будет значительно меньше и регулируется только активностью оператора (скотника).

Расчетное время эвакуации, проводимой одним оператором (скотником) только одного ряда животных (25 голов КРС) без привязи, следует определять по формуле: $\tau_p = l/v$, где l и v – соответственно длина пути эвакуации и скорость движения на участке эвакуации. Результаты расчетов τ_p (мин.) приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчетов времени эвакуации τ_p
Table 3 – Results of evacuation time calculations τ_p

Длина пути эвакуации, м / Length of the escape route, m	Плотность потока животных, м ² /м ² / Плотность потока животных, м ² /м ²	Скорость движения животных, м/мин. / Animal movement speed, m/min	Расчетное время выгона (эвакуации) τ_p , мин. / Estimated time of driving out (evacuation), min
30	1,25	40	0,75

Необходимое время эвакуации, в соответствии с таблицей 2, составляет около 1 минуты: $\tau_{нб} = (0,8 \cdot \tau_{кр})/60 = (0,8 \cdot 80)/60 = 1,07$ мин, это при условии, что все животные освобождены от привязей и одновременно начали выход. Расчет выполнен для минимального критического времени пожара – потери видимости.

При условии выполнения требований СП 106.13330.2012 и СП 1.13130.2020 (табл.15, хотя пользоваться данной таблицей при эвакуации животных некорректно) максимальное расстояние от места привязи животного до выхода из здания не должно превышать 60 метров. Это расстояние 25 голов КРС, согласно расчетам, может преодолеть за 1,5 минуты (таблица 3), т. е. успешная эвакуация животных изначально не обеспечивается (по ОФП – потеря видимости).

Результаты расчетов, проведенные для эвакуации 25 голов КРС, показывают, что времени на выполнение эвакуации (выгона) из животноводческого здания 200 голов КРС практически нет.

Далее в таблице 4 приведены данные расчета необходимого времени эвакуации по повышенной температуре и по пониженному содержанию кислорода, а также расчетного времени эвакуации 25 и 200 голов КРС с учетом времени освобождения животных от привязи по формуле:

$$\tau_p = \frac{l}{v} + \tau_{осв},$$

где $\tau_{осв}$ – время освобождения КРС от групповой или индивидуальной привязи.

Таблица 4 – Результаты расчетов времени эвакуации КРС в зависимости от привязи и пути эвакуации
Table 4 – Results of calculations of cattle evacuation time depending on the location and evacuation route

Длина пути эва- куации, м / Length of the escape route, m	Плотность потока животных, м ² /м ² / Animal flow density, m ² /m ²	Время выгона (эвакуации) 25 голов КРС, мин, при скорости дви- жения животных, м/мин / Time for driving out (evacua- tion) of 25 cattle, min, at an animal movement speed of m/min		Время выгона (эвакуации) 200 голов КРС, мин, при скорости движения живот- ных, м/мин / Time of driving out (evac- uation) 200 heads of cattle, min, at the speed of animal movement, m/min		Необходимое время эвакуации, мин / Required evacuation time, min	
		20	40	20	40	по темпера- туре / by tem- perature	по кисло- роду / by oxygen
		индивидуальная привязь за 12 с / individual tether for 12 seconds					
30	1,25	1,7	0,95	12,20	6,20	2,76	2,65
15		0,95	0,575	6,20	3,20		
групповая привязь за 2 с / group tether for 2 seconds							
30	1,25	1,533	0,783	12,03	6,03	2,76	2,65
15		0,783	0,408	6,03	3,03		

Данные таблицы 4 свидетельствуют, что даже при реализации предложенных выше мероприятий по дымоудалению и предотвращению задымления, безопасная эвакуация животных при заданных условиях не будет обеспечена.

В связи с особенностью поведения животных, как было выше сказано, рассматривать время эвакуации для двух разнонаправленных потоков не представляется возможным. Проанализировав данные таблиц 3 и 4 для выбранного животноводческого здания коровника, можно рекомендовать:

- поднятие зоны задымления на максимальную высоту. Для этого рекомендовать устройство автоматически открывающихся фонарей (форточек), позволяющих осуществлять естественную вентиляцию здания;

- использование групповых автопривязей Калмыкова, сокращающих время освобождения КРС;

- сокращение пути эвакуации, которое может быть достигнуто изменением объёмно-планировочных решений, такими как устройство дополнительных автоматических ворот выходов.

В помещениях содержания животных следует исключить горизонтальные участки кабелей без металлических лотков и обеспечить защиту от механических повреждений. Наличие пыли и аммиачных испарений ускоряет коррозию и старение материалов; очистка электрических шкафов и ревизия вводных устройств должны проводиться по графику. Эффективна практика ведения «журнала дефектов» с фиксацией термограмм и результатов осмотров.

С точки зрения организации территории рекомендуется формировать противопожарные разрывы, очищать прилегающие зоны от сухой растительности, держать подъездные пути свободными для спецтехники. Для удалённых ферм целесообразно устройство пожарных резервуаров сезонного действия с системами подогрева и защитой от заиливания, чтобы минимизировать зависимость от подвоза воды.

Отработка эвакуации животных должна учитывать специфику видов: КРС хуже ориентируется в узких непривычных проходах, свиньи чувствительны к звуковым стимулам, птица сильно реагирует на световые импульсы. Использование направляющих щитов, не скользящих покрытий, а также приглушённого освещения на маршруте уменьшает стресс и ускоряет движение.

Заключение. Система учета пожаров и их последствий, осуществляемая МЧС России, не детализирует пожары и их последствия в сельской местности, а именно в АПК и личных подсобных хозяйствах россиян, и не даёт статистику о погибших животных и птицах. К примеру, только в Ростовской области в настоящее время организовано более 10,5 тысяч сельхозорганизаций и фермерских хозяйств, а также свыше 500 тысяч личных подсобных хозяйств.

На основании проведенных исследований авторами выработан ряд рекомендаций таких как:

- 1) Дымоудаление и вентиляция. Рекомендуется предусматривать автоматическое открывание верхних фонарей/форточек, а также управляемую естественную вентиляцию, что позволяет поднять зону задымления выше дыхательной зоны животных. Дополнительно эффективны локальные отсечные клапаны и разделение объёма здания на отсеки с учётом аэродинамики движения дыма.

- 2) Системы обнаружения. Наилучший эффект обеспечивает многоканальное раннее обнаружение очага: тепловые и дымовые извещатели, адресные термокабели, видеоаналитика с детекцией дыма/пламени и интеграцией с оповещением. Для открытых территорий и сенохранилищ целесообразно использование тепловизионного мониторинга и сервисов, отслеживающих термические аномалии.

- 3) Электробезопасность. Повышение селективности защит, применение УЗО в сочетании с защитным занулением, контроль сопротивления изоляции и качества контактных соединений, ревизия временных подключений и переносных удлинителей, а также регламентные испытания электрооборудования снижают риск возгораний электротехнической природы.

- 4) Планировочные решения. Для сокращения времени пути целесообразно предусматривать дополнительные автоматические ворота-выходы, увеличивать ширину основных проходов, организовывать буферные безопасные зоны, в которые стадо может быть оперативно выведено без выхода наружу при неблагоприятной метеобстановке.

- 5) Организация персонала. Эффективность эвакуации зависит от численности и подготовки операторов. Рекомендуется тренировать персонал на макетах маршрутов, отрабатывать сигнальные команды, формировать устойчивые поведенческие шаблоны у животных. Для привязного содержания приоритет – использование групповых автопривязей, позволяющих одномоментно отпускать животных.

6) Локальные силы реагирования. С учётом удалённости от подразделений ГПС необходимо развёртывание добровольных пожарных команд, оснащённых сертифицированными первичными средствами тушения, средствами защиты органов дыхания и связи. Необходимо предусмотреть резервные источники воды и точки забора с круглогодичным доступом.

Планы эвакуации животных и птиц должны быть составлены не только с учетом архитектурно-планировочной структуры АПК, но и с обязательным учётом особенностей поведения при пожаре определенных видов животных и птиц, а также с учётом системы их содержания. При расчете времени эвакуации КРС, для начальных участков эвакуации учитывать время освобождения животных от привязи.

Реализация предложенных мер требует актуализации локальных инструкций по пожарной безопасности, разработки планов эвакуации с учётом поведенческих особенностей животных, подготовки персонала и обеспечения объектов современными средствами защиты и связи. Систематический аудит электросетевого хозяйства и водоснабжения, внедрение интеллектуальных систем мониторинга, а также развёртывание добровольных пожарных подразделений на местах являются критически важными элементами этой стратегии. Интеграция перечисленных решений позволяет существенно повысить сохранность поголовья, уменьшить материальные потери и повысить устойчивость сельскохозяйственного производства.

Conclusions. The system for recording fires and their consequences, implemented by the Russian Ministry of Emergency Situations, does not provide detailed information on fires and their consequences in rural areas, namely in the agro-industrial complex and private subsidiary farms of Russians, and does not provide statistics on dead animals and birds. For example, in the Rostov region alone, there are currently more than 10,500 agricultural organisations and farms, as well as over 500,000 private subsidiary farms.

Based on the research conducted, the authors have developed a number of recommendations, such as:

1) Smoke removal and ventilation. It is recommended to provide for automatic opening of upper skylights/vents, as well as controlled natural ventilation, which allows the smoke zone to be raised above the breathing zone of animals. Local shut-off valves and division of the building volume into compartments, taking into account the aerodynamics of smoke movement, are also effective.

2) Detection systems. The best effect is achieved by multi-channel early detection of the source: heat and smoke detectors, addressable thermal cables, video analytics with smoke/flame detection and integration with alarms. For open areas and hay storage facilities, it is advisable to use thermal imaging monitoring and services that track thermal anomalies.

3) Electrical safety. Improving the selectivity of protective devices, using RCDs in combination with protective earthing, checking insulation resistance and the quality of contact connections, inspecting temporary connections and portable extension cords, and conducting routine tests of electrical equipment reduce the risk of electrical fires.

4) Layout solutions. To reduce travel time, it is advisable to provide additional automatic gates/exits, increase the width of main passageways, and organise buffer safety zones where the herd can be quickly moved without going outside in adverse weather conditions.

5) Staff organisation. The effectiveness of evacuation depends on the number and training of operators. It is recommended to train staff on route models, practise signal commands, and form stable behavioural patterns in animals. For tethered housing, the priority is to use group tethering systems that allow animals to be released simultaneously.

6) Local response forces. Given the distance from the State Fire Service units, it is necessary to deploy volunteer fire brigades equipped with certified primary firefighting equipment, respiratory protection and communication devices. It is necessary to provide for reserve water sources and intake points with year-round access.

Evacuation plans for animals and birds must be drawn up not only taking into account the architectural and planning structure of the agro-industrial complex, but also taking into account the specific behaviour of certain species of animals and birds in the event of a fire, as well as their housing system. When calculating the evacuation time for cattle, the time required to untie the animals must be taken into account for the initial stages of evacuation.

The implementation of the proposed measures requires updating local fire safety instructions, developing evacuation plans that take into account the behavioural characteristics of animals, training staff, and equipping facilities with modern protection and communication equipment. Systematic auditing of the power grid and water supply, the introduction of intelligent monitoring systems, and the deployment of volunteer fire brigades in the field are critical elements of this strategy. The integration of these solutions will significantly improve livestock safety, reduce material losses and increase the sustainability of agricultural production.

Библиографический список

1. Семиков В. Л. Проблемы противопожарной защиты сельскохозяйственной сферы России. Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2020. № 2. С. 72-75.
2. Oliveras Menor I., Prat-Guitar N., Spadoni G. L. et al. Integrated fire management as an adaptation and mitigation strategy to altered fire regimes. 2025. *Common Earth Environment*. 2025. V. 6. Art. 202.
3. Шеншин В. М. О дополнительном профессиональном образовании в качестве обязательного условия допуска к работе как новом виде обучения мерам пожарной безопасности. Право в Вооруженных Силах – Военно-правовое обозрение. 2022. № 2 (295). С. 120-128.
4. Zhang X., Han Q., Zhang B. Sampled-data control systems with non-uniform sampling: a survey of methods and trends. *Annual Reviews in Control*. 2023. V. 55. Pp. 70-91.
5. Bueno C. R., Sordan J. E., Oprime P. C. Statistical monitoring applied to data science in classification: continuous validation in predictive models. *Benchmarking: International Journal*. 2024. V. 32. I. 10. Pp. 3661-3688.
6. Савельев А. П., Шкрабак В. С., Глотов С. В. Оценка пожарной опасности животноводческих комплексов по содержанию крупного рогатого скота на основе расчетов пожарного риска. *Аграрный научный журнал*. 2021. № 6. С. 86-95.
7. Савельев А. П., Шкрабак В. С., Еналеева С. А. Особенности расчета индивидуального пожарного риска на объектах АПК. *Аграрный научный журнал*. 2021. № 8. С. 110-114.
8. Srivastava A., Kanpur S., Singh A. V. Heat transfer in wind-driven fires stabilized under a mixed-convective turbulent flow environment. *Fire Safety Journal*. 2024. V. 142. Art. 104040.
9. Zhao W., Li J., Hu W. Effect of variable-speed wind on the transition from smouldering to flaming combustion. *Fuel*. 2025. V. 400. Art. 135784.
10. Дупляков Г. С., Малютин О. С., Лаптев Д. А. Критерии рациональной организации перекачки, подвоза воды для нужд пожаротушения. Научно-аналитический журнал "Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России". 2020. № 1. С. 83-93.
11. Никольский О. К., Фараносов В. В., Суринский Д. О., Усков Е. В. Имитационное моделирование и методы определения уровня пожарной безопасности электроустановок на объектах АПК. *АгроЭкоИнфо*. 2024. № 1 (61).
12. Семиков В. Л. Проблемы противопожарной защиты сельскохозяйственной сферы России. Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2020. № 2. С. 72-75.
13. Дали Ф. А. Совершенствование механизмов управления пожароопасными событиями в социально-экономической системе объектов и населённых пунктов. *Инженерный вестник Дона*. 2021. № 7 (79). С. 522-534.
14. Перегудова Н. В., Фирсов А. Г., Малемина Е. Н. Различные аспекты оперативной деятельности добровольной пожарной охраны Российской Федерации. *Технологии гражданской безопасности*. 2024. Т. 21. № S2. С. 46-54.
15. Загуменнова М. В., Фирсов А. Г., Чечетина Т. А. Анализ гибели сельскохозяйственных животных от пожаров в России за 2016-2020 год. *Экономика сельского хозяйства России*. 2021. № 4. С. 27-32.

References

1. Semikov V. Problems of fire protection in the agricultural sector of Russia. *Fires and Emergencies: Prevention, Elimination*. 2020. No 2. Pp. 72-75.
2. Oliveras Menor I., Prat-Guitar N., Spadoni G. L. et al. Integrated fire management as an adaptation and mitigation strategy to altered fire regimes. 2025. *Common Earth Environment*. 2025. V. 6. Art. 202.
3. Shenshin V. M. On additional professional education as a mandatory condition for admission to work as a new type of training in fire safety measures. *Law in the armed forces – military-legal review*. 2022. No 2 (295). Pp. 120-128.
4. Zhang X., Han Q., Zhang B. Sampled-data control systems with non-uniform sampling: a survey of methods and trends. *Annual Reviews in Control*. 2023. V. 55. Pp. 70-91.
5. Bueno C. R., Sordan J. E., Oprime P. C. Statistical monitoring applied to data science in classification: continuous validation in predictive models. *Benchmarking: International Journal*. 2024. V. 32. I. 10. Pp. 3661-3688.
6. Savelyev A. P., Shkrabak V. S., Glotov S. V. Assessment of fire hazard of livestock complexes on the content of cattle on the basis of fire risk calculations. *The Agrarian Scientific Journal*. 2021. No 6. Pp. 86-95.
7. Savelyev A. P., Shkrabak V. S., Enaleeva S. A. Features of the calculation of individual fire risk at agricultural facilities. *The Agrarian Scientific Journal*. 2021. No 8. Pp. 110-114.
8. Srivastava A., Kanpur S., Singh A. V. Heat transfer in wind-driven fires stabilized under a mixed-convective turbulent flow environment. *Fire Safety Journal*. 2024. V. 142. Art. 104040.
9. Zhao W., Li J., Hu W. Effect of variable-speed wind on the transition from smouldering to flaming combustion. *Fuel*. 2025. V. 400. Art. 135784.
10. Duplyakov G. S., Malutin O. S., Laptev D. A. Aspects of rational organization of pumping, water supply for firefighting. *Proceedings of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia*. 2020. No 1. Pp. 83-93.
11. Nikolsky O. K., Faranosov V. V., Surinsky D. O., Uskov E. V. Simulation modeling and methods for determining the level of fire safety of electrical installations at agricultural facilities. *AgroEcoInfo*. 2024. No 1 (61).
12. Semikov V. Problems of fire protection in the agricultural sector of Russia. *Fires and Emergencies: Prevention, Elimination*. 2020. No 2. Pp. 72-75.
13. Dali F. A. Improvement of mechanisms for managing fire hazardous events in the socio-economic system of facilities and localities. *Engineering proceedings of Don*. 2021. No 7 (79). Pp. 522-534.
14. Peregudova N. V., Firsov A. G., Malemina E. N. Various aspects of the Russian Federation voluntary fire guard operational activities. *Civil Security Technology*. 2024. V. 21. No S2. Pp. 46-54.
15. Zagumennova M. V., Firsov A. G., Chechetina T. A. Analysis of farm animals' death from fires in Russia for 2016-2020. *Economics of Agriculture of Russia*. 2021. No 4. Pp. 27-32.

Информация об авторах

Лепихова Виктория Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры, Южно-Российский государственный политехнический университет (Новочеркасский Политехнический Институт) имени М. И. Платова (Российская Федерация, 346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132), e-mail: odejnaya@rambler.ru

Ляшенко Надежда Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры, Южно-Российский государственный политехнический университет (Новочеркасский Политехнический Институт) имени М. И. Платова (Российская Федерация, 346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132), e-mail: lyashenko-nadegda@mail.ru

Authors' Information

Lepikhova Victoria Anatolyevna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI) (Russian Federation, 346428, Rostov region, Novocherkassk, Prosveschenia Str., 132), e-mail: odejnaya@rambler.ru

Lyashenko Nadezhda Vladimirovna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI) (Russian Federation, 346428, Rostov region, Novocherkassk, Prosveschenia Str., 132), e-mail: lyashenko-nadegda@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-67

COMPARATIVE ANALYSIS OF NEURAL NETWORK MODELS FOR ESTIMATING THE RESIDUAL LIFE OF ROLLING BEARINGS BASED ON VIBRATION SPECTROGRAMS OF FAST FOURIER TRANSFORMATION

¹Danilov S. I., ¹Allenov D. G., ²Uspensky I. A., ²Yukhin I. A., ²Byshov D. N

¹*Peoples' Friendship University of Russia Named after Patrice Lumumba
Moscow, Russian Federation*

²*Ryazan State Agrotechnological University Named after P. A. Kostychev
Ryazan, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: ivan.uspenskiy@yandex.ru

Received 02.02.2026

Submitted 24.03.2026

Abstract

Introduction. The relevance of this study stems from the need to improve the accuracy and reliability of rolling bearing diagnostic methods in various mechanisms. Modern industrial systems require effective approaches to assessing the remaining life of machine components to prevent accidents and reduce maintenance costs. In this context, the use of neural network models based on the analysis of vibration spectrograms obtained using a fast Fourier transform represents a promising approach. The object of this study is a radial rolling bearing used in agricultural machinery transmission units, specifically power take-off shafts. **Object.** The object of the study is a radial rolling bearing used in transmission units of agricultural machinery, in particular a power take-off shaft. **Materials and methods.** The experiment was conducted on a rig with a type 210 (6210) radial bearing, used in agricultural machinery transmission units. Vibration data was recorded under a constant radial load of 6 kN and a rotation speed of 2000 rpm. The raw signals were filtered (10-5000 Hz), normalized, and segmented, followed by a Fourier transform to produce two-dimensional spectrograms measuring 512 × 512 pixels. Three neural network architectures, implemented in the Python environment using the PyTorch, Scikit-Learn, and Pandas libraries, were trained using the Adam optimizer (lr=0.001) and an 80/20 split. **Results and conclusion.** The study found that convolutional neural networks achieve the best performance in the Precision and Recall metrics when classifying bearing wear stages. The LSTM model demonstrated superior performance in the ROC AUC metric, demonstrating its potential in regression-based formulations of the residual life estimation problem. Confusion matrix analysis revealed a greater spread of predictions for the LSTM model compared to the CNN model. Thus, convolutional neural networks more effectively identify characteristic spectral features of degradation and can be recommended for bearing condition monitoring tasks. The study's results confirmed the feasibility of using convolutional neural networks for wear stage assessment and residual life prediction of rolling bearings.

Keywords: rolling bearings, Fast Fourier Transform, convolutional neural network, recurrent neural network, LSTM, reliability of agricultural machinery.

Citation. Danilov S. I., Allenov D. G., Uspensky I. A., Yukhin I. A., Byshov D. N. Comparative analysis of neural network models for estimating the residual life of rolling bearings based on vibration spectrograms of fast Fourier transformation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 609-617 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-67.

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 621.822:004.89:004.93

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВИБРАЦИОННЫХ СПЕКТРОГРАММ БЫСТРОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ФУРЬЕ¹Данилов С. И., аспирант¹Алленов Д. Г., кандидат технических наук, доцент²Успенский И. А., доктор технических наук, профессор²Юхин И. А., доктор технических наук, профессор²Бышов Д. Н., доктор технических наук, доцент¹Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы
г. Москва, Российская Федерация²Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева
г. Рязань, Российская Федерация

Актуальность. Актуальность исследования связана с необходимостью повышения точности и надежности методов диагностики состояния подшипников качения в различных механизмах. Современные промышленные системы требуют эффективных подходов к оценке остаточного ресурса элементов машин для предотвращения аварий и снижения затрат на техническое обслуживание. В этом контексте использование нейросетевых моделей, основанных на анализе вибрационных спектрограмм, полученных с помощью быстрого преобразования Фурье, представляет собой перспективное направление. **Объект.** Объектом исследования является радиальный подшипник качения, применяемый в узлах трансмиссий сельскохозяйственной техники, в частности, вала отбора мощности. **Материалы и методы.** Эксперимент проводился на стенде с радиальным подшипником типа 210 (6210), используемым в трансмиссионных узлах сельскохозяйственной техники. Вибрационные данные регистрировались при постоянной радиальной нагрузке 6 кН и скорости вращения 2000 об/мин. Сырые сигналы подвергались фильтрации (10-5000 Гц), нормализации и сегментации с последующим преобразованием Фурье для получения двумерных спектрограмм размером 512×512 пикселей. На основе подготовленного набора данных (3025 изображений) обучались три нейросетевые архитектуры, реализованные в среде Python с использованием библиотек PyTorch, Scikit-Learn и Pandas. Для обучения использовался оптимизатор Adam ($\text{lr} = 0,001$), разделение выборки – 80/20. **Результаты и выводы.** В результате исследования было установлено, что сверточные нейронные сети достигают наилучших показателей по метрикам Precision и Recall при классификации стадий износа подшипников. Модель LSTM продемонстрировала преимущество по метрике ROC-AUC, что свидетельствует о её потенциале в регрессионных постановках задачи оценки остаточного ресурса. Анализ матрицы ошибок показал больший разброс предсказаний у LSTM по сравнению с CNN. Таким образом, сверточные нейросети более эффективно выявляют характерные спектральные признаки деградации и могут быть рекомендованы для задач мониторинга технического состояния подшипников. Результаты исследования подтвердили целесообразность применения сверточных нейронных сетей для оценки стадии износа и прогнозирования остаточного ресурса подшипников качения.

Ключевые слова: подшипники качения, быстрая трансформация Фурье, сверточные нейронные сети, рекуррентная нейронная сеть, LSTM, надежность сельскохозяйственной техники.

Цитирование. Данилов С. И., Алленов Д. Г., Успенский И. А., Юхин И. А., Бышов Д. Н. Сравнительный анализ нейросетевых моделей для оценки остаточного ресурса подшипников качения на основе вибрационных спектрограмм быстрой трансформации Фурье. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 609-617. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-67.

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 современной промышленности, где надежность оборудования прямо влияет на эффективность, подшипники качения являются одним из самых уязвимых узлов, имеющих вращение, машин. Более того, выход из строя подшипника качения зачастую подразумевает выход из строя сопряженных с ним вращающихся машин. В роторных системах подшипники являются причиной отказов в 30-50 % случаев [1]. Традиционные методы диагностики часто дают запоздалые сигналы, не позволяя прогнозировать деградацию подшипника и заранее произвести его замену.

В эксперименте использовался радиальный подшипник качения, применяемый в узлах трансмиссий сельскохозяйственной техники, в частности вала отбора мощности. Геометрические и эксплуатационные параметры подшипника 210 (6210) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры подшипника 210 (6210)
Table 1 – Bearing parameters 210 (6210)

Параметр / Parameters	Значение / Value	Обозначение / Marking
Масса / Weight	0,448 кг / kg	m
Динамическая грузоподъемность, радиальная / Dynamic load capacity, radial	38000 Н	C_r
Радиальная нагрузка предела усталости / Radial fatigue limit load	1580 Н	C_{ur}
Предельная частота вращения / Maximum rotation speed	9900 1/мин / min	n_g
Внутренний диаметр / Inner diameter	50 мм / mm	d
Наружный диаметр / Outer diameter	90 мм / mm	D
Ширина / Width	20 мм / mm	B

В работе исследовался усталостный износ подшипников качения, характерный для длительной эксплуатации при постоянной радиальной нагрузке. Износ проявлялся в виде развития дефектов дорожек качения внутреннего и внешнего колец, а также тел качения, что отражалось в росте амплитуд характерных дефектных частот.

В последние годы развитие искусственного интеллекта открыло новые возможности для автоматизированной оценки состояния подшипника и даже предсказания его остаточного моторесурса. В основном, при анализе состояния подшипников качения используется метод оценки на основе вибрационных сигналов, которые с помощью быстрой трансформации Фурье, позволяют перевести сигнал из временного домена в частотный. В частотном спектре выявляются характерные частоты дефектов конкретных компонентов подшипника, например, частоты повреждения внешнего или внутреннего кольца, роликов или сепаратора. Все эти частоты могут быть извлечены нейронными сетями, более того, нейронные сети могут обучиться обнаруживать предпосылки к возникновению таких частот, что позволяет определить остаточный моторесурс подшипника.

Задача работы – провести сравнительный анализ различных архитектур нейронных сетей для оценки остаточного моторесурса подшипников качения на основе FFT-спектрограмм вибросигналов. Для реализации этой работы, был создан тестовый макет, представляющий собой вал, на который был установлен подшипник, на корпус подшипника качения был радиально размещен акселерометр. Вибрационные данные замерялись при нагрузке в 6 кН и скорости 2000 об/мин (рисунок 1), сигналы преобразовывались по схеме (рисунок 2):

1. Фильтрация (10-5000 Гц).
2. Нормализация.
3. Сегментация (окна по 2048-8192 с перекрытием 50 %).
4. Быстрая трансформация Фурье с гамма-спектрограммами (для получения 2D изображений 512x512 пикселей).

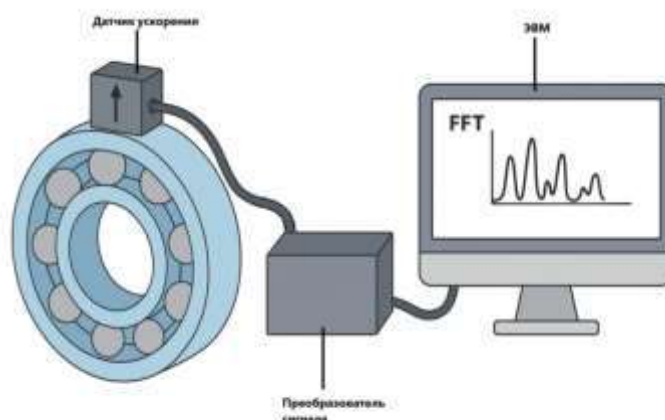


Рисунок 1 – Схема установки системы сбора вибрационных данных
Figure 1 – Installation diagram of the vibration data collection system

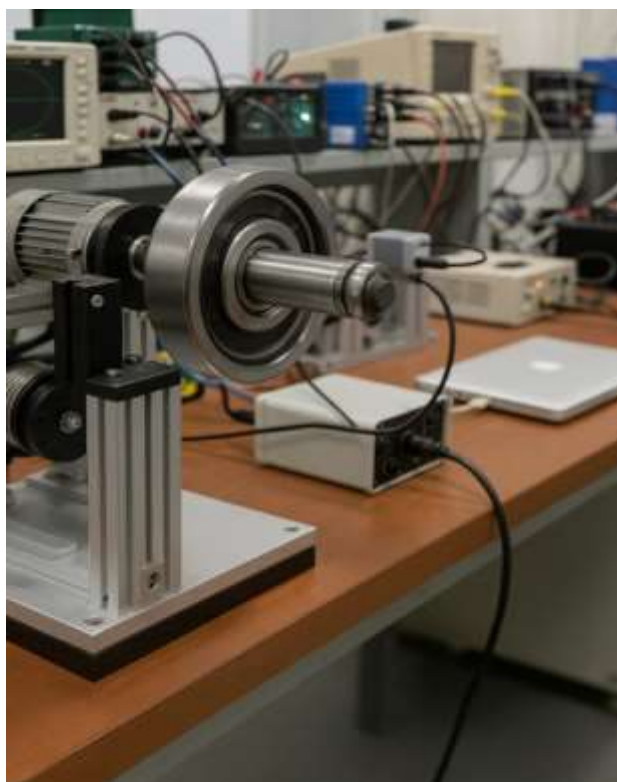


Рисунок 2 – Система для сбора вибрационных данных
Figure 2 – Vibration data collection system

В данной работе нейросетевые модели предсказывают остаточный моторесурс подшипника, выраженный в моточасах и дискретизированный с шагом в 25 моточасов.

Материалы и методы. Данные для обучения нейронных сетей представляют собой спектрограммы, созданные с помощью быстрой трансформации Фурье, которую применили на вибрационные данные дискретизированного временного ряда ускорения.

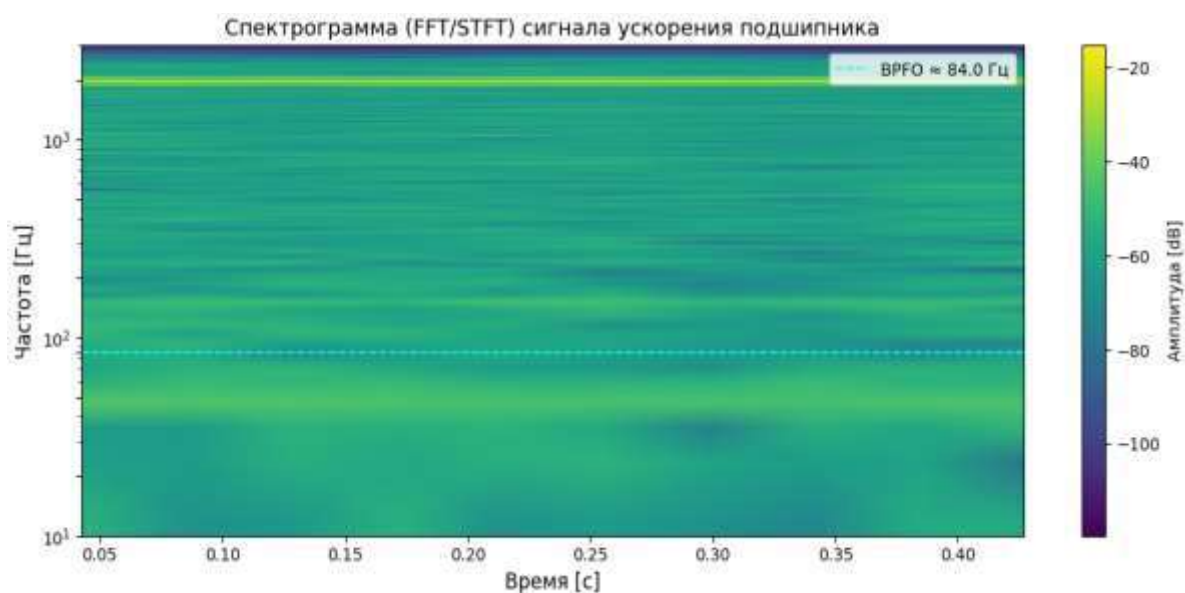


Рисунок 3 – Спектрограмма подшипника качения
Figure 3 – Spectrogram of a rolling bearing

Модели создавались с помощью языка программирования Python и библиотеки PyTorch, данные обрабатывались и готовились с помощью библиотек Scikit-Learn и Pandas.

Использовались следующие модели:

- сверточная нейронная сеть (3 свертки Conv2D + MaxPooling + Dense);
- рекуррентная нейронная сеть (2 слоя по 128 юнитов);
- долгая краткосрочная память (2 слоя по 64 юнита с Dropout=0.2);

Обучение велось во всех случаях с одинаковым набором данных, 80 % данных шли на обучение, 20 % на тесты. Оптимизатор был выбран Adam с $\text{lr}=0,001$.

Для устойчивого обучения сверточной нейронной сети требуется достаточно большой набор изображений, представляющих вибрационные данные в виде спектрограмм. Желательно собирать изображения для каждого уровня износа подшипника, чтобы модель могла учиться распознавать изменения на всем протяжении жизненного цикла. Минимальное требование составляет не менее 25 изображений (или 25 подшипников) для каждого уровня износа, фиксируемого по мото часам. Если шаг измерений принять равным 25 мото часов от 0 до 3000, то получится 120 интервалов, что даёт 3000 изображений. При учёте нулевого уровня износа как отдельной категории объём возрастает до 3025 изображений.

Вибрационные данные собирались в диапазоне наработки от 0 до 3000 мото часов с шагом 25 мото часов при постоянной радиальной нагрузке. Указанный диапазон охватывает полный жизненный цикл подшипника – от исправного состояния до стадии, близкой к отказу.

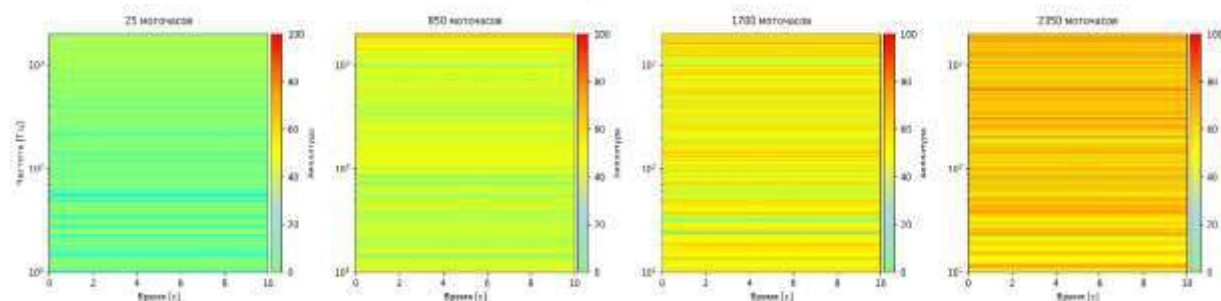


Рисунок 4 – Спектрограммы подшипников с различным износом в мото часах

Figure 4 – Spectrograms of bearings with different wear in engine hours

Критерием отказа подшипника в рамках исследования считалось достижение и устойчивый рост амплитуд теоретически рассчитанных дефектных частот BPFO, BPFI, BSF и FTF [3]. Экспериментально признаки отказа фиксировались после наработки 2300 мото часов, что сопровождалось резким увеличением энергетической насыщенности спектра и нестабильностью вибрационного сигнала.

$$BPFO = RPM \frac{N_B}{2} \left(1 - \frac{B_D}{P_D} \cos(\beta)\right) \quad (1)$$

$$BPFI = RPM \frac{N_B}{2} \left(1 + \frac{B_D}{P_D} \cos(\beta)\right) \quad (2)$$

$$BSF = RPM \frac{P_D}{B_D} \left[1 - \left(\frac{B_D}{P_D} \cos(\beta)\right)^2\right] \quad (3)$$

$$FTF = RPM \frac{1}{2} \left(1 - \frac{B_D}{P_D} \cos(\beta)\right) \quad (4),$$

где BPFO – частота обкатывания тел качения по внешней обойме (дефект внешней обоймы), BPFI – частота обкатывания тел качения по внутренней обойме (дефект внутренней обоймы), BSF – частота вращения тела качения (дефект тел качения), FTF – частота сепаратора (дефект сепаратора, удерживающего тела качения), RPM – частота оборотов вала, N_B – количество тел качения, P_D – диаметр окружности, проходящей через центры всех тел качения, B_D – диаметр тела качения, β – угол между радиальной плоскостью (перпендикулярной оси подшипника) и линией давления (прямая, соединяющая точки контакта тела качения с дорожками внутренней и внешней обойм), $\beta = 0$ для радиальных подшипников.

Согласно международному стандарту ISO 281 можно определить номинальный ресурс подшипника, представляющий собой количество оборотов, которое выдерживают 90 % подшипников до возникновения усталостных повреждений при заданных условиях нагружения и частоте вращения (6 кН и скорости 2000 об/мин).

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad (5),$$

где L_{10h} – номинальный ресурс подшипника, n – частота вращения, C – динамическая грузоподъемность подшипника, P – динамическая нагрузка подшипника, $p = 3$ для шариковых подшипников (коэффициент усталости).

Возникновение вышеупомянутых частот, подразумевает дефект подшипника, в таблице 2 указаны критические значения частот и номинальный ресурс, рассчитанные для подшипника 210 (6210)

Таблица 2 – Критические значения частот элементов и номинальный ресурс подшипника 210 (6210)
Table 2 – Critical values of element frequencies and nominal service life of bearing 210 (6210)

Параметр / Parameter	Значение / Value
L_{10h}	2117 моточасов / operating hours
BPFO	114,6 Гц / Hz
BPFI	185,4 Гц / Hz
BSF	137,5 Гц / Hz
FTF	12,7 Гц / Hz

Прямые измерения радиальных биений подшипника в ходе эксперимента не проводились. Однако развитие биений косвенно отражалось в изменении низкочастотных составляющих спектра на частотах вращения, что коррелировало с ростом дефектных частот.

Результаты и обсуждение. Задача оценки остаточного моторесурса подшипников качения для нейронной сети может быть сформулирована двумя способами – как задача регрессии или как задача классификации. В постановке регрессии нейросетевая модель предсказывает непрерывное значение остаточного моторесурса, что подразумевает появление значений не кратных шагу 25. В постановке классификации используются спектрограммы, соответствующие определенным шагам или классам, однако спектрограммы также могут быть использованы для рекуррентных нейронных сетей (RNN) и для сетей типа «долгая краткосрочная память (LSTM)», если представить их как последовательность векторов частот. В этом случае, каждый столбец спектрограммы соответствует вектору амплитуд на данном временном окне. В таком случае, RNN и LSTM могут учитывать временные зависимости между последовательностями спектральных данных.

В данной работе нейросетевые модели предсказывают остаточный моторесурс подшипника, выраженный в моточасах и дискретизированный с шагом 25 часов.

В постановке классификации (CNN) входными данными являются изображения спектрограмм, что позволяет модели обучиться обнаруживать признаки, соответствующие конкретной стадии износа [2]. Обычно для оценки регрессионных моделей применяются метрики MAE, MSE, RMSE, однако непрерывное значение прогноза остаточного моторесурса может округляться до ближайшего класса. Это позволяет применять классификационные метрики, такие как ROC-AUC, Precision, Recall или матрицу ошибок для оценки точности работы нейросетевых моделей, причем для рекуррентных нейронных сетей в том числе [3].

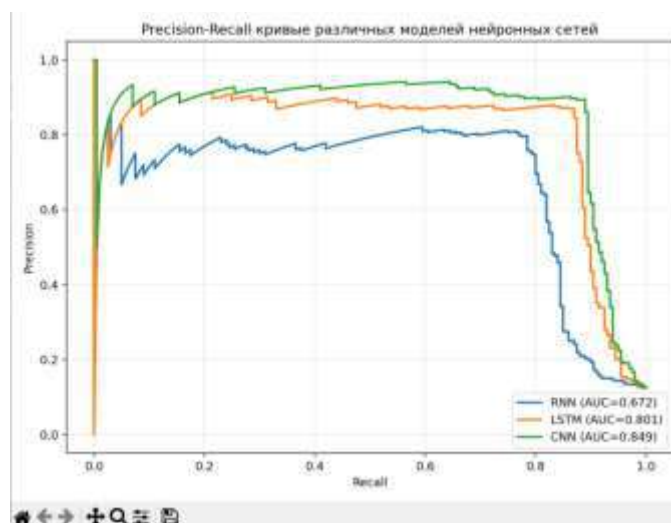


Рисунок 5 – Precision-Recall кривые различных моделей нейронных сетей
Figure 5 – Precision-Recall curves of different neural network models

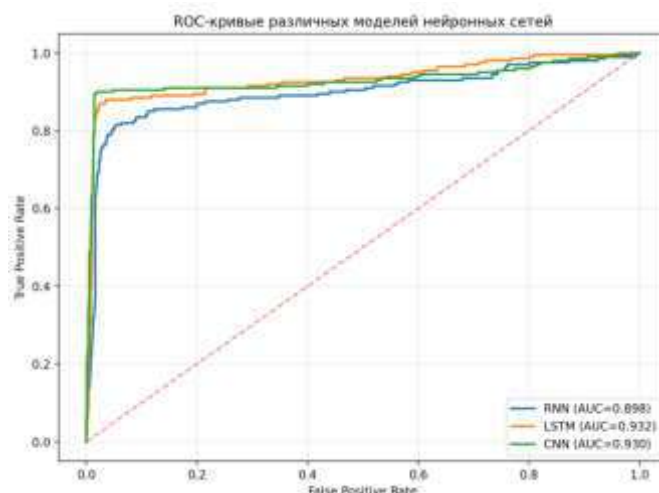


Рисунок 6 – ROC-кривые различных моделей нейронных сетей
Figure 6 – ROC curves of different neural network models

После обучения всех вышеупомянутых типов нейронных сетей и анализа точности работы нейросети по метрикам Precision и Recall (рисунок 5), ROC-AUC (рисунок 6) стало ясно, что нейронная сеть типа «долгая краткосрочная память (LSTM)» показывает наилучший результат по метрике ROC-AUC, а сверточная нейронная сеть (CNN) показывает наилучший результат по метрике Precision и Recall.

По результатам анализа явно видна необходимость использования дополнительных метрик, чтобы лучше проанализировать точность различных нейросетевых моделей. Для этого была использована матрица ошибок (рисунок 7) для каждого типа нейронных сетей. Несмотря на то, что LSTM показывает хорошие результаты в метриках точности, то на матрице ошибок видно, что разброс ошибок в LSTM более высокий, чем в CNN.



Рисунок – 7 – Матрицы ошибок различных типов нейросетевых моделей
Figure 7– Error matrices of different types of neural network models

Закключение. В результате исследования было установлено, что сверточная нейронная сеть (CNN) демонстрирует наилучшие результаты по метрикам Precision и Recall, эффективно выявляя стадии износа подшипников. Модель LSTM показывает лучший результат по ROC-AUC, что позволяет точнее прогнозировать остаточный моторесурс в регрессионной постановке, однако сопровождается большим разбросом ошибок. Таким образом, сверточная нейронная сеть является более подходящей для мониторинга состояния подшипника качения.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на увеличение объема обучающих данных, обработку шумов, использование гибридных моделей CNN-LSTM и адаптацию моделей к различным промышленным условиям.

Conclusion. The study found that a convolutional neural network (CNN) demonstrates the best results for the Precision and Recall metrics, effectively identifying bearing wear stages. The LSTM model demonstrates the best ROC-AUC results, allowing for more accurate prediction of the remaining service life in the regression model, but is accompanied by a larger error range.

Therefore, a convolutional neural network is more suitable for rolling bearing condition monitoring. Further research could focus on increasing the volume of training data, noise processing, using hybrid CNN-LSTM models, and adapting the models to various industrial conditions.

Библиографический список

1. Лазарев Г. Б., Гаврилов В. Л. Эрозионные повреждения подшипников как фактор, ограничивающий ресурс энергетического оборудования Электрические станции. 2017. № 5. С. 40-46. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30646820>
2. Буйсонов А. П., Васильев В. А., Баитов А. С., Иванов А. И. Стендовая отработка алгоритмов диагностирования подшипников качения бортовой системы диагностики и прогноза остаточного ресурса основных и вспомогательных узлов МПВС. Вестник Уральского Государственного Университета Путей Сообщения. 2021. <https://elibrary.ru/item.asp?id=46662731>
3. Винокур А. И., Куликов Г. Б., Суслов М. В. Диагностика подшипников качения с использованием искусственных нейронных сетей. Проблемы Машиностроения. 2021. <https://elibrary.ru/item.asp?id=45767322>
4. Погоньшев В. А., Погоньшева Д. А., Ториков В. Е. Нейронные сети в цифровом сельском хозяйстве. Вестник Брянской ГСХА. 2021. <https://elibrary.ru/item.asp?id=46696486>
5. Ding G. Prediction of remaining useful life of rolling bearing based on fractal dimension and one-dimensional convolutional neural network. Measurement and Control. 2022. Vol. 55 (1-2). Pp. 22-35. <https://journals.sagepub.com>
6. International Conference on Gears 2022: Plastic gear remaining useful life prediction using artificial neural network; RUL prediction of race bearings using Convolutional Neural Networks with vibration signals. VDI-Berichte. 2022. <https://elibrary.vdi-verlag.de/10.51202/9783181023891.pdf>
7. Успенский И. А. и др. Повышение эффективности работы грузовых автомобилей в АПК цифровизацией их эксплуатации. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 5 (83). С. 464-474.
8. Успенский И. А. и др. Повышение эффективности эксплуатации автомобилей на линии "fueltruck". Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2025. Т. 17. № 3. С. 138-147.
9. 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.
10. 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.

References

1. Lazarev G. B., Gavrilov V. L. Erosive damage of bearings as a factor limiting the service life of power engineering equipment. Electric Power Stations. 2017. No. 5. Pp. 40-46. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30646820>
2. Buisonov A. P., Vasiliev V. A., Baitov A. S., Ivanov A. I. Bench testing of algorithms for diagnosing rolling bearings of an onboard system for diagnostics and residual life prediction of main and auxiliary units of multiple-unit rolling stock. Bulletin of the Ural State University of Railway Transport. 2021. <https://elibrary.ru/item.asp?id=46662731>
3. Vinokur A. I., Kulikov G. B., Suslov M. V. Diagnostics of rolling bearings using artificial neural networks. Problems of Mechanical Engineering. 2021. <https://elibrary.ru/item.asp?id=45767322>
4. Pogonyshchev V. A., Pogonyshcheva D. A., Torikov V. E. Neural networks in digital agriculture. Bulletin of the Bryansk State Agrarian University. 2021. <https://elibrary.ru/item.asp?id=46696486>
5. Ding G. Prediction of remaining useful life of rolling bearing based on fractal dimension and one-dimensional convolutional neural network. Measurement and Control. 2022. Vol. 55 (1-2). Pp. 22-35. <https://journals.sagepub.com>
6. International Conference on Gears 2022. Plastic gear remaining useful life prediction using artificial neural networks; RUL prediction of race bearings using convolutional neural networks with vibration signals. VDI Reports. 2022. <https://elibrary.vdi-verlag.de/10.51202/9783181023891.pdf>
7. Uspensky I. A. et al. Improving the efficiency of trucks in the agro-industrial complex through digitalization of their operation. Bulletin of the Nizhnevolzhsk Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No 5 (83). Pp. 464-474.
8. Uspensky I. A. et al. Improving the efficiency of vehicle operation on the "fuel truck" line. Bulletin of the Ryzan State Agro technological University named after P. A. Kostychev. 2025. Vol. 17, No. 3. Pp. 138-147.
9. Yuxhin I. A et al. Analysis and forecasting of dealer service station needs for spare parts. News of the Nizhnevolzhsk Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No 2 (80). Pp. 411-421.
10. Uspensky I. A. et al. Accounting of spare parts in the warehouse of a dealer service station. News of the Nizhnevolzhsk Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No 2 (80). Pp. 390-402.

Информация об авторах

Данилов Сергей Игоревич, аспирант, Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, e-mail: antyanod@yandex.ru

Алленов Дмитрий Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, e-mail: allenov-dg@rudn.ru

Успенский Иван Алексеевич, доктор технических наук, заведующий кафедрой технической эксплуатации транспорта, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева, (390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: ivan.uspensckij@yandex.ru

Юхин Иван Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автотракторная техника и теплоэнергетика», 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 эксплуатации машинно-тракторного парка Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева, г. Рязань, (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: university@rgatu.ru

Authors' Information

Danilov Sergey Igorevich, Postgraduate Student, Peoples' Friendship University of Russia, e-mail: antyanod@yandex.ru

Allenov Dmitry Gennadievich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Peoples' Friendship University of Russia, e-mail: allenov-dg@rudn.ru

Uspensky Ivan Alekseevich, Doctor of Engineering Sciences, Head of the Department, Ryazan State Agro technological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev St., 1), e-mail: ivan.uspensckij@yandex.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, Kostychev St., 1), e-mail: yuival@rambler.ru

Byshov Dmitry Nikolaevich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Ryazan State Agro technological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev St., 1), e-mail: university@rgatu.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-68

THE USAGE OF THE MULTIDIMENSIONAL STATISTICAL METHODS IN THE STUDY OF MILLET VARIETY SAMPLES AS A SOURCE MATERIAL FOR BREEDING IN THE LOWER VOLGA REGION CONDITIONS

^{1,2}Mozlov V. A.

¹Saratov State University of genetics, biotechnology and engineering named after N.I. Vavilov

²Federal Agricultural Research Center of South-East
Saratov, Russian Federation

Corresponding author E-mail: Mozlovva@ya.ru

Received 18.01.2026

Submitted 26.03.2026

This research was carried out with the support of the Russian Ministry of Science and Higher Education within the framework of the State Assignment "Development and Improvement of a System of Species and Varieties (Hybrids) of Agricultural Crops, Adaptive to Abiotic Stress and Resistant to Major Pathogens, Combining High Potential Productivity with Harvest Quality, Aimed at Reducing Economic Risks in Crop Production and Increasing Biodiversity in the Region" (Project No. FSNM-2022-0003).

Abstract

Introduction. The study of millet accessions from the VIR collection to identify sources of economically valuable traits is a relevant area of breeding aimed at developing high-yielding varieties. **Object.** The research object comprised 12 millet accessions from the VIR collection (Saratovskoye Zheltoye, Zolotistoye, Sarbin, Saratovskoye 853, Saratovskoye 10, Saratovskoye 15, K-2732, 7483, 7566, 7683, 10165, 10487). **Materials and Methods.** The degree of variation in vegetative and generative parameters was determined. Clustering was performed using minimum Euclidean distances, while relationships among traits were established through correlation and factor analysis. **Results and Conclusions.** The highest variability ($V > 20.0\%$) was observed for panicle weight, grain weight per panicle, grain content, yield, 1000-grain weight, hull content, yellowness, and vitreousness. Accessions with high 1000-grain weight (Saratovskoye 15, Sarbin, Zolotistoye, Saratovskoye 10, Saratovskoye Zheltoye, K-2732) and high grain content (Saratovskoye Zheltoye, Saratovskoye 10, Saratovskoye 853, Zolotistoye, Sarbin) were identified. Clustering grouped the accessions into five clusters that differed significantly at the 5 % level. Factor analysis revealed significant variable loadings on components, which helps optimize the selection of promising material for breeding.

Keywords: millet, millet varieties, millet breeding, new varieties of millet, high-yielding varieties of millet.

Citation. Mozlov V. A. The usage of the multidimensional statistical methods in the study of millet variety samples as a source material for breeding in the Lower Volga region conditions. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 617-624 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-68.

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 633.171:631.527

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МНОГОМЕРНОЙ СТАТИСТИКИ В ИЗУЧЕНИИ СОРТООБРАЗЦОВ ПРОСА КАК ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ В НИЖНЕМ ПОВОЛЖЬЕ

^{1,2}Мозлов В. А., аспирант, младший научный сотрудник

¹Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова

²ФГБНУ Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока
г. Саратов, Российская Федерация

Исследования выполнены при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания Создание и совершенствование системы видов и сортов (гибридов) с.-х. культур, адаптивных к абиострессорам и устойчивых к основным патогенам, сочетающих высокую потенциальную продуктивность с качеством урожая с целью снижения экономических рисков в растениеводстве и повышения биоразнообразия в регионе. (тема № FSNM-2022-0003).

Актуальность. Изучение коллекционных образцов проса посевного для выделения источников хозяйственно-ценных признаков является актуальным направлением селекции, направленным на создание высокопродуктивных сортов. **Объект.** Объектом исследований служили 12 сортобразцов проса посевного коллекции ВИР (Саратовское желтое, Золотистое, Сарбин, Саратовское 853, Саратовское 10, Саратовское 15, К-2732, 7483, 7566, 7683, 10165, 10487). **Материалы и методы.** В ходе исследований определяли степень варьирования вегетативных и генеративных параметров. Кластеризацию проводили

по минимуму евклидовых расстояний, взаимосвязи признаков устанавливали методами корреляционного и факторного анализов. **Результаты и выводы.** Наибольшая изменчивость ($V > 20,0 \%$) установлена по весу метелки, весу зерна с одной метелки, озерненности, урожайности, массе 1000 пленок, пленчатости, желтизне и стекловидности. Выявлены сортообразцы с высокой массой 1000 семян (Саратовское 15, Сарбин, Золотистое, Саратовское 10, Саратовское желтое, К-2732) и высокой озерненностью (Саратовское желтое, Саратовское 10, Саратовское 853, Золотистое, Сарбин). Кластеризация позволила сгруппировать образцы на пять кластеров, значимо различающихся на 5 %-ном уровне. С использованием факторного анализа выявлены значимые веса переменных на компоненты, что позволяет оптимизировать отбор перспективного материала для селекции.

Ключевые слова: просо посевное, сортообразцы проса, селекция проса, новые сорта проса посевного, высокопродуктивные сорта проса посевного.

Цитирование. Мозлов В. А. Использование методов многомерной статистики в изучении сортообразцов проса как исходного материала для селекции в Нижнем Поволжье. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 617-624. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-68.

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. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В целях повышения продовольственной безопасности Российской Федерации требуется введение в эксплуатацию новых сортов проса посевного, что сопряжено с определёнными трудностями, следствием которых является ограниченный сортимент, адаптированный к биотическим и абиотическим факторам. Это ограничивает потенциальный вклад проса в обеспечение продовольственной безопасности и питания, особенно в регионах, подверженных изменению климата [1, 2, 3, 4, 5].

Выращивание проса имеет значительные преимущества для здоровья почвы и севооборота, особенно в сочетании с бобовыми культурами, такими как нут. Эти злаки устойчивы, требуют минимальных ресурсов, но при этом улучшают плодородие и структуру почвы. Их уникальные биологические характеристики положительно влияют на устойчивые методы ведения сельского хозяйства и делают их пригодными для использования в современных технологиях выращивания [6, 7, 8].

Постепенное прекращение снижения посевных площадей под культурой за последнее десятилетие тесно связано с ростом рыночного спроса как на внешнем, так и на внутреннем рынке. В селекционной работе большое внимание уделяется улучшению сортов, их технологических и потребительских качеств, что необходимо для удовлетворения спроса у конечного потребителя [9].

Оценка исходного материала и определение хозяйственно ценных признаков играют решающую роль при выборе новых сортов проса, а формирование комплексной базы данных, отражающей параметры генофонда, может значительно улучшить селекционные программы. Эта база данных может облегчить выявление генетического разнообразия и выбор превосходных признаков у разных видов проса [10].

Успешность отбора родительских форм при гибридизации значительно повышается за счет применения многомерных статистических методов, облегчающих оценку генетического сходства между сортами. Факторный и кластерный анализ являются мощными инструментами для объективной оценки вегетативных и генеративных признаков растений, что критически важно для оптимизации стратегий гибридизации в селекции. Эти методы позволяют выявлять скрытые закономерности и группировать признаки, что упрощает селекционный процесс и повышает его эффективность [11, 12, 13, 14].

Цель исследования – изучение изменчивости признаков, их корреляционной связи и группировка образцов проса посевного с использованием методов многомерной статистики по комплексу хозяйственно-ценных показателей.

Задачи исследований: сравнительная оценка сортообразцов по изучаемым признакам и выделение перспективных генотипов по отдельным параметрам для включения в селекционный процесс.

Методы и материалы. В период с 2023 по 2024 год полевые испытания и исследования сортообразцов проводились на полях ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока». Сортообразцы проса посевного (Саратовское желтое; Золотистое; Сарбин; Саратовское 853; Саратовское 10; Саратовское 15; К-2732; 7483; 7566; 7683; 10165; 10487) коллекции ВИР и коллекции ФГБНУ «ФАНЦ НИИСХ Юго-Востока» высевали на селекционном севообороте ФГБНУ «ФАНЦ НИИСХ Юго-Востока». Учетная площадь 4-рядковой делянки – 2,25 м², длина – 1 м, ширина междурядий – 0,2 м. Нормы посева составляла 100 штук всхожих семян на один погонный метр.

Опытное поле находится в зоне черноземной засушливой степи Юго-Востока европейской территории Российской Федерации. Почвенный покров представлен южным черноземом среднесуглинистого состава, характеризующимся средней плодородностью и наличием солонцовых пятен, сформированных под влиянием местных климатических условий. Содержание гумуса в пахотном слое почвы варьируется в пределах 3,5-4,0 %. Почва отличается хорошей структурой и выраженной зернистостью в верхнем горизонте. Гидротермический коэффициент за период исследований май-август в 2023 году – 0,48; а в 2024 г. – 0,30.

При изучении исследуемого материала оценка признаков проводилась согласно Методическим указаниям изучения мировой коллекции проса (Методические указания. Изучение мировой коллекции проса / Н. П. Агафонов, А. Ф. Курцева; под ред. Г. Е. Шмарова. – Л.: ВИР, 1988. – 30 с.). Данные, полученные в результате оценки признаков, были обработаны с помощью программы статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции «Agros» версии 2.09.

Результаты и их обсуждение. Анализ изменчивости морфофизиологических признаков сортообразцов проса выявил признаки с высокой степенью вариации ($V > 20,0 \%$), такие как вес метелки, вес зерна с одной метелки, озерненность метелки, урожайность, масса 1000 пленок, процент пленок, желтизна и стекловидность. Признаки с умеренной вариацией ($20,0 \% > V > 10,0 \%$) включали длину метелки, массу 1000 зерен и массу 1000 ядер. Период «всходы-цветение», высота растения, натура зерна и процент ядер характеризовались низкой степенью вариации ($V < 10,0 \%$) (таблица 1).

Таблица 1 – Параметры изменчивости хозяйственно-ценных признаков сортообразцов проса, среднее 2023-2024 гг.

Table 1 – Variability parameters of economically valuable traits in millet accessions, average for 2023-2024

Признак / Sign	Lim.		$\bar{X}$	S ²	S	V, %	S $\bar{X}$
	Min	Max					
Высота растения, см / Height of the plant, cm	89,40	105,60	96,30	28,37	5,33	5,53	1,53
Длина метёлки, см / Panicle length, cm	17,60	26,60	20,93	9,06	3,01	14,37	0,86
Вес метёлки, г / Panicle weight, g	3,20	8,07	6,14	3,14	1,77	28,87	0,51
Вес зерна с 1 метёлки, г / Grain weight from 1 panicle, g	1,90	7,17	5,19	3,91	1,98	38,12	0,57
Озернённость метёлки, шт. / Number of grains on the panicle, pcs.	325,00	846,00	632,26	41008,16	202,50	32,02	58,45
Масса 1000 зёрен, г /	5,84	9,12	8,01	0,76	0,87	10,89	0,25
Период всходы-цветение, сутки / Germination-flowering period, days	26,00	33,00	29,75	7,30	2,70	9,07	0,77
Урожайность, (т/га) / Yield, (t/ha)	3,70	14,23	10,27	15,64	3,95	38,50	1,14
Натура зерна / The nature of grain	753,00	878,00	790,17	1394,83	37,35	4,72	10,78
Масса 1000 ядер, г / Weight of 1000 grains, g	4,50	8,10	6,69	0,77	0,88	13,08	0,25
Масса 1000 плёнок, г / Weight of 1000 films, g	0,90	1,82	1,31	0,10	0,31	23,58	0,08
% ядер / % of kernels	77,05	90,00	83,45	16,15	4,02	4,81	1,16
% пленок / % of membrane	10,00	22,95	16,55	16,15	4,02	24,28	1,16
желтизна / yellowness	1,50	4,00	3,00	0,82	0,90	30,15	0,26
стекловидность / vitreous	1,50	4,00	2,83	0,65	0,81	28,48	0,23

Примечание: $\bar{X}$ – среднее значение; S² – дисперсия; S – стандартное отклонение; V – коэффициент вариации; S $\bar{X}$ – ошибка средней.

Note: $\bar{X}$ is the average value; S² is the variance; S is the standard deviation; V is the coefficient of variation; S $\bar{X}$ is the error of the average.

Использование кластерного анализа по минимуму евклидовых расстояний для изучения 12 сортов пшеницы по 15 изучаемым признакам позволило сгруппировать их в пять кластеров на восьмом шаге итерации (евклидово расстояние – 16,26) (рисунок 1).

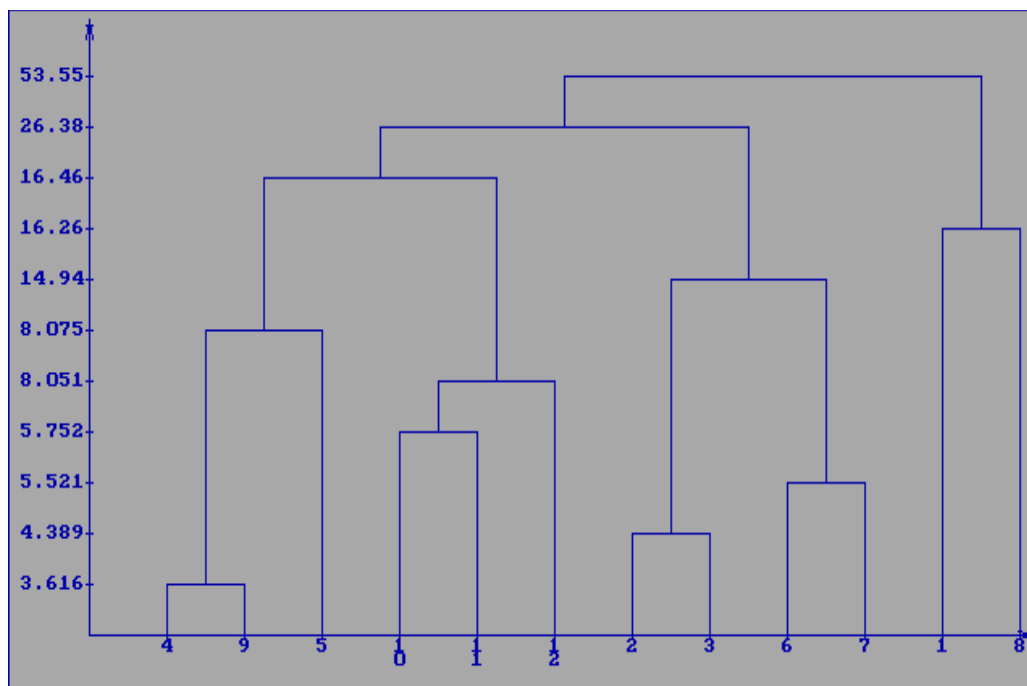


Рисунок 1 – Дендрограмма сходства сортов пшеницы посевного по вегетативным и генеративным признакам, среднее 2023-2024 гг.

Figure 1 – Dendrogram of similarity among wheat accessions based on vegetative and generative traits, average for 2023-2024

Примечание: 1) К-7483; 2) К-2732; 3) К-7566; 4) Золотистое; 5) Сарбин; 6) К-10165; 7) Атлет; 8) К-7683; 9) Саратовское желтое; 10) Саратовское 853; 11) Саратовское 10; 12) Саратовское 15

Дисперсионный анализ методом неорганизованных повторений определил наличие или отсутствие значимых на 5,0 % уровне различий между кластерами. Между кластерами были выявлены значимые различия по следующим признакам: высота растения, длина метёлки, вес метёлки, вес зерна с 1 метёлки, озерненность метёлки, масса тысячи зёрен, период «всходы-цветение», урожайность, натура зерна, масса 1000 ядер, масса 1000 плёнок, % ядер, % плёнок, желтизна и стекловидность (таблица 2, 3).

Таблица 2 – Результаты дисперсионного анализа вегетативных признаков сортов пшеницы посевного, сгруппированных по кластерам, среднее 2023-2024 гг.

Table 2 – Results of the analysis of variance for vegetative traits in wheat accessions, grouped by clusters, average for 2023-2024

Кластер / Cluster	Высота растения, см / Seat height, cm	Длина метёлки, см / Height of the plant, cm	Вес метёлки, г / Panicle weight, g	Вес зерна с 1 метёлки, г / Grain weight from 1 panicle, g	Озерненность, шт. / Number of grains on the panicle, pcs.
1	93.2c	19.2bcd	7.62a	6.88a	806.33t
2	99.3b	18.87ab	11.67a	6.96a	815.67d
3	93.25c	21.25a	5.24a	4.1a	517.25d
4	103.6f	26.6d	3.59a	2.37a	328.00g
5	101.4j	25.41fg	3.20abcd	1.90abc	325.00j
F _{факт}	744,91486	3433857,3	15111,145	113166,56	1333,6893
НСР ₀₅	0,600875	0,0050378	0,044815	0,0182451	16,999401

Примечание: одинаковые буквы указывают на отсутствие различий (по критерию Дункана).
Note: identical letters indicate no differences (according to the Duncan test).

Кластерный состав определяется сходством изучаемых признаков у сортообразцов проса посевного.

В первом кластере сортообразцы (Золотистое, Саратовское жёлтое, Сарбин) характеризуются низкой высотой растений, высокой массой тысячи зёрен, периодом «всходы-цветение», высокой массой 1000 ядер, % ядер, высоким баллом желтизны и средним значением остальных признаков.

Второй кластер характеризуется наибольшими значениями параметров: вес метёлки, вес зерна с 1 метёлки, озерненностью метёлки, урожайностью, стекловидностью зерна, а также средним значением других признаков и включает в себя сортообразцы (Саратовское 853, Саратовское 10, Саратовское 15).

Таблица 3 – Результаты дисперсионного анализа генеративных признаков сортообразцов проса посевного, сгруппированных по кластерам, среднее 2023-2024 гг.

Table 3 – Results of the analysis of variance for generative traits in millet accessions, grouped by clusters, average for 2023-2024

Кластер / Cluster	МТЗ, г /	Период всходы-цветение, сутки / Germination-flowering period, days	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Натура зерна, г / Grain size, g	Масса 1000 ядер, г / Mass of 1000 nuclei, g	Масса 1000 пленок, г / Weight of 1000 films, g	% Ядер / % of kernels	% Плёнок / % of membrane	Желтизна / Yellowness	Стековидность / Vitreous
1	8.55f	32.00b	13.67f	757.67d	7.43a	1.11a	86.89c	13.11a	3.83a	3.33a
2	8.55a	31.33ab	13.82a	763.67cd	6.83a	1.71a	79.94ab	20.06a	3.67a	3.67a
3	7.93a	28.75a	8.11a	804.75e	6.73a	1.2a	84.89bc	15.11a	2.50a	2.38a
4	7.24ab	26.00cd	4.65sb	821.00h	6.10ab	1.14a	84.25e	15.75abcd	2.00a	2.00a
5	5.84d	26.00g	3.7bcd	878.00k	4.50cd	1.21a	77.05hi	22.95efg	1.50ab	1.50ab
F _{факт}	13,27	337,01	764902,25	67162,14	14663,45	1855,07	769,58	772,62	38,09	29,66
НСР ₀₅	0,95	0,44	0,01	0,44	0,02	0,02	0,44	0,44	0,44	0,46

Примечание: одинаковые буквы указывают на отсутствие различий (по критерию Дункана).

Note: identical letters indicate no differences (according to the Duncan test).

Сортообразцы третьего кластера (К-2732, К-7566, К-10165, Атлет) отличаются самой короткой длиной метёлки, низкой массой 1000 плёнок, а также средним значением других признаков.

В четвертом кластере сортообразец (К-7483) с самой высокой длиной растения, длиной метёлки, низким весом метёлки, а также средним значением других признаков.

Образец К-7683, включенный в пятый кластер, характеризуется самой низкой озерненностью метёлки, массой тысячи зёрен, самым коротким периодом «всходы-цветение», урожайностью, высокой натурой зерна, низкой массой 1000 ядер и других показателей.

В результате изучения сортимента как модельной популяции была рассчитана матрица коэффициентов корреляции. Для выделения ключевых взаимозависимостей представлены и сгруппированы по биологическому смыслу только статистически значимые сильные корреляционные связи с коэффициентом $|r| \geq 0,700$ (таблица 4).

Таблица 4 – Результаты корреляционного анализа: выявленные группы статистически значимых сильных взаимосвязей ($|r| \geq 0,700$) между хозяйственно-ценными признаками у сортообразцов проса
Table 4 – Results of correlation analysis: identified groups of statistically significant strong relationships ($|r| \geq 0.700$) between economically valuable traits in millet accessions

Ключевой признак / The key feature	Взаимосвязанный признак / The interconnected feature	Коэффициент корреляции (r) / Correlation coefficient (r)
Период всходы-цветение, сут. / Germination-flowering period, days	Вес зерна с 1 метёлки, г / Grain weight from 1 panicle, g	0,866
	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	0,866
Вес метёлки, г / Panicle weight, g	Вес зерна с 1 метёлки, г / Grain weight from 1 panicle, g	0,991
	Озерненность, шт. / The amount of grain per panicle	0,986
	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	0,991
Ключевой признак / The key feature	Взаимосвязанный признак / The interconnected feature	Коэффициент корреляции (r) / Correlation coefficient (r)
Длина метёлки, см / Panicle length, cm	Вес метёлки, г /	-0,716
	Вес зерна с 1 метёлки, г / Grain weight from 1 panicle, g	-0,749
	Озерненность, шт. / The amount of grain per panicle	-0,727
Вес зерна с 1 метёлки, г / Grain weight from 1 panicle, g	Озерненность, шт. / The amount of grain per panicle	0,989
	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	0,954
Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Озерненность, шт. / The amount of grain per panicle	0,939
	Натура зерна, г / Grain size, g	-0,924
Масса 1000 зёрен (мтз), г / Weight of 1000 grains (g), g	Масса 1000 ядер, г / Weight of 1000 kernels, g	0,937
Желтизна, балл / Yellowness, point	Стекловидность, балл / Vitreous, score	0,965
% Ядер / % of kernels	% Плёнок / % of membrane	-1,000

Примечание: Сила связи: $|r| \geq 0.900$ – очень сильная; $0.700 \leq |r| < 0.900$ – сильная. Все коэффициенты значимы при $p < 0.05$.

Note: The strength of the relationship: $|r| \geq 0.900$ is very strong; $0.700 \leq |r| < 0.900$ is strong. All coefficients are significant at $p < 0.05$.

Существенные корреляционные связи ($|r| \geq 0,700$) установлены между следующими признаками: вес метёлки с весом зерна с 1 метёлки ($r = 0,991$) и с озерненностью метёлки ($r = 0,986$); вес зерна с 1 метёлки с озерненностью метёлки ($r = 0,989$); урожайность с весом метёлки ($r = 0,991$), с весом зерна с 1 метёлки ($r = 0,954$) и с озерненностью метёлки ($r = 0,939$); длина метёлки с весом метёлки ($r = -0,716$), с весом зерна с 1 метёлки ($r = -0,749$) и с озерненностью метёлки ($r = -0,727$); натура зерна с урожайностью ($r = -0,924$); период всходы-цветение с весом зерна с 1 метёлки ($r = 0,866$) и с урожайностью ($r = 0,866$); желтизна со стекловидностью ($r = 0,965$); масса 1000 зёрен с массой 1000 ядер ($r = 0,937$); % ядер с % плёнок ($r = -1,000$).

Факторный анализ методом главных компонент является мощным инструментом для упрощения интерпретации сложных матриц корреляций.

С целью оптимизации интерпретации матрицы коэффициентов корреляции выполнили факторный анализ методом главных компонент (рисунок 1). В анализ включены гипотетические факторы с нагрузкой более 5 %.

Первый гипотетический фактор, объясняющий 63,55 % изменчивости, является наиболее значимым и включает в себя признаки, непосредственно связанные с продуктивностью растения. Этот фактор можно интерпретировать как «продуктивность растения», поскольку он включает в себя показатели, связанные с массой, количеством зерен и урожайностью. Высокие отрицательные нагрузки следующих признаков: вес метёлки (-0,974), вес зерна с 1 метёлки (-0,984), озерненность метёлки (-0,961), урожайность (-0,984), масса 1000 зёрен (-0,897) и период всходы-цветение (-0,864), указывают на их сильную взаимосвязь и вклад в формирование этого фактора. Высокие по модулю значения нагрузок указывают на значительное влияние этих признаков на формирование фактора.

Второй гипотетический фактор, объясняющий 24,10 % изменчивости, включает в себя признаки, связанные с архитектурой растения и качеством зерна: высота растения (-0,613), длина метёлки (-0,136), масса 1000 плёнок (-0,919), % ядер (0,967) и % плёнок (-0,967).

Третий гипотетический фактор, объясняющий 5,90 % изменчивости, включает признаки, связанные с качеством зерна: натура зерна (0,945), желтизна (-0,955) и стекловидность (-0,932).

Заключение. Изменчивость признаков является важным фактором для селекции и улучшения сортов проса. Высокая изменчивость позволяет выявлять и отбирать наиболее перспективные образцы для дальнейшего размножения и использования в селекционных программах.

Наибольшая изменчивость наблюдается по ряду ключевых признаков, вес метелки, вес зерна с одной метелки, озерненность метелки, урожайность, масса 1000 пленок, процент пленок, желтизна и стекловидность.

В ходе исследования были выделены сорта проса (*Panicum miliaceum* L.) с высокой массой 1000 семян (Саратовское 15, Сарбин, Золотистое, Саратовское 10, Саратовское желтое, К-2732) и высоким числом зерен в метелке (Саратовское желтое, Саратовское 10, Саратовское 853, Золотистое, Сарбин). Кластерный анализ с использованием метода минимального евклидова расстояния сгруппировал сорта проса в пять кластеров, которые достоверно различались на уровне 5 % по изучаемым признакам. Были обнаружены значимые корреляции между признаками растений, а факторный анализ выявил значимые переменные веса компонентов.

Conclusion. Trait variability is a crucial factor for millet breeding and cultivar improvement. High variability enables the identification and selection of the most promising accessions for further propagation and use in breeding programs.

The greatest variability was observed for a number of key traits: panicle weight, grain weight per panicle, number of grains per panicle, yield, weight of 1000 films, husk percentage, yellowness, and vitreousness.

The study identified millet (*Panicum miliaceum* L.) varieties with high 1000-seed weight (Saratovskoe 15, Sarbin, Zolotistoe, Saratovskoe 10, Saratovskoe zheltie, K-2732) and high number of grains per panicle (Saratovskoe zheltie, Saratovskoe 10, Saratovskoe 853, Zolotistoe, Sarbin).

Cluster analysis using the minimum Euclidean distance method grouped the millet varieties into five clusters, which differed significantly at the 5 % level for the studied traits. Significant correlations between plant traits were found, and factor analysis revealed significant variable component weights.

Библиографический список

1. Jin F., Xu L., Lv Z., Zhang Y. W., Yang Q., Han Q., Feng B. Combined physiological and pathway analysis revealed the effect of *Sporisorium destruens* on photosynthesis in broomcorn millet (*Panicum miliaceum* L.). *Journal of Integrative Agriculture*. 2023.
2. Parveen R., Singh D., Imam Z., Singh M. Breeding Kodo Millet for Biotic and Abiotic Stress Tolerance. 2024. Pp. 613-635.
3. Pattanashetti B. M., Raj D., Ragi S., Mendapera I. Breeding Brown Top Millet (*Brachiaria ramosa*) for Biotic and Abiotic Stress Resistance. 2024. Pp. 645-654.
4. Ramesh G., Gudi S., Singh N., Bhandhari D. Breeding Finger Millet for Biotic Stress Resistance. 2024. Pp. 279-295.
5. Sao A., Pali V., Patil H. E. Genetic Improvement for Yield, Quality, Biotic, and Abiotic Stresses in Little Millet (*Panicum sumatrense* Roth. ex Roem. and Schult.). 2024. Pp. 571-599.
6. Fatima S., Parvin K. A review on millet: a wonder grain of nutritional importance. *International Journal of Advanced Research*. 2024. Vol. 12. Issue 04. Pp. 1110-1119.
7. Raju C. A., Lakshmeesha R., Pavuluri Y., Divya C., Ashoka S. Millets: A Scientific Perspective on Their Nutritional and Health Relevance. *Journal of Scientific Research and Reports*. 2024.
8. Raj S., Chaudhary S., Ghule N. S., Baral K., Padhan S. R., Gawande K. N., Singh V. Sustainable Farming and Soil Health Enhancement through Millet Cultivation: A Review. 2024.
9. Зотиков В. И., Полухин А. А., Грядунова Н. В. и др. Развитие производства зернобобовых и крупяных культур в России на основе использования селекционных достижений. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2020. № 4 (36). С. 5-17.
10. Куделко В. Н., Лужинская Н. А., Кошевой П. О., Титова Я. А. Оценка коллекционных образцов проса посевного по урожайности, химическому составу и питательной ценности зеленой массы. *Земледелие и селекция в Беларуси*. 2020. № 56. С. 343-351.
11. Демина И. Ф. Селекционная ценность сортов пшеницы мягкой яровой разных эколого-географических групп по устойчивости. *Сурский вестник*. 2019. № 2 (6). С. 27-30.
12. Епифанова И. В., Тимошкин О. А. Создание перспективного селекционного материала люцерны изменчивой для поливидовых агрофитоценозов. *Сурский вестник*. 2018. № 4 (4). С. 30-33.
13. Корнева С. П. Использование кластерного анализа для повышения эффективности отборов в расщепляющихся гибридных популяциях. Молодые ученые Сибирского региона – аграрной науке. Омск, 2004. Вып. 4. С. 127-131.

14. Гудова Л. А., Зайцев С. А., Жужукин В. И. и др. Использование методов многомерной статистики для оценки модельной популяции кукурузы. Аграрный научный журнал. 2021. № 7. С. 9-15.

References

1. Jin F., Xu L., Lv Z., Zhang Y. W., Yang Q., Han Q., Feng B. Combined physiological and pathway analysis revealed the effect of *Sporisorium destruens* on photosynthesis in broomcorn millet (*Panicum miliaceum* L.). *Journal of Integrative Agriculture*. 2023.
2. Parveen R., Singh D., Imam Z., Singh M. Breeding Kodo Millet for Biotic and Abiotic Stress Tolerance. 2024. Pp. 613-635.
3. Pattanashetti B. M., Raj D., Ragi S., Mendapera I. Breeding Brown Top Millet (*Brachiaria ramosa*) for Biotic and Abiotic Stress Resistance. 2024. Pp. 645-654.
4. Ramesh G., Gudi S., Singh N., Bhandhari D. Breeding Finger Millet for Biotic Stress Resistance. 2024. Pp. 279-295.
5. Sao A., Pali V., Patil H. E. Genetic Improvement for Yield, Quality, Biotic, and Abiotic Stresses in Little Millet (*Panicum sumatrense* Roth. ex Roem. and Schult.). 2024. Pp. 571-599.
6. Fatima S., Parvin K. A review on millet: a wonder grain of nutritional importance. *International Journal of Advanced Research*. 2024. Vol. 12. Issue 04. Pp. 1110-1119.
7. Raju C. A., Lakshmeesha R., Pavuluri Y., Divya C., Ashoka S. Millets: A Scientific Perspective on Their Nutritional and Health Relevance. *Journal of Scientific Research and Reports*. 2024.
8. Raj S., Chaudhary S., Ghule N. S., Baral K., Padhan S. R., Gawande K. N., Singh V. Sustainable Farming and Soil Health Enhancement through Millet Cultivation: A Review. 2024.
9. Zotikov V. I., Polukhin A. A., Gryadunova N. V., et al. Development of production of leguminous and cereal crops in Russia on the basis of the use of breeding achievements. *Leguminous and cereal crops*. 2020. No 4 (36). Pp. 5-17.
10. Kudelko V. N., Luzhinskaya N. A., Koshevoi P. O., Titova Ya. A. Evaluation of collection samples of millet by yield, chemical composition and nutritional value of green mass. *Agriculture and Breeding in Belarus*. 2020. No 56. Pp. 343-351.
11. Demina I. F. Breeding value of varieties of soft spring wheat of different ecological and geographical groups on the basis of stability. *Sursky Vestnik*. 2019. No 2 (6). Pp. 27-30.
12. Epifanova I. V., Timoshkin O. A. Creation of perspective breeding material of alfalfa variable for poly-species agricultural phytocenoses. *Sursky Vestnik*. 2018. No 4 (4). Pp. 30-33.
13. Korneva S. P. Using Cluster Analysis to Improve the Efficiency of Selection in Splitting Hybrid Populations. *Young Scientists of the Siberian Region to Agrarian Science*. Omsk, 2004. Issue 4. Pp. 127-131.
14. Gudova L. A., Zaitsev S. A., Zhuzhukin V. I., et al. Usage of the multidimensional statistical methods to evaluate a model corn population. *Agrarian Scientific Journal*. 2021. No 7. Pp. 9-15.

Информация об авторах

Мозлов Владимир Александрович, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока» (Российская Федерация, г. Саратов); аспирант, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова» (Российская Федерация, г. Саратов), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4638-0523>, e-mail: Mozlovva@ya.ru

Author's Information

Mozlov Vladimir Aleksandrovich, Junior Researcher, Federal Agrarian Scientific Center of the South-East (Russian Federation, Saratov); Postgraduate Student, N. I. Vavilov Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering (Russian Federation, Saratov), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4638-0523>, e-mail: Mozlovva@ya.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-69

THE CHICKEN PASTE RECIPE WITH THE VEGETABLE COMPONENTS DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION

^{1,2}Khramova V. N., ¹Bozhkova S. E., ¹Serova O. P., ¹Molokanova M. A., ¹Polovodova D. I.,
¹Lubchinsky K. A.

¹Volgograd State Technical University

²Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: hramova_vn@vstu.ru

Received. 17.02.2026

Submitted 25.03.2026

The authors would like to thank the administration of the Volgograd Region for supporting the scientific and technical project with a grant under Agreement No. 2 12.12.2024 with VSTU.

Abstract

Introduction. The relevance of the work is due to the growing demand for functional meat products with improved composition and increased nutritional value. Functional meat products such as pates are in demand due to the trend towards healthy eating. components, including sprouted chickpeas and a complex food additive based on corn starch products, increase the nutritional and biological value by combining animal and plant proteins, as well as enriching the product with dietary fiber. Marketing research shows an increase in demand for such products by 15-20 % annually in Russia, with an emphasis on low-calorie options without preservatives. **Materials and methods.** The research was conducted at the Department of Food Production Technology of VolgSTU. The production of samples of meat pates (control and experi-

mental batches) was carried out in accordance with the current technological instructions for the production of meat pates. The samples were selected and the samples were prepared according to GOST R 51447-99 (ISO 3100-1-91). Quality assessment studies were conducted according to certified methods. **Results and conclusions.** As a result of the research, the optimal dosage of the components was determined: the mass of sprouted chickpeas is 11.2 g; the mass of starch additives is 14.8 g per 100 g of unsalted raw materials. The introduction of these ingredients in the prescribed proportion allows you to obtain a product with a balanced composition, high organoleptic rating and optimal indicator of meat emulsion stability.

Keywords: chicken pate, optimization of the chicken pate recipe, orthogonal central composition planning, sprouted chickpeas, complex food additives, corn starch products, vegetable components of meat pates, enriched food products.

Citation. Khranova V. N., Bozhkova S. E., Serova O. P., Molokanova M. A., Polovodova D. I., Lubchinsky K. A. The chicken paste recipe with the vegetable components development and optimization. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 624-634 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-69.

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 637.524.24+664.934

РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЦЕПТУРЫ КУРИНОГО ПАШТЕТА С РАСТИТЕЛЬНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

^{1,2}Храмова В. Н., доктор биологических наук, профессор

¹Божкова С. Е., кандидат биологических наук, доцент

¹Серова О. П., кандидат биологических наук, доцент

¹Молоканова М. А., соискатель

¹Половодова Д. И., соискатель

¹Лубчинский К. А., аспирант

¹ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет,

²Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции
г. Волгоград, Российская Федерация

Авторы выражают благодарность администрации Волгоградской области за поддержку научно-технического проекта грантом по Соглашению № 2 от 12.12.2024 с ВолгГТУ.

Актуальность. Актуальность работы обусловлена растущим спросом на обогащенные мясные продукты с улучшенным составом и повышенной пищевой ценностью. Обогащенные мясные продукты, такие как паштеты, востребованы из-за тренда на здоровое питание. Растительные компоненты, включая пророщенный нут и комплексную пищевую добавку на основе кукурузных крахмалопроductов, повышают пищевую и биологическую ценность путем комбинирования белков животного и растительного происхождения, а также обогащением продукта пищевыми волокнами. Маркетинговые исследования показывают рост спроса на такие продукты на 15-20 % ежегодно в России, с акцентом на низкокалорийные варианты без консервантов. **Материалы и методы.** Исследования проводились на кафедре технологии пищевых производств (ТПП) ВолгГТУ. Выработку образцов мясных паштетов (контрольной и опытных партий) проводили в соответствии с действующей технологической инструкцией на производство мясных паштетов. Отбор исследуемых образцов и подготовка проб проводилась по ГОСТ Р 51447-99 (ISO 3100-1-91). Исследования по оценке качества проводили согласно аттестованным методикам. **Результаты и выводы.** В результате исследований определена оптимальная дозировка компонентов: масса пророщенного нута составляет 11,2 г, масса комплексной пищевой добавки – 14,8 г на 100 г несоленого сырья. Введение данных ингредиентов в установленной пропорции позволяет получить продукт со сбалансированным составом, высокой органолептической оценкой и оптимальным показателем устойчивости мясной эмульсии.

Ключевые слова: куриный паштет, оптимизация рецептуры куриного паштета, ортогональное центральное композиционное планирование, пророщенный нут, комплексные пищевые добавки, кукурузные крахмалопроductы, растительные компоненты мясных паштетов, обогащенные пищевые продукты.

Цитирование: Храмова В. Н., Божкова С. Е., Серова О. П., Молоканова М. А., Половодова Д. И., Лубчинский К. А. Разработка и оптимизация рецептуры куриного паштета с растительными компонентами. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 624-634. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-69.

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. Современный рынок пищевых продуктов характеризуется устойчивым трендом в сторону здорового и функционального питания. Потребители все чаще отдают предпочтение продуктам, которые не только обладают высокими вкусовыми качествами и безопасностью, но и приносят дополнительную пользу для здоровья благодаря обогащению пищевыми волокнами, витаминами, минеральными веществами и другими биологически активными компонентами [1, 2]. Эта тенденция является ответом на растущую распространенность алиментарно-зависимых заболеваний, что стимулирует пищевую промышленность к разработке продуктов с улучшенным нутриентным составом. В данном контексте мясные продукты, в частности паштеты, как продукты массового, повседневного спроса, представляют собой перспективную основу для целенаправленной модификации рецептур с целью повышения их пищевой ценности. Расширение ассортимента мясных паштетов функциональной направленности позволяет не только удовлетворить растущий потребительский спрос на продукт здорового питания, но и вовлечь в производство дополнительные сырьевые ресурсы растительного происхождения. При разработке продуктов функциональной направленности ключевое значение приобретает сохранение привычных для потребителя органолептических свойств продукта: мажущейся консистенции, приятного вкуса и аромата.

Одним из ключевых инновационных направлений развития мясной промышленности является частичная замена мясного сырья или его дополнение функциональными растительными компонентами. Такой подход позволяет не только оптимизировать себестоимость продукции в условиях роста цен на мясное сырье, но и принципиально улучшить её нутриентный профиль, обогатив её дефицитными пищевыми волокнами, витаминами, полифенолами и минеральными веществами [3, 4]. Однако, введение растительных ингредиентов является сложной технологической задачей, требующей тщательного научного подхода для сохранения традиционных органолептических (вкус, цвет, запах), структурно-механических (консистенция, сочность) и физико-химических характеристик готового продукта, которые являются решающими для потребительского восприятия. Сложность обусловлена прежде всего различиями в химическом составе и функционально-технологических свойствах животного и растительного сырья. Белки животного происхождения обладают уникальными функционально-технологическими свойствами, формирующими характерную структуру для мясных изделий. Растительные ингредиенты, богатые пищевыми волокнами, могут приводить к ухудшению структурных свойств мясных изделий: появление рыхлости, сухости. Помимо этого, растительные ингредиенты обладают собственным, не всегда нейтральным, вкусом и ароматом, способным исказить характерные для мясного продукта вкус и аромат. Для того, чтобы избежать подобного требуется тщательный подбор вида и дозировки растительного сырья.

В качестве перспективных растительных модификаторов рецептуры мясных паштетов рассматриваются пророщенный нут и пищевые добавки на основе кукурузных крахмалопродуктов. Пророщенный нут является ценным источником высококачественного растительного белка, пищевых волокон, витаминов группы В, железа, цинка и магния [5]. Критически важно, что в процессе проращивания запасы белка зерна частично расщепляются до более простых пептидов и аминокислот, что облегчает их усвоение организмом человека. Одновременно происходит снижение содержания антипитательных веществ, таких как фитаты и ингибиторы протеаз, которые в обычном зерне могут связывать минералы и вызывать дискомфорт в желудочно-кишечном тракте. Благодаря проращиванию нут не только лучше усваивается сам, но и повышает биодоступность макро- и микронутриентов. Кроме того, в пророщенном нуте резко возрастает концентрация витаминов группы В, токоферолов и аскорбиновой кислоты, которая в сухом нуте практически отсутствует. Еще одним преимуществом является высокое содержание пищевых волокон, как растворимых, так и нерастворимых, что благотворно влияет на микрофлору кишечника и способствует формированию чувства сытости. Не менее важны функционально-технологические свойства пророщенного нута, которые позволяют использовать его не просто как наполнитель, а как активный компонент, формирующий структуру паштета. Белки пророщенного нута способствуют созданию и стабилизации жировых эмульсий, что важно в производстве мясных паштетов, где необходимо удерживать жир и влагу внутри структуры, для предотвращения отделения бульона при термообработке и хранении.

Пищевые добавки на основе кукурузных крахмалопродуктов, в свою очередь, уже давно и успешно используются в мясной промышленности в качестве эффективных стабилизаторов, загустителей и влагоудерживающих агентов, напрямую влияющих на сочность, выход готовой продукции и стабильность эмульсии при хранении [6].

Комплексная пищевая добавка для мясных паштетов представляет собой сбалансированную многокомпонентную систему, в которой каждый ингредиент выполняет ключевую функцию. Основу рецептуры составляют три компонента: растворимое кукурузное волокно «ИнтенсФлор», мальтодекстрин и кукурузный крахмал производства ООО «НьюБио» (Волгоградская область). Растворимое волокно обеспечивает высокое влагоудержание, гарантируя сочность и предотвращая отделение влаги при хранении, а также служит источником пищевых волокон. Мальтодекстрин выступает наполнителем, создавая объем и пластичную структуру, способствуя однородности. Кукурузный крахмал при термообработке клейстеризуется, формируя прочную гелевую матрицу, которая «запирает» влагу и жир, обеспечивая плотный, не крошащийся срез и стабильность паштета [Заявка на изобретение РФ № 2025128221 Композиция куриного паштета // дата регистрации 15.10.2025 г.], [Заявка на изобретение РФ № 2025128228 Композиция куриного паштета дата регистрации 15.10.2025 г.].

Вспомогательные компоненты усиливают действие основы: яичный порошок работает как натуральный эмульгатор, укрепляя эмульсию и обогащая цвет, а специально подобранный блок специй – перец черный молотый, корица молотая и орех мускатный молотый – придает продукту классический, сбалансированный вкусоароматический профиль. Эмульгатор обеспечивает быстрое и стабильное формирование однородной эмульсии на этапе фаршесоставления. Комбинированное использование этих двух добавок потенциально позволяет синергетически улучшить как пищевую ценность, так и технологические свойства продукта [Заявка на изобретение РФ № 2025128221 Композиция куриного паштета // дата регистрации 15.10.2025 г.], [Заявка на изобретение РФ № 2025128228 Композиция куриного паштета дата регистрации 15.10.2025 г.].

Для решения многокритериальной задачи оптимизации сложных рецептур, включающей поиск баланса между долей растительных компонентов, технологическими параметрами и комплексом показателей качества, наиболее эффективным инструментом является метод математического моделирования. В частности, ортогональное центральное композиционное планирование эксперимента (ОЦКП) второго порядка позволяет с минимальным, строго необходимым количеством опытов получить адекватную полиномиальную математическую модель, полноценно описывающую влияние независимых факторов (доля пророщенного нута, доля крахмала и др.) на выбранные параметры оптимизации (выход, стабильность, цвет, текстура) [7-13]. Последующий анализ этой модели с применением методов многомерной оптимизации (например, метод функции желательности) дает возможность с высокой точностью определить оптимальные уровни вводимых компонентов, обеспечивающие достижение заданных целевых значений качества. Таким образом, применение ОЦКП является научно обоснованным и экономически эффективным путем разработки нового поколения мясных паштетов с профилактическими свойствами.

Цели и задачи исследования. Целью данного исследования является разработка и оптимизация рецептуры куриного паштета с пророщенным нут и комплексной пищевой добавкой с использованием метода ОЦКП второго порядка для достижения высоких органолептических показателей, стабильной эмульсии и заданного содержания пищевых волокон.

Задачи исследования:

1. Провести анализ существующих рецептур мясных паштетов и изучить методы их оптимизации.
2. Установить диапазоны варьирования дозировок пророщенного нута и добавки из кукурузных крахмалопродуктов.
3. Экспериментально установить влияние добавляемых компонентов на качественные характеристики мясного паштета.
4. Построить математическую модель и на её основании установить оптимальную рецептуру.
5. Провести анализ органолептических и физико-химических характеристик разработанного образца.

Материалы и методы. Исследование проводилось на кафедре «Технология пищевых производств» Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ).

Объектами исследования являлись образцы мясного паштета с варьируемым содержанием пророщенного нута и комплексной пищевой добавки на основе кукурузных крахмалопродуктов. Контрольный образец был приготовлен по традиционной рецептуре паштета из куриной печени и мяса кур [14], опытные образцы – по модифицированным рецептурам на основе рецептуры контрольного образца с добавлением растительных компонентов согласно заданным вариациям (таблица 1).

При выполнении работы использовались стандартные и общепринятые методы исследований. Органолептическая оценка образцов проводилась по 5-балльной системе с оценкой внешнего вида, цвета, консистенции, запаха и вкуса. Стабильность эмульсии определялась по проценту отделившейся влаги после термической обработки и центрифугирования. Содержание пищевых волокон определялось по общепринятым методикам.

В качестве метода оптимизации рецептуры был выбран ортогональный центральный композиционный план второго порядка для двух независимых переменных, реализованный в программе «Экспертная система «МультиМитЭксперт» [Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013616949, блок-схема моделирования Красуля О. Н. и др., 2024]. Для построения математической модели были определены ключевые факторы, влияющие на свойства продукта, и заданы их интервалы (таблица 1). Переменными выступили дозировки растительных ингредиентов, добавляемые в граммах на 100 грамм мясного паштета. Для пророщенного нута и комплексной пищевой добавки на основе кукурузных крахмалопродуктов был выбран единый диапазон варьирования, составивший 2 грамма для каждого из компонентов.

Таблица 1 – Значения изменяемых факторов, их интервалы и пределы варьирования

Table 1 – Values of variable factors, their intervals and limits of variation

Факторы / Factors	Уровни / Levels			Интервал варьирования ΔX / Variation interval ΔX
	нижний / low -1	основной / main 0	верхний / upper +1	
Масса нута $M_n(X_1)$, г на 100 г продукта / The mass of chickpeas $M_{ch}(X_1)$, g per 100 g of product	10	12	14	2
Масса комплексной пищевой добавки $M_k(X_2)$, г на 100 г продукта / Mass of complex food additive $M_c(X_2)$, g per 100 g of product	13	15	17	2

В качестве критериев оптимизации были выбраны параметры, рассчитываемые на основе частных откликов с использованием методики «приближения к идеалу», изложенной в таблице 2. Методика «приближения к идеалу» помогает избежать субъективных оценок при работе с разнородными данными и позволяет объективно подобрать лучшее соотношение ингредиентов.

Для дальнейшего формирования математической модели были выбраны показатели, наиболее сильно влияющие на формирование конечного продукта: органолептическая оценка, стабильность эмульсии и содержание пищевых волокон.

Таблица 2 – Частные отклики и их «идеальные» значения

Table 2 – Partial responses and their «ideal» values

Наименование частного отклика / Name of private response	Размерность измерения / Dimension of measurement	«Идеальные» значения частного отклика / «Ideal» values of partial response
Органолептическая оценка (О) / Organoleptic evaluation	баллы / scores	5
Стабильность эмульсии (Э) / Emulsion stability	%	98
Количество пищевых волокон (В) / Dietary fiber content	г/100 г / g/100g	6

Результаты и обсуждения. В ходе проведения эксперимента было выявлено, что для получения экспериментальных образцов значение стабильности эмульсии должно быть равно 98 %. При снижении данного показателя наблюдается нарушение структуры

при проведении тепловой обработки. Если же значение будет выше установленного уровня, то продукт в ходе тепловой обработки будет чрезмерно твердым, что не соответствует мажущейся консистенции, характерной для паштета.

Также, было установлено оптимальное значение содержания пищевых волокон, которое составляет 6 г на 100 г, в соответствии с требованиями для функциональных продуктов питания согласно ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» и с учетом сохранения оптимальной консистенции эмульсии для получения продукта мажущейся консистенции.

Совокупность данных частных откликов позволяет сформировать оптимальную композицию разрабатываемого продукта.

В таблице 3 приведены экспериментальные данные, полученные в ходе оптимизации рецептурной композиции мясного паштета, обогащенного пророщенным нутом (M_H) и комплексной пищевой добавкой на основе кукурузных крахмалопродуктов (M_K). В качестве критериев оптимизации выступали органолептические, физико-химические и физико-технологические свойства. Анализ этих показателей позволяет выявить рецептуру с наиболее высокими параметрами качества и улучшенными потребительскими свойствами.

Таблица 3 – План эксперимента по моделированию и оптимизации по рецептуре мясного паштета с пророщенным нутом и комплексной пищевой добавкой и результаты его реализации

Table 3 – Experimental plan for modeling and optimization of the recipe of meat pate with sprouted chickpeas and starch additive and the results of its implementation

Номер опыта / Experiment number	План эксперимента / Experimental design		Частные отклики / Partial responses			Безразмерные частные отклики / Dimensionless partial responses			Обобщенные параметры оптимизации, y / Generalized optimization parameters, y
	M_H , г	M_K , г	O , баллы	Σ , %	B , г/100 г	S_o^2	S_Σ^2	S_B^2	
1	14,0	17,0	4,2	96	5,8	0,0256	0,000416	0,0011	0,0271
2	10,0	17,0	4,0	94	5,6	0,0400	0,001633	0,0044	0,0460
3	14,0	13,0	4,5	95	5,9	0,0100	0,000936	0,0003	0,0112
4	10,0	13,0	3,8	92	5,4	0,0576	0,003673	0,0100	0,0713
5	14,0	15,0	4,3	96	5,8	0,0196	0,000416	0,0011	0,0211
6	10,0	15,0	3,9	93	5,5	0,0484	0,002551	0,0069	0,0579
7	12,0	17,0	4,1	95	5,7	0,0324	0,000936	0,0028	0,0362
8	12,0	13,0	4,4	94	5,9	0,0144	0,001633	0,0003	0,0163
9	12,0	15,0	4,7	97	6,0	0,0036	0,000104	0,0000	0,0037

Как видно из таблицы 3, наименьшее значение обобщенного параметра оптимизации ($y = 0,0037$), то есть наилучшее приближение к «идеалу», было достигнуто в опыте № 9 при содержании пророщенного нута 12 г и комплексной пищевой добавки 15 г.

На основе экспериментальных данных было получено уравнение регрессии в кодированных переменных, описывающее зависимость обобщенного параметра оптимизации (Y) от дозировок растительных компонентов (X_1 , X_2).

Записываем математическую модель рецептуры паштета в кодированном виде:

$$y = 0.0037 + 0.0087X_1 + 0.0063X_2 + 0.015X_1X_2 + 0.0135(X_1^2 - 2/3) - 0.006(X_2^2 - 2/3)$$

После приведения подобных членов общий вид кодированной модели рецептуры паштета:

$$y = -0.0013 + 0.0087X_1 + 0.0063X_2 + 0.015X_1X_2 + 0.0135X_1^2 - 0.006X_2^2$$

Проводим переход кодированной модели паштета к модели в натуральном виде, для чего в полученное кодированное уравнение подставляем натуральным значениям факторов:

$$\begin{aligned} X_1 &= (M_H - 12)/2 \\ X_2 &= (M_K - 15)/2 \end{aligned}$$

В этом случае модель имеет вид:

$$y = -0,0013 + 0,0087((M_H - 12)/2) + 0,0063((M_K - 15)/2) + 0,015((M_H - 12)/2)((M_K - 15)/2) + 0,0135((M_H - 12)/2)^2 - 0,006((M_K - 15)/2)^2$$

После приведения подобных искомая математическая модель рецептуры паштета в натуральном выражении может быть записана в виде:

$$y = 0,892 - 0,045 M_H - 0,032 M_K + 0,00375 M_H M_K + 0,003375 M_H^2 - 0,0015 M_K^2$$

Определяем оптимальные значения оптимизируемых факторов, что сводится к поиску координат точки перегиба поверхности y . Для этого дифференцируем полученное натуральное уравнение по каждому фактору, приравняем дифференциалы к 0 и решаем полученную систему:

$$\begin{aligned} \partial y / \partial M_H &= -0,045 + 0,00375 M_K + 0,00675 M_H = 0 \\ \partial y / \partial M_K &= -0,032 + 0,00375 M_H - 0,003 M_K = 0 \end{aligned}$$

Решаем систему:

$$M_K = (0,00375 M_H - 0,032) / 0,003$$

Подставляем в первое уравнение:

$$0,00675 M_H + 0,00375((0,00375 M_H - 0,032) / 0,003) = 0,045$$

Находим оптимальные значения дозирования пищевых ингредиентов:

$M_H = 11,2$ г – пророщенный нут;

$M_K = 14,8$ г – комплексная пищевая добавка.

Была построена трехмерная модель зависимости качества мясного паштета от содержания растительных ингредиентов – пророщенного нута и комплексной добавки (рисунок 1). Построенная поверхность отклика наглядно демонстрирует, как изменение концентрации данных компонентов влияет на итоговые характеристики продукта.

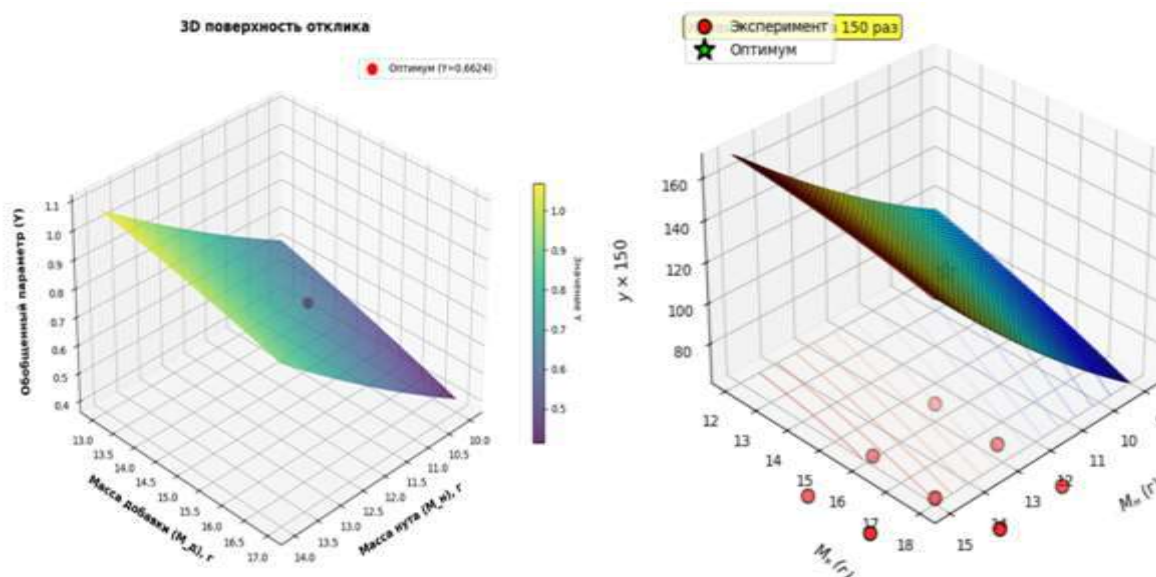


Рисунок 1 – Трехмерная интерпретация модели мясного паштета с растительными компонентами
Figure 1 – The three-dimensional interpretation of the model of meat pate with vegetable ingredients

Корректность подобранных пропорций растительных ингредиентов оценивали экспериментальным путем. Для этого было подготовлено два образца: контрольный (без растительных компонентов) и опытный, полученный в результате оптимизации. Была проведена оценка органолептических и физико-химических характеристик.

На рисунке 2 представлены экспериментальные образцы мясного паштета до термообработки и после, в таблице 4 приведены результаты органолептического анализа мясного паштета.

Таблица 4 – Органолептическая оценка мясного паштета
Table 4 – Organoleptic assessment of meat pate

Показатель / Indicator	Наименование образца / Name Sample	
	Контрольный образец / Control Sample	Опытный образец / Experimental Sample
Внешний вид / Appearance	Батоны с чистой, сухой поверхностью, без повреждений оболочки, пятен и слипов / Loaves with a clean, dry surface, free of damage to the shell, stains, and slivers	Батоны с чистой, сухой поверхностью, без повреждений оболочки, пятен и слипов / Loaves with a clean, dry surface, free of damage to the shell, stains, and slivers
Консистенция / Consistency	Нежная, мажущаяся / Delicate, smudging	Нежная, мажущаяся / Delicate, smudging
Вид на разрезе / Cross-sectional view	Однородная, равномерно перемешанная масса серого цвета / Homogeneous, evenly mixed gray mass	Однородная, равномерно перемешанная масса светло-серого цвета, содержащая включения нута / Homogeneous, evenly mixed light gray mass containing chickpea inclusions
Вкус и запах / Taste and smell	Свойственные данному виду продукта, в меру соленый, без посторонних привкуса и запаха с выраженным ароматом пряностей / Characteristic of this type of product, moderately salty, without foreign taste and smell with a pronounced aroma of spices	Свойственные данному виду продукта, в меру соленый, без посторонних привкуса и запаха с выраженным ароматом пряностей / Characteristic of this type of product, moderately salty, without foreign taste and smell with a pronounced aroma of spices

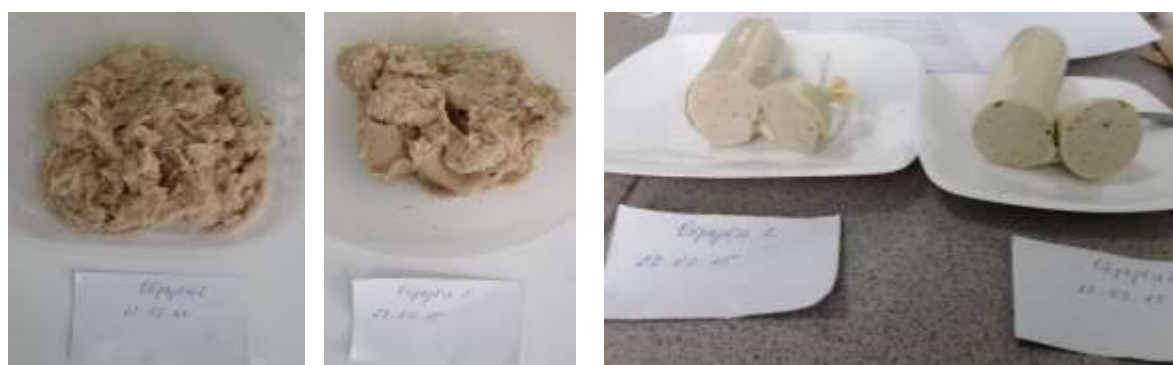


Рисунок 2 – Контрольный и опытный образцы мясных паштетов
а – до термообработки; б – после термообработки
Figure 1 – Control and experimental samples of meat pates
a – before heat treatment; b – after heat treatment

Из представленных данных можно сделать вывод, что оба образца имели приятный, в меру соленый вкус без посторонних запахов и вкусов. Оба образца имеют нежную, мажущуюся консистенцию и однородную структуру, только в опытном образце имеются включения нута. Цвет контрольного образца – серый, а опытного – светло-серый за счет внесения растительных компонентов.

Завершающим этапом исследования стало определение физико-химических показателей контрольного и опытного образцов. К числу определяемых показателей отнесли массовую долю белка, массовую долю жира, массовую долю углеводов и массовую долю пищевых волокон, и калорийность. Результаты проведенных физико-химических анализов представлены в таблице 5.

Сравнение контрольного и опытного образцов мясного паштета показало значительные изменения в их химическом составе, обусловленные внесением растительных компонентов в рецептуру опытного образца. Наиболее существенное отличие наблюдается в массовой доле углеводов, содержание которых в опытном образце возросло более чем в 2,5 раза (с 7,0 % до 17,4 %). Это прямое следствие добавления растительного сырья, которое служит источником сложных углеводов и крахмалов. Введение этих же компонентов привело к резкому, почти 8-кратному, увеличению содержания пищевых волокон (с 0,52 % до

6 %), что является важным функциональным преимуществом, повышающим пищевую ценность продукта. Суммарный рост доли углеводов и пищевых волокон, которые относятся к сухим веществам, обусловил значительное повышение калорийности опытного образца на 42 ккал (с 164,4 до 206,4 ккал). При этом массовая доля белка в обоих образцах осталась практически неизменной, а массовая доля жиров не изменилась, что свидетельствует о точном контроле рецептуры.

Таблица 5 – Физико-химические показатели мясного паштета

Table 5 – Physical and chemical indicators of meat pate

Наименование показателя / Indicator	Наименование образца / Name Sample	
	Контрольный образец / Control Sample	Опытный образец / Experimental Sample
Калорийность, ккал / Caloric content, kcal	164,4	206,4
Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, %	15,20 ± 0,03	15,30 ± 0,03
Массовая доля жиров, % / Mass fraction of fat, %	8,40 ± 0,03	8,40 ± 0,04
Массовая доля углеводов, %, не более / Mass fraction of carbohydrates, %	7,00	17,40
Массовая доля пищевых волокон, %, не менее / Mass fraction of dietary fiber, %	0,52	6,00

Стабильность эмульсии определялась по проценту отделившейся влаги после термической обработки и центрифугирования. Результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Определение стабильности эмульсии

Table 6 – Determination of emulsion stability

Образец / Sample	Температура выдерживания, °C / Holding temperature, °C	Масса образца, г / Sample weight, g	Время выдерживания, мин / Holding time, min	Условия центрифугирования / Centrifugation conditions	Стабильность эмульсии, % / Emulsion stability, %
Контрольный образец / Control sample	80	20	30	4000 об/мин, 5 мин / 4000 rpm, 5 minutes	90
Опытный образец / Experimental sample					98

Повышение стабильности эмульсии напрямую связано с внесением растительных компонентов. Пищевые волокна и белки растительного происхождения эффективно связывают воду и укрепляют эмульсионную матрицу, препятствуя её разрушению при нагревании и центрифугировании. Более высокая стабильность эмульсии опытного образца гарантирует лучшую сохранность консистенции и сочности продукта при хранении и температурных воздействиях.

Заключение. В итоге исследования, выполненного с использованием метода ортогонального центрального композиционного планирования второго порядка была разработана и оптимизирована рецептура мясного паштета с пророщенным нут и комплексной пищевой добавкой.

1. По результатам обработки экспериментальных данных были выявлены дозировки пророщенного нута – 11,2 г и комплексной пищевой добавки – 14,8 г на 100 г.

2. Получена адекватная математическая модель, описывающая влияние факторов на обобщенный параметр оптимизации и позволяющая прогнозировать свойства продукта.

3. Разработанный опытный образец паштета характеризуется высокими органолептическими показателями, стабильной эмульсией (98 %) и заданным содержанием пищевых волокон (6 г / 100 г).

4. Пищевая ценность продукта свидетельствует о его сбалансированном составе: 15,3 г белка, 8,4 г жира, 17,4 г углеводов, 206,4 ккал на 100 г.

5. Таким образом, предложенная рецептурно-технологическая модификация позволяет получить новый мясной продукт с улучшенными характеристиками, отвечающий современным тенденциям здорового питания. Разработанный паштет может быть рекомендован для массового производства с целью расширения ассортимента обогащенных продуктов на рынке.

Conclusion. As a result of the conducted research, using the method of orthogonal central compositional planning of the second order, the formulation of a functional meat paste with sprouted chickpeas and starch additive was developed and optimized.

1. The optimal dosages of plant components have been determined: the mass of sprouted chickpeas is 11.2 g, the mass of starch additives is 14.8 g per 100 g.

2. An adequate mathematical model has been obtained that describes the influence of factors on the generalized optimization parameter and makes it possible to predict the properties of the product.

3. The developed prototype of the paste is characterized by high organoleptic characteristics; stable emulsion (98 %) and a given fiber content (4 g /100g).

4. The nutritional value of the product indicates its balanced composition: 15.3 g protein, 8.4 g fat, 17.4 g carbohydrates, 206.4 kcal per 100 g.

Thus, the proposed recipe and technological modification makes it possible to obtain a new functional meat product with improved characteristics that meets modern trends in healthy eating. The developed paste can be recommended for mass production in order to expand the range of functional products on the market.

Библиографический список

1. Ткачев А. Г. Функциональные мясные продукты с добавлением растительных волокон. Мясная индустрия. 2020. № 1. С. 56-65.
2. Добудько Т. В. Оптимизация рецептур мясных паштетов с использованием математического моделирования. Вестник ВГАУ. 2021. № 4. С. 24-29.
3. Николаев Д. В. и др. Технология производства паштетов путем замены мясного сырья растительными компонентами. Аграрный научный журнал. 2021. № 2. С. 49-54.
4. Liu Y. et al. Starch crystalline types modulate myofibrillar protein aggregation, gelation and emulsion properties in minced pork. Food Chemistry. 2025. V. 456. Pp. 140-152.
5. Божкова С. Е., Синельник А. М., Пилипенко Д. Н. и др. Разработка рецептуры и технологии варёного мясного рулета с растительными ингредиентами. Аграрно-пищевые инновации. 2020. № 1 (9). С. 56-65.
6. Хвыля С. И., Лапшин В. А., Корешков В. Н. Использование крахмала в мясной промышленности. Инновационные процессы в пищевых технологиях: наука и практика. 2019. С. 376-383.
7. Кузнецова Т. А., Соловьева Е. И. Технологические аспекты использования обогащённых растительных компонентов в мясных продуктах. Мясная индустрия. 2021. № 4. С. 24-29.
8. Шишкина Д. И., Соколов А. Ю., Бордунова М. С., Звегинцева Е. Д., Клейн Е. Э. Современные тенденции и перспективы развития функциональных продуктов на основе мяса с добавлением пищевых волокон. Инновации и инвестиции. 2021. № 4. <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-tendentsii-i-perspektivy-razvitiya-funktsionalnyh-produktov-na-osnove-myasa-s-dobavleniem-pishevyyh-volokon>
9. Подвалова В. В. и др. Влияние растительных компонентов на качество фарша на основе мяса птицы. Вестник КрасГАУ. 2022. № 5. С. 192-199.
10. Титов Е. И. и др. Влияние волокон пищевых на функционально-технологические свойства мясных систем. Все о мясе. 2021. № 4. С. 30-36.
11. Kaczmarek D., Pokora-Carzynska M., Juszczak L., Jamroz E., Kapusniak J. Plant Proteins as Alternative Natural Emulsifiers in Food Emulsions. Foods. 2025. No 14. Art. 4291.
12. Mishra B. P., Mishra J., Paital B., Rath P. K., Jena M. K., Reddy B. V. V., Pati P. K., Panda S. K., Sahoo D. K. Properties and physiological effects of dietary fiber-enriched meat products: a review. Front Nutr. 2023. No 10. Art. 1275341.
13. Verma A. K., Banerjee R. Dietary fibre as functional ingredient in meat products: a novel approach for healthy living – a review. J Food Sci Technol. 2010. No 47 (3). Pp. 247-257.
14. Сенченко Б. С. и др. Технологический сборник рецептур колбасных изделий и копченостей: рецептуры, технология, ветсанэкспертиза сырья, гигиена пр-ва, оценка качества продукции. Ростов-н/Д: MapT, 2001. 864 с.

References

1. Tkachev A. G. Functional meat products with the addition of vegetable fibers. Meat industry. 2020. No. 1. Pp. 56-65.
2. Dobudko T. V. Optimization of recipes of meat pates using mathematical modeling. Bulletin of the All-Russian State Agrarian University. 2021. No. 4. Pp. 24-29.
3. Nikolaev, D. V. et al. Technology of pâté production by replacing meat raw materials with plant components. Agrarian Scientific Journal. 2021. No. 2. Pp. 49-54.
4. Liu Y. et al. Starch crystalline types modulate myofibrillar protein aggregation, gelation and emulsion properties in minced pork. Food Chemistry. 2025. Vol. 456. Pp. 140-152.
5. Bozhkova S. E., Sinelnik A. M., Pilipenko D. N. et al. Development of the recipe and technology of boiled meat loaf with vegetable ingredients. Agricultural and food innovations. 2020. № 1 (9). Pp. 56-65.
6. Khvylya S. I., Lapshin V. A., Koreshkov V. N. The use of starch in the meat industry. Innovative processes in food technologies: science and practice. 2019. Pp. 376-383.
7. Kuznetsova T. A., Solovyova E. I. Technological aspects of the use of fortified vegetable components in meat products. Meat industry. 2021. No. 4. Pp. 24-29.

8. Shishkina D. A. et al. Modern trends and prospects for the development of functional meat-based products with the addition of dietary fiber. *Innovations and Investments*. 2021. No. 4. <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-tendentsii-i-perspektivy-razvitiya-funktsionalnyh-produktov-na-osnove-myasa-s-dobavleniem-pischevyh-vozkon>
9. Podvalova V. V. et al. The influence of vegetable components on the quality of minced meat based on poultry meat. *Bulletin of KrasSAU*. 2022. No. 5. Pp. 192-199.
10. Titov E. I. et al. The influence of food fibers on the functional and technological properties of meat systems. *All about meat*. 2021. No. 4. Pp. 30-36.
11. Kaczmarek D., Pokora-Carzynska M., Juszczak L., Jamroz E., Kapusniak J. Plant Proteins as Alternative Natural Emulsifiers in Food Emulsions. *Foods*. 2025. No 14. Art. 4291.
12. Mishra B. P., Mishra J., Paital B., Rath P. K., Jena M. K., Reddy B. V. V., Pati P. K., Panda S. K., Sahoo D. K. Properties and physiological effects of dietary fiber-enriched meat products: a review. *Front Nutr*. 2023. No 10. Art. 1275341.
13. Verma A. K., Banerjee R. Dietary fibre as functional ingredient in meat products: a novel approach for healthy living - a review. *J Food Sci Technol*. 2010. No 47 (3). Pp. 247-257.
14. Senchenko B. S. et al. Technological collection of recipes for sausages and smoked meats: recipes, technology, veterinary and sanitary examination of raw materials, production hygiene, product quality assessment. Rostov-on-Don: March, 2001. 864 p.

Информация об авторах

Храмова Валентина Николаевна, доктор биологических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), e-mail: hramova_vn@vstu.ru

Божкова Светлана Евгеньевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), e-mail: bozhkova@mail.ru

Серова Ольга Петровна, кандидат биологических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), e-mail: s_vyatka@mail.ru

Молоканова Мария Алексеевна, соискатель, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), e-mail: mariyavlg@mail.ru

Половодова Дарья Игоревна, соискатель, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), e-mail: dasha.plovodova08@mail.ru

Лубчинский Кирилл Александрович, аспирант, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), e-mail: lubkirill@mail.ru

Authors' Information

Khramova Valentina Nikolaevna, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), e-mail: hramova_vn@vstu.ru

Bozhkova Svetlana Evgenievna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), e-mail: bozhkova@mail.ru

Serova Olga Petrovna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), e-mail: s_vyatka@mail.ru

Molokanova Maria Alekseevna, Applicant, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), e-mail: mariyavlg@mail.ru

Polovodova Darya Igorevna, Applicant, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), e-mail: dasha.plovodova08@mail.ru

Lubchinsky Kirill Aleksandrovich, graduate student, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), e-mail: lubkirill@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-70

THE NEW WAY OF THE PROCESSING ENTERPRISES TRANSITION TO THE BEST AVAILABLE TECHNOLOGY PRINCIPLES

¹Kim I. N., ¹Davydov A. A., ²Giro T. M., ²Slozhenkina M. I.

¹*Department of Scientific and Information Support for the Innovative Russian Research Institute of Information and Techno-Economic Studies on Engineering and Technical Support for the Agro-Industrial Complex
Moscow region, Russian Federation*

²*Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: girotm.57@yandex.ru

Received 09.12.2025

Submitted 25.02.2026

The research was carried out under the state assignment plan of the GNU NIIMMT (State Research Institution NIIMMT), registration No. 125030603224-4.

Abstract

Introduction. The assessment of smoke emissions from smoking chambers allowed us to establish that high-speed turbulent Venturi scrubbers, characterized by ease of manufacture and small dimensions, are the most acceptable for effective capture of smoke particles. To switch to BAT principles, it is necessary to

widely use smoking equipment with a capacity of up to 1000 kg of raw materials, which provides for a batch supply of the smoke-air mixture into the installation and the maximum use of smoking components during the smoking process by repeatedly recycling them to reduce the negative impact on the environment. **Materials and Methods.** An analysis of the physicochemical parameters of smoke emissions from cold and hot smoking chambers (volume, temperature, relative humidity, dispersed phase, phenols, acids, and carbonyl compounds) was conducted using isokinetic sampling at the chamber outlet. **Results and Conclusions.** It has been demonstrated that smoke emissions from cold and hot smoking chambers can be used to produce a refined smoke preparation from «VNIRO» using absorption in a high-speed turbulent Venturi scrubber. It has been established that as water becomes saturated with smoke components, their collection efficiency decreases. Therefore, 1-2 processing cycles are sufficient for cold smoking emissions, while 4-5 cycles are required for hot smoking. Condensate storage for 7-10 days, followed by filtration, ensures the precipitation and removal of resinous fractions containing carcinogenic compounds.

Keywords: best available technologies (BAT), environmental control of processing facilities, smoke emissions from smoking chambers, emissions of harmful substances, smoking units.

Citation. Kim I. N., Davydov A. A., Giro T. M., Slozhenkina M. I. The new way of the processing enterprises transition to the best available technology principles. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 634-643 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-70.

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 637.52+664. 923 +664.951.3

НОВЫЙ СПОСОБ ПЕРЕХОДА ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ПРИНЦИПЫ НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

¹Ким И. Н., кандидат технических наук

¹Давыдов А. А., научный сотрудник

²Гиро Т. М., доктор технических наук, профессор

²Сложенкина М. И., доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН

¹ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт информации
и технико-экономических исследований по инженерно-технологическому обеспечению АПК
г. Москва, Российская Федерация

²ФГБУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства
и переработки мясомолочной продукции»
г. Волгоград, Российская Федерация

**Исследования проведены в соответствии с планом государственного задания ГНУ
НИИММП, регистрационный № 125030603224-4.**

Актуальность. Оценка дымовых выбросов коптильных камер позволила установить, что для эффективного улавливания дымовых частиц наиболее приемлемыми являются высокоскоростные турбулентные скрубберы Вентури, отличающиеся простотой изготовления и небольшими габаритами. Для внедрения наилучших доступных технологий (НДТ) требуется повсеместное применение коптильных установок с производительностью до 1000 кг сырья. Эти установки должны обеспечивать дозированную подачу дымовоздушной смеси и предусматривать многократную рециркуляцию коптильных компонентов. Такой подход позволит минимизировать негативное воздействие на окружающую среду. **Материалы и методы.** Проведён анализ физико-химических показателей дымовых выбросов камер холодного и горячего копчения (объём, температура, относительная влажность, дисперсная фаза, фенолы, кислоты и карбонильные соединения) при изокINETическом отборе проб на выходе из камер. **Результаты и заключение.** Показано, что дымовые выбросы камер холодного и горячего копчения могут быть использованы для получения рафинированного коптильного препарата «ВНИРО» методом абсорбции в высокоскоростном турбулентном скруббере Вентури. Установлено, что при насыщении воды коптильными компонентами эффективность их улавливания снижается, поэтому для выбросов холодного копчения достаточно 1-2 циклов обработки, тогда как для горячего требуется 4-5 циклов. Выдержка конденсата 7-10 суток с последующей фильтрацией обеспечивает осаждение и удаление смолистых фракций, содержащих канцерогенные соединения.

Ключевые слова: наилучшие доступные технологии (НДТ), экологический контроль перерабатывающих предприятий, дымовые выбросы коптильных камер, выбросы вредных веществ, коптильные установки.

Цитирование. Ким И. Н., Давыдов А. А., Гиро Т. М., Сложенкина М. И. Новый способ перехода перерабатывающих предприятий на принципы наилучших доступных технологий. *Известия НВ АУК*. 2026. 2(86). 634-643. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-70.

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. Статистические данные свидетельствуют о ежегодном производстве в Российской Федерации порядка 220 тысяч тонн копченых мясных изделий и около 90 тысяч тонн рыбной продукции. Основные технологические процессы копчения подразделяются на холодное (температура копильного дыма до 30 °С, в редких случаях до 40 °С) и горячее (температура дымовоздушной смеси в пределах 70-120 °С) [1, 2, 3]. Копильный дым является аэрозолем конденсационного типа, представляющим собой гетерогенную систему, состоящую из дисперсионной (газовой) и дисперсной (частицы) фаз. Дисперсионная среда копильного дыма включает неконденсирующиеся газы (водород, азот, диоксид углерода, оксид углерода и др.), пары воды и летучие органические соединения [4, 5]. Дисперсная фаза представлена микрокаплями воды, частицами сажи и золы, на поверхности которых адсорбированы или в объеме которых растворены органические соединения. Технологический дым, используемый для обработки мясных и рыбных продуктов, обладает специфическими физико-химическими характеристиками. В процессе копчения происходит осаждение компонентов копильной среды на поверхности продукта и их диффузионное проникновение внутрь. Часть компонентов сохраняет свою химическую структуру, тогда как другая часть вступает во взаимодействие с биохимическими компонентами ткани [6, 7, 8, 9]. В последние годы наблюдается тенденция применения копильных препаратов вместо традиционного дымового копчения. Данные препараты представляют собой водные экстракты, получаемые в результате пиролиза древесины, и содержат фенольные, карбонильные соединения и органические кислоты. Они обеспечивают продуктам органолептические свойства (цвет, вкус, аромат), характерные для копченых изделий, а также проявляют бактерицидное и антиокислительное действие. Преимущество использования копильных препаратов заключается в отсутствии канцерогенных веществ в продуктах и исключение необходимости применения дымогенераторов. **Целью исследований** является определение физических параметров, химического состава и сравнительная оценка дымовых выбросов копильных камер различных конструкций для их использования в производстве копильных препаратов типа рафинированных конденсатов дыма. **Материалы и методы.** В качестве физических параметров дымовых выбросов копильных камер определяли объем, температуру, относительную влажность, а также содержание дисперсной фазы, на основе которых обычно осуществляют расчет очистного устройства. Содержание дисперсной фазы исследовали с помощью фильтров АФА-ВП-18 по методике Физико-химического института имени Л. Я. Карпова. Из химических показателей выбросов в атмосферу дымовоздушной смеси во всех камерах определяли содержание фенолов (в пересчете на гваякол), кислот (в пересчете на уксусную кислоту) и карбонильных соединений (в пересчете на фурфурол). Отбор проб дымовоздушной смеси проводили на выходе из копильной камеры с соблюдением условий изокINETичности, а значения физико-химических показателей дымовых выбросов оценивали по стандартным методикам [10, 11, 12]. Выбор групп органических соединений при анализе дымовых выбросов был обусловлен тем, что данные компоненты копильного дыма являются приоритетными в придании продукту копильных свойств, а посему требуется их утилизация. Выбранные конструкции копильных камер были распространены в 80-годах XX века. В настоящее время они сняты с производства копченой продукции как морально устаревшее оборудование, хотя на некоторых комбинатах еще могут эксплуатироваться (таблица 1) [13, 14].

Таблица 1 – Состав дымовых выбросов камер холодного и горячего копчения
Table 1 – Composition of new smoke chambers for cold and hot smoking

Показатели / Indicators	Дымовые выбросы камер холодного копчения / Smoke emissions from cold-smoked chambers				Дымовые выбросы камер горячего копчения / Smoke emissions from hot-smoking chambers			
	Н20-ИК2А РК им. Кирова Эстонии / N20-İK2A RK named after Kirov of Estonia	Тупиковая камера Дальгирорывпром / Dead-end camera Dalhydroprorivprom	Laska конструкции ФРГ / Laska designs of Germany	Maurer конструкции ФРГ / Maurer designs of Germany	Н20-ИК2АРК им. Кирова Эстонии / N20-İK2A RK named after Kirov of Estonia	Н20-ТКУ РК им. Кирова Эстонии / N20-TKU RK named after Kirov of Estonia	Laska конструкции ФРГ / Laska designs of Germany	Maurer конструкции ФРГ / Maurer designs of Germany
Объем дымовых выбросов, м³/ч / Volume of smoke emissions, m³/h	3000	1200	1200	1600	3000	3000	1200	1200
Температура, °С / Temperature, °C	23,0+ -1,0	25,0+2,5	24,0+1,5	24,0+1,5	88,0+4,0	82,5+5,0	84,0+3,5	82,5+5,0
Относительная влажность, % / Relative humidity, %	71,5+3,5	67,5+1,5	67,5+3,0	65,0+2,5	93,0+4,0	89,0+4,5	82,0+5,5	84,0+3,5
Дисперсная фаза, мг/м³ / Dispersed phase, mg/m³	323,4+39,3	177,4+19,6	252,8+16,4	126,9+13,1	578,9+44,9	422,5+50,4	355,3+18,6	227,2+18,6
Фенолы (в пересчете на гваякол), мг/м³ / Phenols (based on guaiacol), mg/m³	49,8+5,1	15,5+1,4	30,6+2,9	19,2+2,6	55,7+4,6	35,0+1,9	36,6+2,1	24,2+3,1
Кислоты (в пересчете на уксусную кислоту), мг/м³ / Acids (in terms of acetic acid), mg/m³	209,2+22,2	62,0+6,3	106,8+9,6	69,0+8,4	205,6+20,8	96,7+14,6	124,0+5,4	100,5+12,3
Карбонильные соединения (в пересчете на фурфурол), мг/м³ / Carbonyl compounds (based on furfural), mg/m³	85,1+11,8	48,4+5,3	71,7+5,1	39,8+5,2	139,3+12,8	55,7+6,2	84,3+6,6	54,6+6,1

Для эффективного улавливания дымовых частиц наиболее приемлемыми являются высокоскоростные турбулентные скрубберы Вентури, которые отличаются простотой изготовления и небольшими габаритами по сравнению с другими высокоэффективными очистными аппаратами (рисунок 1).

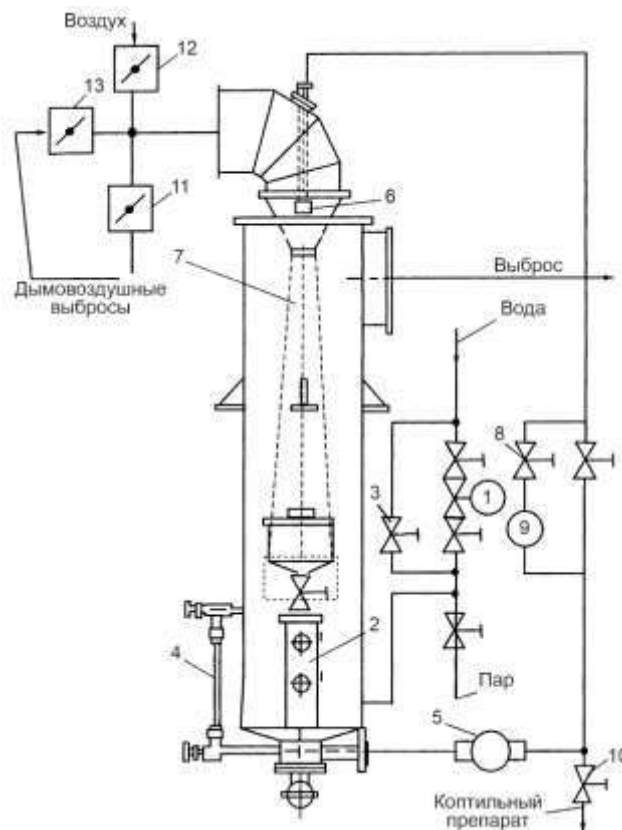


Рисунок 1 – Установка типа скруббера Вентури для получения копильного препарата:
1,9 – расходомеры; 2 – уровнемер; 3, 8, 14 – вентили; 4 – мерная трубка; 5 – насос рециркуляции;
6 – форсунка; 7 – труба Вентури; 11, 12, 13 – патрубки подачи дыма и воздуха

Figure 1 – Venturi scrubber type installation for obtaining smoke preparation: 1,9 – flow meters;
2 – level gauge; 3, 8, 14 – valves; 4 – measuring tube; 5 – recirculation pump; 6 – nozzle; 7 – Venturi tube;
11, 12, 13 – smoke and air supply pipes

Результаты и обсуждение. Опытные партии копильного препарата «ВНИРО» изготавливали в копильной камере Н20-ИК2А конструкции ОПРК им. Кирова (Эстония). В работе использовались дымовые выбросы камер холодного и горячего копчения. В настоящее время для очистки дымовых выбросов копильных камер в основном используется оборудование, предназначенное для улавливания компонентов дыма: сорберы различных типов, предназначенные для улавливания определенных компонентов из газовой среды. Для получения копильного препарата из дымовых выбросов копильных камер наиболее подходят абсорбционные установки, так как в случае использования чистой воды в качестве сорбента дымовых выбросов можно получить копильный препарат. Установку подобного типа можно рекомендовать для получения копильного препарата из дымовых выбросов копильных камер. Опытная установка типа скруббера Вентури для получения копильного препарата «ВНИРО» из дымовых выбросов копильных камер работает следующим образом. Предварительно резервуар заполняется водой. Затем включают вентилятор и дымовые выбросы подаются в трубу Вентури. Одновременно в трубу рециркуляционным насосом через форсунку подается орошающая вода, которая тонко распыляется высокоскоростным потоком дыма. Копильные компоненты улавливаются в результате инерционного соударения капель воды с компонентами дыма. Отделение капель воды с уловленными компонентами дыма происходит в нижней части трубы Вентури инерционным способом, при значительном снижении скорости и изменении направления движения дымоотводного потока центробежным завихрителем. После прохождения очистки, дымовые газы выбра-

сываются в атмосферу. Вода в системе циркулирует непрерывно с помощью насоса, поглощая компоненты дыма до полного насыщения. Затем этот насыщенный водный раствор дыма перекачивается в специальную емкость для дальнейшей обработки.

В течение 7-10 дней выдержки происходит укрупнение и оседание смолистых веществ, в том числе канцерогенных соединений, таких как 3,4-бензпирен. Эти осадки затем легко удаляются путем фильтрации через несколько слоев марли.

Для оценки эффективности очистки дымовых выбросов при производстве опытных партий копильного препарата «ВНИРО» проводился анализ содержания фенолов, кислот, карбонильных соединений и дисперсной фазы в пробах, отобранных до и после установки.

Основным фактором, способствующим переносу компонентов дыма в воду, является разница в их концентрации между дымовой и водной фазами. По мере увеличения содержания компонентов дыма в воде, скорость их дальнейшего поглощения снижается, что приводит к уменьшению эффективности улавливания. Процесс насыщения воды компонентами дыма может занимать один или несколько циклов копчения. В результате очистки дымовых выбросов из камер холодного и горячего копчения были получены опытные партии копильного препарата «ВНИРО». Для получения препарата из дымовых газов камеры холодного копчения достаточно одного-двух циклов, тогда как для обработки выбросов камеры горячего копчения требуется четыре-пять циклов.

Сравнительный химический состав опытных партий копильного препарата приведен в таблице 2.

Таблица 2– Сравнительный состав партий копильного препарата
Table 2 – Comparative composition of batches of smoking preparation

Показатели / Indicators	Дымовые выбросы камер / Smoke emissions from cameras	
	холодного копчения / cold smoking	горячего копчения / hot smoking
Фенолы, % / Phenols, %	0,14	0,11
Кислоты, % / Acids, %	1,45	1, 29
Карбонильные соединения, % / Carbonyl compounds, %	0,67	0,75
Остаток от испарения (при 105°C), % / Residue after evaporation (at 105°C), %	3,15	4,77
3,4-бенз(а)пирен, мкг/л* / 3,4-benz(a)pyrene, µg/L*	0,37	0,84
N-нитрозодиметиламин, мкг/л / N-nitrosodimethylamine, µg/L	0,09	–

*Исследования проводили в НИИ онкологии им. Петрова (Санкт-Петербург).

*The research was conducted at the Institute of Oncology named after Petrov (Saint Petersburg).

Проведенные исследования позволили установить, что дымовые газы, образующиеся при холодном и горячем копчении, пригодны для производства рафинированных копильных препаратов. Экспериментальные партии рыбной продукции, изготовленные с использованием копильного препарата «ВНИРО», подтвердили возможность получения безопасных продуктов, не содержащих канцерогенов и отвечающих действующим стандартам.

Экологическое управление в копильном производстве: современные подходы и вызовы.

Для обеспечения экологической безопасности в копильном производстве, как и в других отраслях промышленности, в развитых странах внедрены международные стандарты серии ISO 14000, позволяющие предприятиям создавать эффективные системы управления окружающей средой. В России также применяются эти стандарты, которые помогают интегрировать экологические аспекты во все производственные процессы и осуществлять их постоянный мониторинг.

С начала XXI века Россия активно работает над повышением эффективности использования ресурсов и созданием законодательной базы для охраны природы. Ключевым шагом стало внедрение технологического нормирования, основанного на применении наилучших доступных технологий (НДТ). Этот подход способствует повышению энергоэффективности, улучшению экологических показателей и налаживанию взаимодействия между всеми участниками производственного процесса.

Технологическое развитие – двигатель экономики, однако устаревшая технологическая база российских предприятий снижает их конкурентоспособность на мировом рынке, особенно в части воздействия на окружающую среду. Поэтому переход на НДТ, опираясь на опыт развитых стран, приобретает все большее значение.

Современные тенденции, направленные на инновационное развитие и улучшение экологических показателей, требуют активного участия государства в регулировании природоохранной деятельности. «Зеленое» развитие стало не просто модным трендом, а необходимостью для обеспечения стабильной экономики и благополучия населения.

Несмотря на эти усилия, существует проблема недостаточного контроля за производственными выбросами и неправильного обращения с отходами. Даже самые совершенные экологические нормы не принесут пользы без эффективной системы контроля.

Для получения комплексного экологического разрешения предприятиям необходимо подтвердить соответствие своих технологических процессов установленным требованиям. Это, в свою очередь, требует наличия на предприятии сертификационной системы экологического менеджмента. Если такой системы нет, ее создание потребует значительных временных и финансовых затрат.

В настоящее время российские предприятия, стремящиеся продемонстрировать свою социальную ответственность и заботу об окружающей среде, разрабатывают и декларируют собственную экологическую политику. Этот документ определяет экологические принципы, обязательства и основные направления деятельности предприятия в области охраны природы.

Принципы и направления деятельности, наиболее часто используемые промышленными предприятиями при разработке ими экологической политики, включают:

- **Минимизация образования отходов:** акцент делается на сокращении объемов образующихся отходов на всех стадиях производственного цикла – от выбора сырья до упаковки готовой продукции. Это может включать оптимизацию технологических процессов, внедрение систем оборотного водоснабжения и повторного использования материалов.

- **Снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу:** особое внимание уделяется контролю и сокращению выбросов от копильных установок, вентиляционных систем и другого оборудования. Применяются современные фильтры, скрубберы и другие очистные сооружения, а также переход на более экологичные виды топлива или технологии.

- **Рациональное использование водных ресурсов:** внедряются технологии, направленные на снижение потребления воды, очистку сточных вод до нормативных показателей перед сбросом или их повторное использование в производственных процессах.

- **Энергоэффективность:** повышение эффективности использования энергии на всех этапах производства, включая модернизацию оборудования, оптимизацию режимов работы и использование энергосберегающих технологий.

- **Экологически безопасное обращение с опасными отходами:** разработка и строгое соблюдение процедур сбора, хранения, транспортировки и утилизации опасных отходов, образующихся в процессе производства, в соответствии с действующим законодательством.

- **Использование экологически чистых материалов и сырья:** по возможности предпочтение отдается поставщикам, использующим экологически безопасные материалы, а также сырью, произведенному с минимальным воздействием на окружающую среду.

- **Обучение и повышение осведомленности персонала:** регулярное проведение тренингов и информационных кампаний для сотрудников по вопросам экологической безопасности, правилам обращения с отходами и соблюдения экологических норм.

- **Постоянное совершенствование экологических показателей:** внедрение системы постоянного мониторинга и анализа экологических показателей предприятия с целью выявления возможностей для дальнейшего улучшения и достижения более высоких экологических стандартов.

- **Открытость и информирование общественности:** предоставление информации о своей экологической деятельности заинтересованным сторонам, включая общественность, государственные органы и партнеров.

Эти принципы, интегрированные в общую систему экологического менеджмента, позволяют предприятиям, используемым копчение, не только соответствовать законодательным требованиям, но и активно способствовать устойчивому развитию отрасли и сохранению окружающей среды для будущих поколений.

Трудности внедрения наилучших доступных технологий (НДТ) в России.

Внедрение НДТ в России сталкивается с рядом препятствий. Для успешного применения этих передовых технологий необходимо наличие отечественного производства современного оборудования. НДТ подразумевают использование инновационных решений, которые не только способствуют экономическому развитию, но и положительно влияют на состояние окружающей среды.

Ключевые факторы, замедляющие этот процесс в России, включают:

- **Преобладание сырьевой направленности экономики:** экономика страны по-прежнему сильно зависит от добычи и экспорта сырья.
- **Высокая ресурсоемкость производства:** промышленные процессы потребляют большое количество природных ресурсов.
- **Отсутствие существенных структурных изменений:** не происходит заметного сокращения доли экологически вредных отраслей.
- **Изношенность основных фондов:** значительная часть промышленного оборудования устарела как физически, так и морально, с показателями износа от 60 % до 80 % в различных секторах.
- **Отставание от развитых стран:** российская экономика в целом уступает экономикам развитых государств.

Для эффективного применения НДТ на предприятиях требуется наличие действующей системы экологического менеджмента. В развитых странах этот подход доказал свою результативность. Однако в России пока не созданы условия, способствующие его широкому распространению и развитию.

Одним из новых требований при внедрении НДТ является установка на предприятиях автоматизированных систем для контроля и измерения выбросов и сбросов. Это критически важный аспект, но стоит отметить, что ранее в России такие системы не были обязательными. Возникает закономерный вопрос: кто должен финансировать создание таких систем автоматического контроля – сами предприятия или государство? Логично предположить, что это задача государства, поскольку контроль является его функцией. Тем не менее, у соответствующих государственных органов существует долгосрочная программа по реализации подобных мероприятий, предусматривающая выделение необходимых средств. Требовать от предприятий создания систем оперативного мониторинга в одиночку, по меньшей мере, нецелесообразно.

Кроме того, остается неясным вопрос о том, как предприятия смогут наладить работу таких систем мониторинга. В частности, не определено, возможно ли обеспечить эти системы дистанционным сбором данных и доступностью отечественных измерительных приборов в необходимом количестве.

Кроме того, есть еще несколько замечаний, которые тормозят внедрение НДТ в России:

- повсеместное внедрение на производственных объектах экологического менеджмента на предприятиях, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду и включаемых в сферу действия принципа НДТ;
- наличие контроля за соблюдением экологических нормативов посредством организации на предприятии системы экологического мониторинга, позволяющего оперативно получать информацию о загрязнении окружающей среды;
- наличие работающих механизмов стимулирования реального перехода на инновационные технологии;
- широкое распространение ресурсосберегающих технологий;
- увязка экономических, экологических и социальных интересов, как одной из целей проводимой экологической политики;
- наличие положительных результатов в повышении качества окружающей среды как основного результата управления в экологической сфере.

Перечисленные требования в российской практике выполняются частично. Поэтому возникают серьезные сомнения относительно продуманности, своевременности и достаточности подготовительного срока для внедрения принципа НДТ в современных российских реалиях.

Таким образом, путь, выбранный Россией для перехода на принципы НДТ, включают в себе риск не достигнуть поставленных целей и задач.

Заключение. Переход на принципы НДТ потребует пересмотреть работу всей копильной отрасли. Прежде всего, необходимо широкое использование копильного оборудования небольшой производительности (до 1000 кг по сырью), в котором предусмотрена порционная подача дымовоздушной смеси в установку и максимальное использование копильных компонентов в процессе копчения путем их многократной рециркуляции. Необходимо модернизировать существующие методы копчения и нарастить выпуск продукции, подвергнутой легкому копчению и вялению, с пониженным содержанием копильных веществ. В последнее время малые и кооперативные предприятия активно развивают производство слабокопченых продуктов с низким содержанием соли, предлагая их в мелкой упаковке. Для снижения вредного воздействия на окружающую среду, копильные установки должны быть оснащены системами очистки дымовых газов. В целом, копильные производства не являются источниками существенного экологического ущерба, поскольку доля негативных выбросов в атмосферу значительно ниже 0,1 % суммарной массы промышленных воздушных выбросов России. В тоже время, проблемы данного производства требуют к себе повышенного внимания, поскольку создают локальные очаги экологической напряженности. Наличие канцерогенных, токсических и неприятно пахнущих веществ в копильном производстве делает необходимым их обезвреживание. Проведенные исследования показали, что экологическая ситуация улучшилась более чем на порядок.

Conclusions. The transition to BAT principles will require revising the operation of the entire smoking industry. First of all, it is necessary to widely adopt low-capacity smoking equipment (up to 1000 kg of raw material), which provides portioned supply of the smoke-air mixture and maximum utilization of smoking components through their repeated recirculation during smoking. Traditional smoking technologies should also be improved, and the production of lightly smoked and smoked-dried products with a significantly lower content of smoking components should be increased. In recent years, small and joint enterprises have sharply increased the output of lightly smoked, low-salt products sold in small packages. In addition, smoking chambers need to be retrofitted with gas-cleaning units for treating smoke emissions, which will reduce their negative impact by an order of magnitude. Strictly speaking, smoking facilities cannot be classified as enterprises causing significant harm to the environment and, ultimately, public health, since their share of atmospheric emissions is well below 0.1 % of the total mass of industrial air emissions in Russia. At the same time, the problems of this production require increased attention because they create local hotspots of environmental tension. The presence of carcinogenic, toxic, and unpleasant-smelling substances in smoking production makes their neutralization necessary. The conducted studies showed that the environmental situation improved by more than an order of magnitude.

Библиографический список

1. Мишуров Н. П., Неменуцкая Л. А., Коноваленко Л. Ю., Кузин А. А., Гиро Т. М., Донченко Л. В., Масловский Л. А. Состояние производства технологического оборудования, рекомендуемого для эксплуатации в случае применения наилучших доступных технологий в пищевой и перерабатывающей отраслях агропромышленного комплекса. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. 128 с.
2. Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года. <http://www.kremlin.ru/events/president/news/15177>
3. Ким И. Н. Экологическая политика копильных предприятий как инструмент для формирования наилучших доступных технологий. Контроль качества продукции. 2025. № 4. Часть 1. С. 46-51.
4. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Slaughterhouses, Animal By-products and Edible Co-products Industries. <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2021-06/SA-BREF-20210629.pdf>
5. Убой животных на мясокомбинатах, мясохладобойнях, побочные продукты животноводства: проект информационно-технического справочника НДТ ИТС-43-2023. <https://burondt.ru/trg/2023/1939/info>
6. Селунский В. В., Ткачев А. Н., Чуринов В. Ю. Совершенствование установки электростатического копчения с целью улучшения качества рыбы холодного копчения. Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 3 (75). С. 61-69.
7. Ким Э. Н., Сластен С. С. Обоснование системы управления процесса копчения рыбы на основе оценки ее готовности. Наука и бизнес: пути развития. 2022. № 10 (136). С. 104-108.
8. Наземнов А. Ю., Данилова Л. В. Анализ современных технологий копчения в пищевом производстве. Пищевая инженерия, экспертиза и безопасность продукции АПК: инновационные решения и перспективы развития: сборник научных трудов конференции. Москва, 2024. С. 58-62.
9. О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон от 21.07.2014 г. № 219-ФЗ. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_165823
10. Shokin G. O., Mandryka K. S., Shushkova O. A., Antonov P. V., Shokina Yu. Experience in using the method of pulse thermal control to determine the thermal and physical characteristics of food raw materials of animal origin. International Conference on Research, Learning and Development. Los Angeles, 2020. Pp. 312-325.
11. Гиро Т. М., Пудовкин Н. А. Основные экологические проблемы на мясокомбинатах, мясохладобойнях при переработке побочных продуктов животноводства. Мясная индустрия. 2022. № 10. С. 42-44.
12. Ганенко С. В., Лукин А. А., Ганенко Д. С., Шевелёв К. М. Совершенствование конструкции фрикционного дымогенератора. Известия Дагестанского ГАУ. 2024. № 1 (21). С. 219-226.

13. Журавлев А. В., Сухарев И. Н., Рябенко Л. А., Мироненко Д. А., Анищева В. Ю., Соколова О. А. Интенсификация процесса копчения для получения продуктов с развитой структурой и внутренней подачей дыма. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2023. № 2. С. 173-177.

14. Селунский В. В., Ткачев А. Н., Чуринов В. Ю. Повышение эффективности работы электростатической копильной установки. Вестник НГИЭИ. 2023. № 10 (149). С. 54-66.

References

1. Mishurov N. P., Nemenushaya L. A., Konovalenko L. Yu., Kuzin A. A., Giro T. M., Donchenko L. V., Maslovsky L. A. State of Production of Technological Equipment Recommended for Operation in the Case of Using the Best Available Technologies in the Food and Processing Industries of the Agro-Industrial Complex. M.: "Rosinform Agrotech", 2023. 128 p.

2. Fundamentals of State Policy in the Field of Environmental Development of the Russian Federation for the Period up to 2030. <http://www.kremlin.ru/events/president/news/15177>

3. Kim I. N. Environmental Policy of Smoking Enterprises as a Tool for Forming the Best Available Technologies. Product Quality Control. 2025. No. 4. Part 1. Pp. 46-51.

4. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Slaughterhouses, Animal By-products and Edible Co-products Industries. <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2021-06/SA-BREF-20210629.pdf>

5. Slaughter of animals at meat processing plants, meat cold storage facilities, and by-products of animal husbandry: draft information and technical reference book NDT ITS-43-2023. <https://burondt.ru/trg/2023/1939/info>.

6. Selunskiy V. V., Tkachev A. N., Churin V. Yu. Improving the electrostatic smoking unit to improve the quality of cold-smoked fish. Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy. 2023. No. 3 (75). Pp. 61-69.

7. Kim E. N., Slatten S. S. Justification of the fish smoking process management system based on its readiness assessment. Science and business: development paths. 2022. No. 10 (136). Pp. 104-108.

8. Nazemnov A. Yu., Danilova L. V. Analysis of modern smoking technologies in food production. Food engineering, examination and safety of agricultural products: innovative solutions and development prospects: collection of scientific papers of the conference dedicated to the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences. Moscow, 2024. Pp. 58-62.

9. On Amendments to the Federal Law "On Environmental Protection" and Certain Legislative Acts of the Russian Federation": Federal Law No. 219-FZ dated July 21, 2014. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_165823

10. Shokin G. O., Mandryka K. S., Shushkova O. A., Antonov P. V., Shokina Yu. Experiment in using the method of pulse thermal control to determine the thermal and physical characteristics of food raw materials of animal origin. International Conference on Research, Learning and Development. Los Angeles, 2020. Pp. 312-325.

11. Giro T. M., Pudovkin N. A. Main environmental problems at meat-packing plants and slaughterhouses during the processing of livestock by-products. Meat Industry. 2022. No. 10. Pp. 42-44.

12. Ganenko S. V., Lukin A. A., Ganenko D. S., Shevelev K. M. Improving the Design of a Friction Smoke Generator. Bulletin of the Dagestan State Agrarian University. 2024. No. 1 (21). Pp. 219-226.

13. Zhuravlev A. V., Sukharev I. N., Ryabenko L. A., Mironenko D. A., Anishcheva V. Yu., Sokolova O. A. Intensification of the Smoking Process to Obtain Products with Developed Structure and Internal Smoke Supply. Technologies of the Food and Processing Industry of the AIC – Healthy Food Products. 2023. No. 2. Pp. 173-177.

14. Selunsky V. V., Tkachev A. N., Churin V. Yu. Improving the efficiency of an electrostatic smoking unit. NGIEI Bulletin. 2023. No. 10 (149). Pp. 54-66.

Информация об авторах

Ким Игорь Николаевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению АПК (Росинформагротех)» (Российская Федерация, 141261, Московская область, ул. Лесная, 60), e-mail: in.rim@rosinformagrotech.ru

Давыдов Александр Александрович, научный сотрудник, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению АПК (Росинформагротех)» (Российская Федерация, 141261, Московская область, ул. Лесная, 60), e-mail: i@davydov-1.ru

Гиро Татьяна Михайловна, доктор технических наук, профессор, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), <https://orcid.org/0000-0003-3039-1324>, e-mail: girotm.57@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

Kim Igor Nikolaevich, Candidate of Engineering Sciences, Leading Researcher, Russian Research Institute of Information and Techno-Economic Studies on Engineering and Technical Support for the Agro-Industrial Complex (Rosinformagrotech) (Russian Federation, 141261, Moscow Region, Pushkinsky Urban District, Pravdinsky Settlement, Lesnaya St., 60), e-mail: in.rim@rosinformagrotech.ru

Davydov Aleksandr Aleksandrovich, Researcher, Russian Research Institute of Information and Techno-Economic Studies on Engineering and Technical Support for the Agro-Industrial Complex (Rosinformagrotech) (Russian Federation, 141261, Moscow Region, Pushkinsky Urban District, Pravdinsky Settlement, Lesnaya St., 60), e-mail: i@davydov-1.ru

Giro Tatiana Mikhailovna, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovskogo St., 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3039-1324>, e-mail: girotm.57@yandex.ru

Slozenkina Marina Ivanovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovskogo St., 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9542-5893>, e-mail: niimmp@mail.ru

THE STUDY OF THE CORN STARCH HYDROLYZATES EFFECT ON THE FERMENTED MILK-AND-GRAIN PRODUCTS' TECHNOLOGICAL PROPERTIES¹Serova O. P., ¹Doi A. I., ¹Bozhkova S. E., ^{1,2}Slozhenkina M. I., ²Vorontsova E. S., ²Durdyev A. K.¹Volgograd State Technical University
Volgograd, Russian Federation²Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: niimmp@mail.ru

Received 15.02.2026

Submitted 26.03.2026

*The work was carried out according to State Order No. 125030603224-4.***Abstract**

Introduction. The relevance of the development of fermented porridge is confirmed by the growing demand of consumers in this food segment. Today, consumers are well-informed about the benefits of the new generation of functional dairy products of the symbiotic class: mixed-composition products that optimally combine probiotics (bifido- and lactoflora) with prebiotics, and they are ready to purchase them. Replacing sugar with natural sweeteners in milk porridges allows us to recommend these products for people with sugar-related diseases, helps to achieve a certain product texture, extend the shelf life, and improve the organoleptic characteristics. **The objects** of the study are a complex food additive and samples of fermented porridge. **Materials and methods.** The research was conducted at the Department of Food Production Technology at Volgograd State Technical University. Standard and generally accepted research methods were used in the work. The organoleptic characteristics of the sample (taste and smell, consistency, and color) were determined visually and organoleptically in accordance with GOST R ISO 22935.2. **Results and conclusion.** It has been established that a complex food additive containing maltodextrin as a carrier, isomaltooligosaccharide as a source of dietary fiber and a sugar substitute, a dry plant-based cream substitute for imparting a creamy taste and simulating fat, and ascorbic acid as an antioxidant, promotes the intensification of lactic acid fermentation processes, improves organoleptic characteristics, enhances the symbiotic effect, and ensures microbiological stability.

Keywords: fermented food products, dairy-grain products, fermented porridge, corn starch hydrolysates, maltodextrin, and dry glucose syrup.

Citation. Serova O. P., Doi A. I., Bozhkova S. E., Slozhenkina M. I., Vorontsova E. S., Durdyev A. K. The study of the corn starch hydrolysates effect on the fermented milk-and-grain products' technological properties. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 2(86). 644-655 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-71.

Authors' contribution. All the authors of the study contributed directly to its planning, implementation, and analysis of the results, and they agreed and approved the final version.

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

УДК 637.1+664.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРОЛИЗАТОВ КУКУРУЗНОГО КРАХМАЛА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФЕРМЕНТИРОВАННОГО МОЛОЧНО-ЗЕРНОВОГО ПРОДУКТА¹Серова О. П., кандидат биологических наук, доцент¹Дой А. И., соискатель¹Божкова С. Е., кандидат биологических наук, доцент^{1,2}Сложеникина М. И., член-корреспондент РАН, доктор биологических наук²Воронцова Е. С., кандидат биологических наук, старший научный сотрудник²Дурдыев А. К., аспирант¹ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет²ФГБОУ ВО «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции»
г. Волгоград, Российская Федерация*Работа выполнена по Государственному заданию № 125030603224-4.*

Актуальность. Актуальность разработки ферментированной каши подтверждается растущим спросом потребителей в данном сегменте продуктов питания. Сегодня потребитель достаточно хорошо информирован о пользе функциональных молочных продуктов нового поколения симбиоти-

ческого класса: продуктов смешанного состава, оптимально полезно сочетающих пробиотики (бифидо- и лактофлора) с пребиотиками, и готов их покупать. Замена сахара натуральными подсластителями в составе молочных каш позволяет рекомендовать данные продукты для людей с заболеваниями, связанными с потреблением сахара, помогает достичь определенной текстуры продукта, продлить срок хранения и улучшить органолептические характеристики. **Объектами** исследований выступают комплексная пищевая добавка и образцы ферментированной каши. **Материалы и методы.** Исследования проводились на кафедре «Технология пищевых производств» Волгоградского государственного технического университета. При выполнении работы использованы стандартные и общепринятые методы исследований. Органолептические показатели исследуемого образца (вкус и запах, консистенция, цвет) определяли визуально, органолептически по ГОСТ Р ИСО 22935.2. **Результаты и выводы.** Установлено, что комплексная пищевая добавка, включающая мальтодекстрин в качестве носителя, изомальтоолигосахарид в качестве источника пищевых волокон и сахарозаменителя, заменитель сливок сухой на растительной основе для придания сливочного вкуса и имитации жира, аскорбиновую кислоту в качестве антиокислителя, способствует интенсификации процессов молочнокислого брожения, улучшению органолептических характеристик, повышению симбиотического эффекта и обеспечению микробиологической стабильности.

Ключевые слова: ферментированные пищевые продукты, молочно-зерновые продукты, ферментированная каша, гидролизаты кукурузного крахмала, мальтодекстрин, сухой глюкозный сироп.

Цитирование. Серова О. П., Дой А. И., Божкова С. Е., Сложенкина М. И., Воронцова Е. С., Дурдыев А. К. Исследование влияния гидролизатов кукурузного крахмала на технологические свойства ферментированного молочно-зернового продукта. *Известия НВ АУК.* 2026. 2(86). 644-655. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-02-71.

Авторский вклад. Все авторы исследования внесли непосредственный вклад в его планирование, реализацию, анализ результатов, согласовали и утвердили окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Современное состояние рынка ферментированных каш в России характеризуется динамичным ростом в рамках более широкого сегмента готовой еды и каш быстрого приготовления, что обусловлено изменением потребительских предпочтений, урбанизацией и трендом на здоровое питание. Нишевый сегмент ферментированных каш органично вписывается в общую динамику рынка готовой еды, который в 2025 году показал рекордные темпы развития. По достоверным данным, оборот категории в 2022 году вырос и оценивается в 2,8 млрд долларов США, к 2032 году ожидается, что объем мирового рынка достигнет 7,3 млрд долларов США при совокупном среднегодовом приросте порядка 10,3 % по сравнению с 2023 годом [1]. Каша в целом заняла второе место по приросту после напитков и суши, увеличившись на 43 % благодаря популярности быстрых, удобных завтраков с функциональными добавками. Ферментированные варианты, оцениваемые в 5-10 % от общего объема каш, получают импульс от спроса на продукты с пробиотическим эффектом, где ферментация не только улучшает вкус и текстуру, но и повышает биодоступность нутриентов [2]. Создание и коммерциализация растительных заменителей молочных продуктов, в том числе ферментированных с применением пробиотических культур, являются одним из ключевых векторов развития современной пищевой промышленности [3]. Комбинированные продукты на молочно-растительной основе формируют один из наиболее динамично развивающихся сегментов отечественного рынка. К этой категории относятся как структурированные системы, так и продукты, ферментированные с применением пробиотических микроорганизмов [4]. Возрастающий интерес исследователей к созданию функциональных продуктов питания подтверждается анализом научной литературы. Особое внимание уделяется кисломолочной продукции функциональной направленности и ее растительным аналогам, которые сочетают питательную функцию с профилактическим потенциалом [5]. Дополнительное введение растительных компонентов способствует обогащению продуктов витаминами, минеральными веществами и биоактивными соединениями [6].

Одним из приоритетных векторов инновационного развития молочной отрасли выступает включение в рецептуру функциональных растительных компонентов, частично замещающих основное сырье. Данный подход решает сразу две ключевые задачи: с одной стороны, он позволяет сдерживать рост себестоимости готовой продукции в условиях волатильности цен на молоко сырье, с другой – существенно улучшает пищевую ценность за

счет внесения недостающих в рацион современного человека пищевых волокон, витаминов и минеральных веществ. Сохранение привычных для потребителя органолептических и технологических характеристик при частичной замене молока требует тщательного научного обоснования. Ключевым фактором успеха становится подбор как типа растительного сырья, так и его оптимальной дозировки, позволяющей нивелировать возможные негативные эффекты и сохранить качество продукта на высоком уровне [7, 8].

В последние годы особую актуальность приобретает разработка комбинированных молочных продуктов с частичной заменой животного белка растительными компонентами. Такой подход позволяет целенаправленно корректировать пищевой профиль готовых изделий, обогащая их дефицитными нутриентами. В качестве перспективного источника белка рассматривается нут – зернобобовая культура, характеризующаяся высокой адаптивностью к различным агроклиматическим условиям и уникальным комплексом биологически активных веществ, считается перспективным источником растительного белка. Содержание белка в семенах нута колеблется от 20,1 % до 32,4 %, что ниже, чем в соевых бобах и горохе, но превосходит многие другие бобовые культуры по аминокислотному составу, содержанию незаменимых аминокислот, а также по усвояемости белка [9]. Особого внимания заслуживает способность нута к аккумуляции селена: его содержание достигает 600 мкг/кг, а микроэлемент присутствует в основном в виде селен-метионина, биодоступность которого в 5-10 раз выше, чем у неорганических соединений селена [10]. Одним из эффективных методов подготовки растительного сырья к использованию в пищевых технологиях является экструзия, относящаяся к категории ресурсосберегающих и экологически безопасных процессов. В результате экструзионной обработки (при температуре 160 °С и давлении 50 атм.) структура сырья претерпевает глубокие изменения. Белки подвергаются денатурации, что приводит к разрыву вторичных связей, повышая биодоступность питательных веществ и улучшая их протеолитическую усвояемость. Кроме того, экструзия помогает оптимизировать органолептические характеристики продукта за счет снижения интенсивности специфического аромата, присущего бобовым. Важным преимуществом экструзионной обработки является инактивация антипитательных факторов, присутствующих в сырых зернах бобовых, а также разрушение олигосахаридов (стахиозы, вербаскозы и рафинозы), ответственных за развитие метеоризма. Это повышает переносимость продукта в желудочно-кишечном тракте и расширяет его потенциал для использования в специализированном питании. Экструдированный нут обладает выраженным структурообразующим потенциалом в пищевых системах. Влагоудерживающая способность достигает 340-380 % от собственного веса, что обеспечивает стабильную консистенцию кисломолочных продуктов без разделения даже при хранении. Механизм стабилизации структуры комбинированных молочных продуктов с использованием экструдата нута основан на формировании трехмерной матрицы, образованной белками и желатинизированным крахмалом. Эта матрица эффективно стабилизирует молочную фазу, предотвращая синерезис. В ферментированных системах наблюдается синергетический эффект: экструдат нута усиливает гелеобразование за счет взаимодействия с экзополисахаридами, продуцируемыми молочнокислыми микроорганизмами [11, 12]. Совокупность представленных данных позволяет заключить, что экструдированный нут превосходит традиционное зерновое сырье по показателям белкового профиля, влагоудерживающей способности и стабилизирующих свойств. Это обуславливает перспективность его использования в качестве компонента зерновой основы ферментированных молочных продуктов, обеспечивающего высокие потребительские и функциональные характеристики готовых изделий.

Актуальность использования экстракта женьшеня в молочных продуктах обусловлена возможностью создания функциональных продуктов питания с повышенной антиоксидантной активностью и доказанными нейрорегуляторными эффектами. Молочная матрица выступает эффективным носителем для переноса биологически активных соединений женьшеня, при этом молочнокислые микроорганизмы способствуют биоконверсии основных гинзенозидов в более биодоступные минорные формы [13, 14].

Экстракт корня женьшеня представляет собой высококонцентрированный источник биологически активных соединений, среди которых ключевую роль играют тритерпеновые сапонины (гинзенозиды Rg1, Rb1, Re, Rd), полисахариды, пептиды, фенольные соединения, витамины группы В и микроэлементы (селен, цинк, германий). Технологические свойства экстракта такие как термическая стабильность, pH-стабильность в диапазоне 3,8-6,5,

высокая водорастворимость и совместимость с молочной микрофлорой обуславливают перспективность его использования в составе функциональных продуктов, включая ферментированные молочные системы. Таким образом, комбинирование экстракта женьшеня с молочной основой открывает новые горизонты расширения ассортимента продуктов профилактической направленности, сочетающих нутритивную ценность молока с адаптогенными и иммуномодулирующими свойствами растительного компонента.

В молочной отрасли комплексные пищевые добавки из гидролизатов кукурузного крахмала зарекомендовали себя как эффективные регуляторы структуры. Они выполняют функции загустителей и стабилизаторов, улучшают текстуру кисломолочных продуктов, повышают влагоудерживающую способность, предотвращая расслоение, а также используются в качестве миметиков жира в низкожирных продуктах. Комплексная пищевая добавка, предназначенная для ферментированных каш, является многокомпонентной системой, характеризующейся сбалансированным составом и четким функциональным распределением каждого ингредиента. Нами была разработана комплексная пищевая добавка [Заявка на изобретение РФ № 2025116232/10(038191) Ферментированная каша // дата регистрации 26.02.2026 г.]. Рецепт включает три основных ингредиента производства ООО «Нью-Био» (Волгоградская область): мальтодекстрин, изомальтоолигосахарид, заменитель сливок сухой на растительной основе. В качестве носителя используется мальтодекстрин, изомальтоолигосахарид выступает в качестве источника пищевых волокон и сахарозаменителя, заменитель сливок сухой на растительной основе является имитатором жира и придает сливочный вкус. Данная композиция способствует интенсификации процессов молочнокислого брожения, улучшению органолептических характеристик, повышению симбиотического эффекта и обеспечению микробиологической стабильности. В качестве вспомогательного компонента используется аскорбиновая кислота, которая выступает в качестве регулятора кислотности, что особенно важно при производстве ферментированных продуктов.

Оптимизация сложных рецептов, предполагающая поиск сбалансированного решения между долей компонентов и показателями качества, наиболее эффективно реализуется путем математического моделирования. Для разработки рецептуры комплексной пищевой добавки использовалась математическая модель, основанная на линейном программировании. Моделирование проводилось с учетом ограничений по коэффициенту сладости, содержанию жира, белка, пищевых волокон и антиоксидантной активности, а также органолептических характеристик. В основе расчетов лежат линейные уравнения и неравенства, которые учитывают количество каждого компонента и его вклад в общий состав. Исходя из вышеизложенного, математическое моделирование можно рассматривать как эффективный инструмент формирования рецептов сложных пищевых систем с заданными свойствами.

Целью работы являлось исследование влияния гидролизатов кукурузного крахмала в составе комплексной пищевой добавки, полученной путем математического моделирования, на технологические свойства ферментированной каши.

Материалы и методы. Исследования проводились на кафедре «Технология пищевых производств» Волгоградского государственного технического университета. Объекты исследований – комплексная пищевая добавка, молоко коровье сырое, экспериментальные образцы ферментированной каши. Контрольный образец выработан путем ферментации каши на молочно-зерновой основе без использования комплексной пищевой добавки (Патент RU 2831169 С1, Российская Федерация, МПК А23L 7/143, А23С 23/00, А23L 33/00. Каша на молочно-зерновой основе / Дой А. И., Серова О. П., Божкова С. Е., Анопко А. А., Храмова В. Н.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»).

Внесение экстракта женьшеня на стадии охлаждения позволяет сократить потери, а также в полной мере сохранить полезные свойства данного компонента.

При выполнении работы использованы стандартные и общепринятые методы исследований. Органолептические показатели исследуемого образца (вкус и запах, консистенция, цвет) определяли визуально, органолептически по ГОСТ Р ИСО 22935.2. Органолептические показатели оценивались по 5-балльной шкале, где 0 – признак отсутствует; 1 – только узнаваемый или ощущаемый; 2 – довольно четкая интенсивность; 3 – умеренная интенсивность; 4 – сильная интенсивность; 5 – очень сильная интенсивность.

Для оптимизации рецептуры комплексной пищевой добавки был выбран метод математического моделирования. Для построения математической модели, основанной на линейном программировании, были выявлены факторы и установлены ограничения. Моделирование проводилось с учетом ограничений по коэффициенту сладости, содержанию жира, белка, пищевых волокон и антиоксидантной активности, а также органолептических характеристик.

Результаты и обсуждение. В ходе проведения эксперимента была разработана и оптимизирована рецептура комплексной пищевой добавки методом математического моделирования, сбалансированная по основным характеристикам. В результате подбора ингредиентов и их количеств была составлена рецептура комплексной добавки, соответствующая всем заданным ограничениям по составу и органолептическим характеристикам (таблица 1).

Таблица 1 – Рецептура комплексной пищевой добавки
Table 1 – Formulation of a complex food supplement

Компонент / Component	Количество, масс. % / Quantity, wt. %
Мальтодекстрин / Maltodextrin	60,00
Изомальтоолигосахарид / Isomaltoligosaccharide	31,75
Заменитель сливок сухой на растительной основе / Dry plant-based cream substitute	8,23
Аскорбиновая кислота / Ascorbic acid	0,02

Оптимальным количеством комплексной добавки является 4,5 масс. % от массы смеси. В таблице 2 приведены основные характеристики гидролизатов кукурузного крахмала.

Таблица 2 – Основные характеристики гидролизатов кукурузного крахмала
Table 2 – Main characteristics of corn starch hydrolysates

Продукт / Product	Состав углеводов / The composition of carbohydrates	Свойства / Features
Изомальтоолигосахарид / Isomaltoligosaccharide	глюкоза – до 3 % мальтоза – до 30 % полисахариды – 67 % / glucose – up to 3 % maltose – up to 30 % polysaccharides – 67 %	сладковатый вкус, используется как подсластитель, наполнитель, структурообразователь, загуститель, антикристаллизатор, влагоудерживающий агент / sweet taste, used as a sweetener, filler, structure-forming agent, thickener, anti-crystallizer, and moisture-retaining agent
Мальтодекстрин / Maltodextrin	глюкоза – до 3 % мальтоза – до 5 % мальтотриоза – до 7 % полисахариды – 85 % / glucose – up to 3 % maltose – up to 5 % maltotriose – up to 7 % polysaccharides – 85 %	сладковатый вкус (коэффициент сладости 0,2 по отношению к сахарозе), используется как растворитель, наполнитель, антикристаллизатор, регулятор сладости / sweet taste (sweetness coefficient of 0.2 in relation to sucrose), used as a solvent, filler, anti-crystallizer, and sweetness regulator

Нами была разработана технология производства ферментированной каши. Получение ферментированной каши осуществляют согласно нижеперечисленным этапам.

Составление зерновой смеси заключается в смешении экструдата нута с овсяными хлопьями с последующей варкой в воде, при температуре 100 °С в течение 30 минут, процесс осуществляется в емкости.

Составление молочно-зерновой смеси заключается в смешении зерновой смеси с предварительно пастеризованным молоком коровьим при постоянном перемешивании до достижения однородной консистенции. В полученную молочно-зерновую смесь вносят комплексную добавку, обладающую устойчивостью к высоким температурам и способностью легко растворяться, что способствует сохранению структуры и биологической активности пищевых волокон в процессе термообработки. Затем полученную смесь варят, при температуре 100 °С в течение 10 минут до готовности.

После, полученную смесь охлаждают до температуры внесения закваски 38 ± 1 °С и в охлажденную смесь вносят закваску пробиотических культур *Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium infantis*, *Lactobacillus casei*, *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*. Далее происходит ферментация при температуре 38 °С в течение 4,5 часов.

В полученную ферментированную кашу, охлажденную до 25 °С, вносят экстракт женьшеня при постоянном перемешивании до равномерного распределения в объеме готового продукта.

Выработанная ферментированная каша шнековым насосом подается в фасовочный аппарат, где происходит упаковка в контейнеры из полипропилена. Упакованную ферментированную кашу доохлаждают в холодильной камере до температуры 4 °С и хранят до реализации.

Ферментированная каша вырабатывается в соответствии с технологической диаграммой производства (рисунок 1).

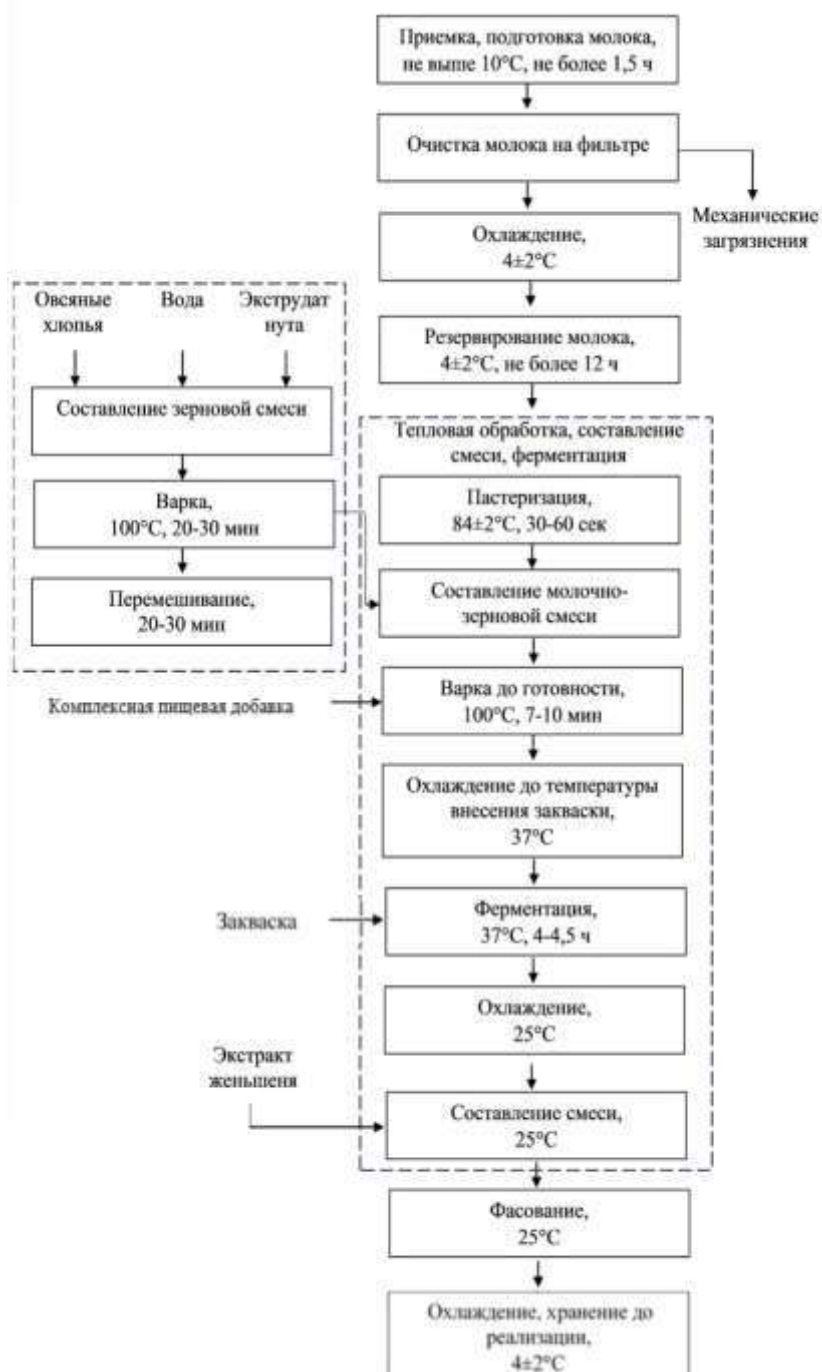


Рисунок 1 – Технологическая схема производства ферментированной каши с комплексной пищевой добавкой

Figure 1 – Technological scheme for the production of fermented porridge with a complex food additive

В ходе экспериментальных исследований было установлено оптимальное соотношение компонентов в готовом продукте, обеспечивающее наилучшие органолептические характеристики и функциональные свойства. Рецепт экспериментальных образцов представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Свод рецептов экспериментальных образцов, кг/т
Table 3 – Summary of formulations of experimental samples, kg/t

Компонент / Component	Опытный образец (разработанная ферментированная каша с комплексной пищевой добавкой) / The prototype is a developed fermented porridge with a complex food additive	Контрольный образец (ферментированная каша на молочно-зерновой основе) / The control sample is a fermented milk-and-grain porridge
Молоко коровье сырое / Raw cow's milk	507	507
Вода питьевая / Drinking water	300	300
Экструдат нута / Chickpea Extrudate	68	137
Овсяные хлопья / Oatmeal	69	53
Экстракт женьшеня / Ginseng Extract	8	-
Пробиотическая закваска / Probiotic starter culture	3	3
Комплексная пищевая добавка / Complex food additive	45	-

Оценку корректности подобранного соотношения комплексной пищевой добавки и ферментированной каши проводили путем определения органолептических и физико-химических характеристик. Контрольный и опытный образцы в первую очередь подверглись органолептической оценке. На рисунке 2 представлены экспериментальные образцы, данные органолептической оценки представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Органолептическая оценка ферментированной каши
Table 4 – Organooleptic evaluation of fermented porridge

Наименование показателя / Naming of the indicator	Характеристика / Characteristic	
	Опытный образец (разработанная ферментированная каша с комплексной пищевой добавкой) / The prototype is a developed fermented porridge with a complex food additive	Контрольный образец (ферментированная каша на молочно-зерновой основе) / The control sample is a fermented milk-and-grain porridge
Вкус и запах / Taste and smell	соответствующий овсяной каше, кисло-молочный, слегка сливочный, в меру сладкий / suitable for oatmeal, fermented milk, slightly creamy, moderately sweet	соответствующий овсяной каше, кисло-молочный / suitable for oatmeal, fermented milk
Консистенция / Consistency	вязкая, однородная, овсяные хлопья и экструдат нута набухшие, полностью разваренные / viscous, homogeneous, oat flakes and chickpea extrudate are swollen and fully cooked	маловязкая, однородная, овсяные хлопья и экструдат нута набухшие, полностью разваренные / low-viscosity, homogeneous, oat flakes and chickpea extrudate are swollen and fully cooked
Цвет / Colour	молочный с кремовым оттенком / milky with a creamy tint	молочный / milky

Готовый продукт характеризовался кисло-молочным, слегка сливочным ароматом и приятным, в меру сладким вкусом. При данном количестве комплексной добавки обеспечиваются симбиотические свойства.

Введение в рецептуру комплексной пищевой добавки в количестве 4,5 масс. % позволяет обеспечить суточный рацион человека пищевыми волокнами (до 19,2 масс. % за один прием ферментированной каши), что способствует активному росту пробиотических культур, улучшая микрофлору кишечника.



Рисунок 2 – Экспериментальные образцы ферментированной каши с комплексной пищевой добавкой на основе гидролизатов кукурузного крахмала
Figure 2 – Experimental samples of fermented porridge with a complex food additive based on corn starch hydrolysates

Пищевая ценность на 100 грамм ферментированной каши в сравнении с контрольным образцом представлена в таблице 5.

Таблица 5 – Пищевая ценность на 100 г
Table 5 – Nutritional value per 100 g

Наименование показателя / Naming of the indicator	Характеристика / Characteristic	
	Опытный образец (разработанная ферментированная каша с комплексной пищевой добавкой) / The prototype is a developed fermented porridge with a complex food additive	Контрольный образец (ферментированная каша на молочно-зерновой основе) / The control sample is a fermented milk-and-grain porridge
Белки, г/100 г / Protein, g/100 g	3,8	7,1
Жиры, г/100 г / Fat, g/100 g	2,8	8,2
Углеводы, г/100 г / Carbohydrates, g/100 g	117,1	64,2
Энергетическая ценность, кКал / Energy value, kcal	480	359

Использование экстракта корня женьшеня обеспечивает суточный рацион человека витаминами группы В (от 39,8 % до 48,5 %), что способствует нормализации энергетического обмена. Расчет функциональности готового продукта приведен в таблице 6.

Таблица 6 – Функциональность 160 грамм ферментированной каши с комплексной пищевой добавкой

Table 6 – Functionality of 160 grams of fermented porridge with a complex food additive

Нутриент / Nutrient	Суточная потребность, мг / Daily requirement, mg	Содержание в продукте, мг / Content in the product, mg	Удовлетворение суточной потребности, % / Satisfaction of the daily requirement, %	Функциональность продукта / Product functionality
Витамин B ₉ / Vitamin B ₉	0,4	0,15	37,3	+
Витамин B ₂ / Vitamin B ₂	1,8	0,82	45,5	+
Белок / Protein	76000	11414	15,02	+

Оптимизированное соотношение компонентов рецептуры обеспечивает получение ферментированной каши, характеризующейся высокой пищевой ценностью, повышенной биодоступностью и перевариваемостью белков и углеводов, сниженным содержанием антинутриентов, а также выраженными органолептическими характеристиками, включающими гармоничный вкус, аромат и текстурные свойства.

На заключительном этапе экспериментальной работы была проведена оценка качества контрольного и опытного образцов по основным физико-химическим показателям. Определяли активную кислотность (таблица 7) и динамику ее изменения в процессе ферментации (рисунок 3).



Рисунок 3 – Динамика изменения активной кислотности в процессе ферментации
Figure 3 – Dynamics of changes in active acidity during fermentation

Динамика изменения pH явно показывает, что опытный образец ферментированной каши с комплексной пищевой добавкой демонстрирует более выраженное снижение pH, особенно во второй половине ферментации. Динамика нарастания кислотности свидетельствует, что добавление гидролизатов кукурузного крахмала в составе комплексной пищевой добавки способствует развитию заквасочной микрофлоры: в опытном варианте достигается необходимое подкисление, при этом ферментация протекает равномерно и точка достижения оптимальной pH достигается быстрее. Это подтверждает технологическую совместимость выбранных гидролизатов кукурузного крахмала с пробиотическими культурами и их пребиотические свойства.

Таблица 7 – Показатели активной кислотности экспериментальных образцов
Table 7 – Indicators of active acidity of experimental samples

Образец / Sample	Активная кислотность, pH, ед. / Active acidity, pH, units
Опытный образец (разработанная ферментированная каша с комплексной пищевой добавкой) / The prototype is a developed fermented porridge with a complex food additive	5,07
Контрольный образец (ферментированная каша на молочно-зерновой основе) / The control sample is a fermented milk-and-grain porridge	5,12

Как видно из таблицы, активная кислотность контрольного образца была выше на 0,05 ед. по сравнению с опытным.

Заключение. Результаты исследований демонстрируют улучшение технологических свойств и повышение пищевой ценности каши за счет ферментации пробиотической микрофлорой и внесением гидролизатов кукурузного крахмала в составе комплексной пищевой добавки, а именно: оптимизацию технологического процесса за счет ускорения процесса ферментации; улучшение потребительских свойств за счет использования добавки и лечебно-профилактические свойства за счет внесения пре- и пробиотиков. По результатам обработки экспериментальных данных были выявлены дозировки мальтодекстрина – 60,00 масс. %; изомальтоолигосахарида – 31,75 масс. %; заменителя сливок сухого на растительной основе – 8,23 масс. %; аскорбиновой кислоты – 0,02 масс. % и комплексной пищевой добавки в составе ферментированной каши – 4,5 масс. % от массы смеси.

Составлена релевантная математическая модель, позволяющая разрабатывать сложные рецептуры продуктов с заданными свойствами. Разработана рецептура и технология производства ферментированной каши. Опытный образец ферментированной каши характеризуется улучшенными потребительскими свойствами за счет сбалансированных органолептических характеристик, интенсификацией процесса ферментации (заданная pH достигается быстрее), повышенным симбиотическим эффектом и пищевой ценностью.

Таким образом, добавление изомальтоолигосахарида как пребиотика в составе комплексных пищевых добавок способствует не только повышению биотехнологических характеристик ферментируемого продукта, но и его пробиотическим и технологическим преимуществам – улучшению текстуры, структуры и качества конечного продукта, что способствует расширению ассортимента в данном сегменте.

Conclusion. The results of the study demonstrate the improvement of technological properties and the increase in the nutritional value of the porridge due to fermentation with probiotic microflora and the addition of corn starch hydrolysates as part of a complex dietary supplement, namely: the optimization of the technological process due to the acceleration of the fermentation process; the improvement of consumer properties due to the use of the supplement and the therapeutic and preventive properties due to the addition of pre- and probiotics. Based on the results of processing the experimental data, the dosage of maltodextrin was determined to be 60.00 mass. %; isomaltoligosaccharide – 31.75 mass. %; dry plant-based cream substitute – 8.23 mass. %; ascorbic acid – 0.02 mass. % and a complex food additive in the fermented porridge – 4.5 mass. % of the mixture weight.

A relevant mathematical model has been developed to allow the development of complex formulations of products with specified properties. The formulation and technology for the production of fermented porridge have been developed. The experimental sample of fermented porridge has improved consumer properties due to balanced organoleptic characteristics, intensified fermentation process (the specified pH is reached faster), increased symbiotic effect and nutritional value.

Thus, the addition of isomaltoligosaccharide as a prebiotic in the composition of complex dietary supplements not only improves the biotechnological characteristics of the fermented product, but also provides its probiotic and technological advantages, such as improved texture, structure, and quality of the final product, which contributes to the expansion of the product range in this segment.

Библиографический список

1. Kaur H., Kaur K., Arora D. Advancing plant-based milk alternatives: Challenges, opportunities, and the role of innovative processing technologies. *Food Control*. 2025. Art. 111671.
2. Аносов Б. А. Влияние пандемии COVID-19 на потребительский рынок РФ и КНР. Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2022. Т. 15. № 6. С. 243-256.
3. Волков А. В., Григорьева И. Ф. Мировой тренд на развитие производства продукции на растительной основе как инструмент достижения Целей устойчивого развития ООН. Управление и политика. 2023. № 2 (2). С. 8-26.
4. Бояринаева И. В., Подволоцкая А. Б., Степочкина В. Д., Рочин Е. О. Новые биопродукты на молочной и растительной основах и их качественная характеристика. *Молочная промышленность*. 2023. № 6. С. 56-61.
5. Толстогузова Т. Т., Смирнова Т. Б., Темерева И. В. Оптимизация технологии производства комбинированного десертного биопродукта. *Universum: технические науки*. 2022. № 3 (96). С. 67-71.
6. Lisak Jakopović K. et al. Fortification of cow milk with *Moringa oleifera* extract: influence on physicochemical characteristics, antioxidant capacity and mineral content of yoghurt. *Fermentation*. 2022. V. 8. No 10. Art. 545.
7. Ухина Е. Ю., Сысоева М. Г., Алынина Д. Н. Новый комбинированный молочный продукт. Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. 2021. № 1 (16). С. 60-62.
8. Молибога Е. А., Завгородняя Л. М. Перспективы повышения функциональности молочносодержащих продуктов за счет использования нетрадиционного растительного сырья. Новые технологии. 2024. № 20 (3). С. 70-85.
9. Kaur R., Prasad K. Effect of malting and roasting of chickpea on functional and nutritional qualities of its protein fractions. *International Journal of Food Science and Technology*. 2022. V. 57. No 7. Pp. 3990-4000.

10. Yeasmin M. et al. Selenium accumulation and speciation in chickpea (*Cicer arietinum*) impacted by S in soils: Potential for biological fortification. *ACS Agricultural Science & Technology*. 2022. V. 2. No 1. Pp. 135-143.
11. Liu K. et al. Effects of dry heating and extrusion on physicochemical properties, in vitro digestibility and instant properties of rice, chickpea, and oat flour. *Food Bioscience*. 2025. V. 69. Art. 106929.
12. Silvestre-De-Leon R. et al. Extruded chickpea flour sequentially treated with alcalase and α -amylase produces dry instant beverage powders with enhanced yield and nutritional properties. *International Journal of Food Science and Technology*. 2021. V. 56. No 10. Pp. 5178-5189.
13. Bai J. et al. Microbial Fermentation Affects the Structure-Activity Relationship of Bioactive Compounds in Ginseng and Its Applications in Fermentation Products: A Review. *Foods*. 2025. V. 14. No 14. Art. 2473.
14. Li M. et al. Review of probiotics, gut microorganisms, and their enzymes involved in the conversion of ginsenosides. *Food Bioscience*. 2024. V. 58. Art. 103829.

References

1. Kaur H., Kaur K., Arora D. Advancing plant-based milk alternatives: Challenges, opportunities, and the role of innovative processing technologies. *Food Control*. 2025. Art. 111671.
2. Anosov B. A. The impact of the COVID-19 pandemic on the consumer market of the Russian Federation and China. Economic and social changes: facts, trends, forecast. 2022. Vol. 15. No. 6. Pp. 243-256.
3. Volkov A. V., Grigorieva I. F. Global trend towards the development of plant-based production as a tool for achieving the UN Sustainable Development Goals. *Governance and Policy*. 2023. No 2 (2). Pp. 8-26.
4. Boyarineva I. V., Podvolotskaya A. B., Stepanchikova V. D., Rochin E. O. New dairy and plant-based bioproducts and their qualitative characteristics. *Dairy Industry*. 2023. No. 6. Pp. 56-61.
5. Tolstoguzova T. T., Smirnova T. B., Temereva I. V. Optimization of the production technology of a combined dessert bioproduct. *Universum: technical sciences*. 2022. No 3 (96). Pp. 67-71.
6. Lisak Jakopović K. et al. Fortification of cow milk with *Moringa oleifera* extract: influence on physicochemical characteristics, antioxidant capacity and mineral content of yoghurt. *Fermentation*. 2022. V. 8. No 10. Art. 545.
7. Ukhina E. Yu., Sysoeva M. G., Alyinina D. N. New combined dairy product. *Technologies and merchandising of agricultural products*. 2021. No 1 (16). Pp. 60-62.
8. Moliboga E. A., Zavgorodnyaya L. M. Prospects for increasing the functionality of milk-containing products through the use of non-traditional vegetable raw materials. *New technologies*. 2024. No 20 (3). Pp. 70-85.
9. Kaur R., Prasad K. Effect of malting and roasting of chickpea on functional and nutritional qualities of its protein fractions. *International Journal of Food Science and Technology*. 2022. V. 57. No 7. Pp. 3990-4000.
10. Yeasmin M. et al. Selenium accumulation and speciation in chickpea (*Cicer arietinum*) impacted by S in soils: Potential for biological fortification. *ACS Agricultural Science & Technology*. 2022. V. 2. No 1. Pp. 135-143.
11. Liu K. et al. Effects of dry heating and extrusion on physicochemical properties, in vitro digestibility and instant properties of rice, chickpea, and oat flour. *Food Bioscience*. 2025. V. 69. Art. 106929.
12. Silvestre-De-Leon R. et al. Extruded chickpea flour sequentially treated with alcalase and α -amylase produces dry instant beverage powders with enhanced yield and nutritional properties. *International Journal of Food Science and Technology*. 2021. V. 56. No 10. Pp. 5178-5189.
13. Bai J. et al. Microbial Fermentation Affects the Structure-Activity Relationship of Bioactive Compounds in Ginseng and Its Applications in Fermentation Products: Review. *Foods*. 2025. V. 14. No 14. Art. 2473.
14. Li M. et al. Review of probiotics, gut microorganisms, and their enzymes involved in the conversion of ginsenosides. *Food Bioscience*. 2024. V. 58. Art. 103829.

Информация об авторах

Серова Ольга Петровна, кандидат биологических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), e-mail: s_vyatka@mail.ru

Дой Анастасия Игоревна, соискатель, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), e-mail: 5512anastasiya666@gmail.com

Божкова Светлана Евгеньевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), e-mail: bozhkova@mail.ru

Сложенкина Марина Ивановна, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6); профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Волгоградский технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), ORCID: 0000-0001-9542-5893, SPIN-код: 8828-3741, e-mail: niimmp@mail.ru

Воронцова Елена Сергеевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), ORCID: 0000-0002-0730-853X, e-mail: esvoronts@mail.ru

Дурдыев Александр Какаевич, аспирант, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID: 0009-0009-9031-5463, e-mail: alex.durdyev@yandex.ru

Authors' Information

Serova Olga Petrovna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, Lenin Ave., 28), e-mail: s_vyatka@mail.ru

Doi Anastasiya Igorevna, Applicant, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, Lenin Ave., 28), e-mail: 5512anastasiya666@gmail.com

Bozhkova Svetlana Evgenievna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, Lenin Ave., 28), e-mail: bozhkova@mail.ru.

Slozhenkina Marina Ivanovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher, Volga Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat-and-Dairy Products (Russian Federation 400066, Volgograd, Rokossovskiy str., 6); Professor of the Department, Volgograd Technical University (Russian Federation, Volgograd, 400005, Lenin Ave., 28), ORCID: 0000-0001-9542-5893, SPIN-код: 8828-3741, e-mail: niimmp@mail.ru

Vorontsova Elena Sergeevna, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Volga Research Institute of Meat-and-Dairy Products Production and Processing (Russian Federation 400066, Volgograd, Rokossovskiy str., 6), Senior Researcher, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskij Ave., 26), ORCID: 0000-0002-0730-853X, e-mail: esvoronts@mail.ru

Durdyev Aleksandr Kakaevich, Post-graduate Student, Researcher, Volga Research Institute of Meat and Dairy Products Production and Processing (Russian Federation 400066, Volgograd, Rokossovskiy str., 6), ORCID: 0009-0009-9031-5463, e-mail: alex.durdyev@yandex.ru

СОДЕРЖАНИЕ / ABSTRACTS

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

- Беляков А. М., Кошелев А. В., Назарова М. В.**
Особенности микробиологической деятельности светло-каштановой почвы в посевах озимой пшеницы в системе лесомелиоративного влияния
Belyakov A. M., Koshelev A. V., Nazarova M. V.
The microbiological activity features of the saline soils in the winter wheat crops in the system of the forest reclamation impact 16
- Бондаренко А. Н., Черник Д. В.**
Анализ результативности использования инсектицидов для контроля популяции колорадского жука при выращивании баклажанов
Bondarenko A. N., Chernik D. V.
The analysis of the insecticides usage effectiveness to control the Colorado beetle population when cultivating aborigine 21
- Воронина В. П., Вдовенко А. В., Кладиев А. К.**
Саванные лесные насаждения на засоленных пастбищах Республики Калмыкия
Voronina V. P., Vdovenko A. V., Kladiev A. K.
The savanna forest plantations on the Kalmykia Republic saline pastures 29
- Григорьев С. М., Карнухин В. В., Курапина Н. В.**
Оценка потребности в оросительной воде питомников плодовых, декоративных культур и винограда
Grigorov S. M., Karnjuhin V. V., Kurapina N. V.
The irrigation water needs assessment for the nurseries of fruit crops, ornamental crops and grapes 41
- Иванцова Е. А.**
Эколого-биологические особенности и лесохозяйственное значение энтомофагов листогрызущих вредителей в защитных лесных полосах степной зоны Нижнего Поволжья
Ivantsova E. A.
The ecological and biological features and the forestry significance of the leaf-growing pests entomophages in the protective forest stripes of the Lower Volga region steppe zone 52
- Мелихова Е. В., Салугин А. Н.**
Восстановление основной гидрофизической характеристики почв методом машинного обучения: сравнение с методом Косуги и моделью ван Генухтена
Melikhova E. V., Salugin A. N.
The main soils hydrophysical characteristics recovery by the machine learning: the comparison with the Kosuga method and the van Genuuten model 59
- Новиков А. А., Родин К. А., Мельник С. В., Кажгалиев А. С.**
Оценка влияния водных режимов почвы и регуляторов роста растений на содержание антоцианов в клубнях картофеля при орошении в условиях Нижнего Поволжья
Novikov A. A., Rodin K. A., Melnik S. V., Kazgaliev A. S.
The assessment of the soil water regimes and plant growth regulators influence on the potato tubers anthocyanin content within the irrigation in the Lower Volga region 67
- Петров Н. Ю., Зверева Г. Н., Подлегаева А. Г.**
Анализ современных тенденций и перспективы развития земельного фонда Волгоградской области
Petrov N. Yu., Zvereva G. N., Podlegaeva A. G.
The analysis of the Volgograd region lands fund current trends and prospects. The effect of the electric field and the biological preparation on the sunflower water consumption and yield 75
- Ряднов А. И., Шарипов Р. В., Бабакова А. С., Байкеева С. Х.**
Совершенствование технологии выращивания саженцев джугуна безлистного в засушливых условиях Астраханской области
Ryadnov A. I., Sharipov R. V., Babakova A. S., Baykeeva S. H.
The improving of the technology of leafless Calligonum seedlings growing in the Astrachan region dry conditions 84

Солонкин А. В., Гузенко А. Ю., Гузенко А. В. Изучение сортов <i>Triticum aestivum</i> L. в условиях умеренно континентального климата Самарской области Solonkin A. V., Guzenko A. Yu., Guzenko A. V. The study of the <i>Triticum aestivum</i> L. varieties in the moderately continental climate of the Samara region	96
Тойгильдин А. Л., Шарипова Р. Б., Петров М. В. Динамика атмосферной и почвенной засухи в период современного потепления климата Toigildin A. L., Sharipova R. B., Petrov M. V. The atmospheric and soil drought dynamics during the modern climate warming period	105
Фатуллаев П. У., Спиридонов А. М., Мамедов И. Б., Байрамов В. С. Селекционная оценка сортов и гибридов мягкой и твердой пшеницы в условиях континентального климата Азербайджана Fatullaev P. U., Spiridonov A. M., Mammadov I. B., Bayramov V. S. The soft and durum wheat varieties and hybrids breeding evaluation in the conditions of the continental climate of Azerbaijan	115
Айтпаева А. А., Тютюма Н. В. Адаптационный потенциал сортов озимой пшеницы в условиях аридной зоны Aitpayeva A. A., Tyutyuma N. V. The winter wheat varieties adaptive capacity in the arid zones conditions	126
Аксенов М. П., Петров Н. Ю., Петров Ю. Н., Чернявский А. Н., Горбачева А. С., Салаев Б. К., Эвиев В. А. Влияние электрического поля и биологического препарата на водопотребление и урожайность подсолнечника Aksenov M. P., Petrov N. Yu., Petrov Yu. N., Chernyavsky A. N., Gorbacheva A. S., Salaev B. K., Eviev V. A. The effect of the electric field and the biological preparation on the sunflower water consumption and yield	133
Гайдамакина Е. В., Ячmeneва Е. В. Роль сортовых особенностей ярового ячменя в формировании признака «масса 1000 зерен» в условиях Нижнего Поволжья Gaidamakina E. V., Yachmeneva E. V. The role of the spring barley varietal features in the "1000-grain weight" trait formation in the Lower Volga region conditions	141
Гиченкова О. Г., Маликова П. С., Лаптина Ю. А. Влияние брассинолида на параметры роста и клубнеобразования микрорастений картофеля в условиях in vitro Gichenkova O. G., Malikova P. S., Laptina Yu. A. The brassinolide effect on the potato micro plants parameters of growth and tuber formation in vitro conditions	148
Глазунова И. В., Карпенко Н. П., Ширяева М. А. Оценка и перспективы применения комбинированной биотехнологии производства сельскохозяйственного риса и аквакультур Glazunova I. V., Karpenko N. P., Shiryayeva M. A. The assessment and the prospects of the combined biotechnology application in the agricultural rice and aquaculture production	158
Грачева Н. В., Храмова В. Н., Картушина Ю. Н., Сиволобова Н. О. Плодородный потенциал и экологические ограничения почвоподобного материала: обоснование подбора растений для рекультивации Gracheva N. V., Khramova V. N., Kartushina Yu. N., Sivolobova N. O. The soil-like material fertility potential and environmental constraints: the plant selection justification for reclamation	168
Кулик А. К., Кулик Д. К., Сазонов В. Е., Истомин А. П. Современная оценка качества водных объектов и потенциал экологических критериев Kulik A. K., Kulik D. K., Sazonov V. E., Istomin A. P. The modern assessment of the water body quality and the potential of the environmental criteria	179

Лытов М. Н.

Способ количественной оценки антропогенного давления на сублокальном уровне мелиорированного агроландшафта

Lytov M. N.

The method for the anthropogenic pressure quantitative assessment at the reclaimed agricultural landscape sublocal level

187

Манжина С. А., Русин Л. И.

Исследование эффективности осадков сточных вод при применении в качестве удобрений в вегетационных опытах с озимой пшеницей

Manzina S. A., Rusin L. I.

The study of the wastewater sediments effectiveness when used as the fertilizers in the vegetation experiments with winter wheat

195

Петров Ю. Н., Аксенов М. П., Петров Н. Ю., Чернявский А. Н., Горбачева А. С., Салаев Б. К., Эвиев В. А.

Влияние предпосевной обработки семян подсолнечника в электрическом поле на лабораторную всхожесть

Petrov Yu. N., Aksenov M. P., Petrov N. Yu., Chernyavsky A. N., Gorbacheva A. S., Salaev B. K., Eviev V. A.

The effect of the sunflower seeds pre-sowing treatment in the electric field on the seeds laboratory germination

204

Рогачев Д. А., Рогачев А. Ф.

Системное моделирование влияния гидротермического коэффициента Селянинова на продуктивность зерновых культур с применением методов ИИ

Rogachev D. A., Rogachev A. F.

The system modeling of the Selianinov's hydrothermal coefficient effect on the productivity of grain crops using the AI methods

211

Родин К. А., Невежина А. Б., Варенова Е. А.

Оценка влияния ростовых препаратов, водного и пищевого режимов почвы на рост и развитие аэробного риса при дождевании в условия Нижнего Поволжья

Rodin K. A., Nevezhina A. B., Varenova E. A.

The evaluation of the growth stimulants, water and food regimes effect on the growth and development of the aerobic rice under sprinkling in the conditions of the Lower Volga region

219

Сапунков В., Л. Гузенко А. Ю.

Влияние подкормки микроудобрениями на урожайность и качество сортов озимой пшеницы в сухостепной зоне каштановых почв Волгоградской области

Sapunkov V. L., Guzenko A. Yu.

The effect of the micro fertilizer feeding on the winter wheat varieties yield and quality on the chestnut soils of the Volgograd region dry steppe zone

227

Сарычев А. Н., Анишко М. Ю., Акатова И. О.

Рост и развитие моркови столовой в условиях Астраханской области с применением природных регуляторов роста

Sarychev A. N., Anishko M. Yu., Akatova I. O.

The carrots growth and development in the Astrachan region terms using the natural growth regulators

237

Сердюк О. А.

Проявление белой ржавчины на яровых масличных культурах семейства Капустные в условиях степной зоны Западного Предкавказья

Serdyuk O. A.The occurrence of the white rust on the spring oilseed crops of the *Brassicaceae* family in the western Caucasus steppe zone

243

Тихонова М. К., Семененко С. Я.

Экономия водных ресурсов в технологиях увлажнения отечественных гибридов кукурузы различных сроков созревания

Tikhonova M. K., Semenenko S. Ya.

The water resources saving in the technologies of moistening the domestic corn hybrids of different ripening periods

252

Ткачева Е. В., Олехнович Л. С., Шелепова О. В. Особенности выращивания высокоментольной мяты сорта Памяти Кириченко в условиях средней полосы России Tkacheva E. V., Olehnovich L. S., Shelepova O. V. The features of the Pamyati Kirichenko variety high-menthol mint growing in the conditions of the central part of Russia	261
Неймышева А. Н., Карякин В. В., Смутнев П. А., Зеленов А. В., Пакина Е. Н. Агроэкологическая оценка продуктивности сортов проса в условиях Нижнего Поволжья Neumysheva A. N., Karyakin V. V., Smutnev P. A., Zelenev A. V., Pakina E. N. The millet varieties productivity agricultural and ecological assessment in the Lower Volga region conditions	269
Агапова С. А., Москвичев М. Ю. Результативность фоллиарных обработок посевов сои при инокуляции семян на орошаемых землях Нижнего Поволжья Agarova S. A., Moskvichev M. Yu. The soybean crops foliar treatment effectiveness during seed inoculation on the Lower Volga region irrigated lands	280
Поташкина Ю. Н., Кошелев А. В., Веденеева В. А., Федотова А. В. Физиологические характеристики углеродного и водного обмена <i>Elaeagnus angustifolia</i> в прибрежных экосистемах Potashkina Yu. N., Koshelev A. V., Vedeneeva V. A., Fedetova A. V. The <i>Elaeagnus angustifolia</i> physiological characteristics of the carbon and water exchange in the coastal ecosystems	287
Тимофеев Е. П., Федотова А. В., Петров Ю. Н. Роль гидротермических факторов в регуляции эмиссии CO ₂ и микробной активности в прибрежной зоне Цимлянского водохранилища в пределах Волгоградской области Timofeev E. P., Fedotova A. V., Petrov Yu. N. The hydrothermal factors role in the CO ₂ emissions and microbial activity regulating in the Volgograd region the Tsimlyansk reservoir coastal zone	297
Чернявская Ю. Н. Биохимический состав плодов томата различной окраски Chernyavskaya Y. N. The various colored tomato fruits biochemical composition	307
Ткаченко З. А., Мисюряев В. Ю. Совершенствование элементов технологии возделывания сизой горчицы на светло-каштановых почвах Волгоградской области Tkachenko Z. A., Misuryayev V. Yu. The improving of the blue mustard cultivating technology elements on the Volgograd region light brown soils	318
Маслова Е. М., Скорик Н. А., Быханова А. В., Тимофеева С. А., Солонкин А. В., Соломенцева А. С. Проблемы деградированных земель промышленности, занятых объектами размещения отходов и пути их решения Maslova E. M., Skorik N. A., Bykhanova A. V., Timofeeva S. A., Solonkin A. V., Solomentseva A. S. The problems of the degraded industrial land used for waste disposal and their solutions	324
ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ / ANIMAL SCIENCE AND VETERINARY MEDICINE	
Сложенкина М. И., Горлов И. Ф., Хорошевская Л. В., Мосолова Н. И., Хорошевский А. П., Томиленко К. А. Эффективность нового сорта нута при откорме птицы мясного направления Slozenkina M. I., Gorlov I. F., Khoroshevskaya L. V., Mosolova N. I., Khoroshevsky A. P., Tomilenko K. A. The effectiveness of the new chickpea variety in the meat-type poultry fattening	339

Пахомов В. И., Брагинцев С. В., Бахчевников О. Н., Коханов Ю. Б. Применение растительного сырья в составе кормов для австралийского красноклещевого рака (обзор) Pakhomov V. I., Braginets S. V., Bakhchevnikov O. N., Kokhanov Y. B. The use of the plant raw materials in feed for the Australian redclaw crayfish (the review)	348
Герасимов Н. П., Джуламанов К. М., Елемесов Б. К., Исхаков Д. Ш. Характеристика генетической структуры популяций герефордской и казахской белоголовой пород по STR-локусам на Южном Урале Gerasimov N. P., Dzhulamanov K. M., Elemesov B. K., Sangakov A. K., Iskhakov D. Sh. The genetic structure characteristics of the Hereford and Kazakh white-headed populations at STR-loci in the Southern Urals	366
Криворучко А. Ю., Сафарян Е. Ю., Скорых Л. Н., Хубаева Ф. А. Исследование полиморфизма и структурных особенностей гена <i>FSHR</i> у овец породы маньчский меринос Krivoruchko A. Yu., Safaryan E. Yu., Skorykh L. N., Khubaeva F. A. The study of the Manchsky Merino sheep breed <i>FSHR</i> gene polymorphism and structural features	374
Миронова И. В., Махмудов Д. С., Сафронов М. А., Благов Д. А., Слинкин А. А. Исследование морфологического и биохимического состава крови животных при использовании энерго-протеиновой добавки Mironova I. V., Makhmudov D. S., Safronov M. A., Blagov D. A., Slinkin A. A. The study of the animals' blood morphological and biochemical composition when using the energy-protein additive	382
Грашин А. А., Бокова А. А., Мещеров Ш. Р., Грашин В. А. Государственное управление и развитие технологий в племенном животноводстве Grashin A. A., Bokova A. A., Meshcherov Sh. R., Grashin V. A. The breeding animal husbandry public administration and technology development	388
Дивенко О. В. Полиморфизм гена бета-лактоглобулина коров красной степной породы с разной кровностью по голштинам Divenko O. V. The polymorphism of the b-lactoglobulin gene of the Red Steppe breed cows with the different Holstein inheritance	398
Дубровский А. А., Швецов Н. Н., Алифанова В. В. Степень влияния кормовой добавки на основе экстракта эфирных масел на основные продуктивные показатели цыплят-бройлеров Dubrovsky A. A., Shvetsov N. N., Alifanova V. V. The effect of the fodder additive based on the essential oil extract on the broiler chickens main productive indicators	408
Еременко О. Н., Тохиров А. О. Сравнительный анализ методов выпойки телят Eremenko O. N., Tohirov A. O. The comparative analysis of the calf feeding methods	418
Третьякова Р. Ф., Каюмов Ф. Г. Интеграционный анализ селекционных изменений в калмыцкой породе крупного рогатого скота на основе фенотипических и генетических показателей Tretyakova R. F., Kayumov F. G. The selection changes integrated analysis based on phenotypic and genetic indicators of the Kalmyk cattle breed	425
Андреева И. А., Карапетян А. К., Николаев С. И., Чехранова С. В., Морозова Е. А., Даниленко И. Ю., Водяникова В. В. Влияние горчичного белкового концентрата «Горлинка» на рыболовные показатели и качество филе карпа Andreeva I. A., Karapetyan A. K., Nikolaev S. I., Chehranova S. V., Morozova E. A., Danilenko I. Y., Vodyannikova V. V. The mustard protein concentrate "Gorlinka" effect on the fish farming indicators and carp fillets quality	433

- Гилев В. А., Федорова Е. Ю., Чехранова С. В., Николаев С. И., Водяникова В. В., Воронцова Е. С., Попова Е. М.**
Возрастная динамика молочной продуктивности коров в зависимости от их линейной принадлежности 442
Gilev V. A., Fedorova E. Yu., Chekhranova S. V., Nikolaev S. I., Vodyannikova V. V., Vorontsova E. S., Popova E. M.
The cows' age-related dynamics of milk production depending on their linear affiliation 442
- Даскиев Р. А., Федорова Е. Ю., Водяникова В. В., Николаев С. И., Чехранова С. В., Воронцова Е. С.**
Повышение эффективности использования зерна нового урожая в комбикормах для цыплят-бройлеров 452
Daskiev R. A., Fedorova E. Yu., Vodyannikova V. V., Nikolaev S. I., Chekhranova S. V., Vorontsova E. S.
The improving of the using efficiency of the broiler chickens new-yield grain fodder 452
- Исаков А. Д., Поддубная И. В., Ряднов А. А.**
Физиологическое состояние гибрида русского и сибирского осетра при использовании в кормлении различных количеств аттрактанта 460
Isakov A. D., Poddubnaya I. V., Ryadnov A. A.
The hybrid of the Russian and Siberian sturgeon physiological state when the attractants' different quantities are used in feeding 460
- Куленко В. О., Чехранова С. В., Николаев С. И., Водяникова В. В., Воронцова Е. С., Крикунов Н. А., Хакимов И. Н.**
Молочная продуктивность джерсейских коров-первотёлок и взаимосвязь хозяйственно-полезных признаков 469
Kulenko V. O., Chekhranova S. V., Nikolaev S. I., Vodyannikova V. V., Vorontsova E. S., Krikunov N. A., Khakimov I. N.
The Jersey first-calf cows dairy productivity and the interrelation of the economically useful characteristics 469
- Суханов Р. А., Николаев С. И., Водяникова В. В., Суханова С. Ф., Чехранова С. В., Воронцова Е. С.**
Совершенствование питательной ценности комбикормов для цыплят-бройлеров 477
Sukhanov R. A., Nikolaev S. I., Vodyannikova V. V., Sukhanova S. F., Chekhranova S. V., Vorontsova E. S.
The improving of the broiler chicken compound feed nutritional value 477
- Шевцова А. И., Кочарян А. К., Кочарян В. Д., Перерядкина С. П.**
Немедикаментозный способ повышения фертильности у коров 488
Shevtsova A. I., Kocharyan A. K., Kocharyan V. D., Pereryadkina S. P.
The non-drug way to increase cows' fertility 488
- Самородова А. А., Николаев С. И., Баймишев Х. Б., Баймишев М. Х., Воронцова Е. С., Чехранова С. В., Гусева В. А.**
Генотипические факторы повышения молочной продуктивности коров голштинской породы 496
Samorodova A. A., Nikolaev S. I., Baimishev Kh. B., Baimishev M. Kh., Vorontsova E. S., Chekhranova S. V., Guseva V. A.
The genotypic factors for the increasing the Holstein cows' milk productivity 496
- Корнилова Л. В., Водяникова В. В., Шкарупа Е. И., Баранова И. А., Старостина О. С., Батанов С. Д.**
Особенности формирования признаков телосложения ремонтного молодняка и кур родительского стада разных генетических групп 501
Kornilova L. V., Vodyannikova V. V., Shkarupa E. I., Baranova I. A., Starostina O. S., Batanov S. D.
Features of the formation of body characteristics of repair young animals and chickens of the parent herd of different genetic groups 501
- АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ /
AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES**
- Абдразаков Ф. К., Михеева О. В., Миркина Е. Н., Орлова С. С., Панкова Т. А.**
Фильтрация из каналов для условий Саратовского Заволжья 508
Abdrzakov F. K., Mikheeva O. V., Mirkina E. N., Orlova S. S., Pankova T. A.
The canals seepage in the Saratov Trans-Volga region 508

Воробьева Н. С., Бочарников В. С., Захаров Е. Н., Токарев В. И., Бабоченко Н. С., Аргадыкова В. Ю. Интеллектуальная система контроля температуры в теплице Vorob'eva N. S., Bocharnikov V. S., Zakharov E. N., Tokarev V. I., Babochenko N. V., Argadykova V. Y. The intelligent greenhouse temperature control system	516
Гамаюнов П. П., Мирошниченко Ю. А., Фомин С. Д., Кровяков С. В., Куверин И. Ю. Исследование методов ресурсосбережения для продления эксплуатационного ресурса и поддержания функциональности сцепных механизмов тракторной техники Gamayunov P. P., Miroshnichenko Yu. A., Fomin S. D., Krovayakov S. V., Kuverin I. Yu. The research of the resource-saving methods for prolonging the operational life and maintaining the functionality of tractor coupling mechanisms	523
Нехорошев Д. А., Нехорошев Д. Д., Бирюков М. А., Нехорошев Н. Д. Влияние влажности на степень измельчения зерновых культур Nekhoroshev D. A., Nekhoroshev D. D., Biryukov M. A., Nekhoroshev N. D. The moisture effect on the degree of the grain crops grinding	530
Пахомов А. А., Коваленко И. А. Комплексная диагностика технического состояния оросительных каналов с применением современных геофизических и лабораторных методов Pakhomov A. A., Kovalenko I. A. The comprehensive diagnostics of the irrigation channels technical conditions using the modern geophysical and laboratory methods	538
Успенский И. А., Юхин И. А., Чаткин М. Н., Бышов Д. Н., Колотов А. С., Горошков А. П. Анализ механизмов приводов дозатора зерновых сеялок Uspensky I. A., Yukhin I. A., Chatkin M. N., Byshov D. N., Kolotov A. S., Goroshkov A. P. The analysis of the grain seeders dispenser drive mechanisms	548
Фадеев И. В., Успенский И. А., Фомин С. Д., Юхин И. А., Бышов Д. Н., Ушанев А. И. Модернизация состава для защиты сельскохозяйственной техники от коррозии Fadeev I. V., Uspensky I. A., Fomin S. D., Yukhin I. A., Byshov D. N., Ushanev A. I. The modernization of the agricultural machinery corrosion protecting composition	559
Цепляев А. Н., Семененко С. Я., Куприянов А. А., Мельник С. В. Влияние гидросорбентов, обогащенных удобрениями, на урожайность нута при возделывании на орошении Tseplyaev A. N., Semenenko S. Ya., Kupriyanov A. A., Melnik S. V. The effect of fertilizer-enriched hydrosorbents on the chickpeas yield under irrigation	571
Вольская, О. Н., Пахомов, А. А., Тронеv, С. В., Чураков, А. А. Оптимизация параметров многоступенчатого вакуумно-эжекционного устройства для обезжелезивания подземных вод Volskaya O. N., Pakhomov A. A., Tronev S. V., Churakov A. A. The multiple-step vacuum-ejector device parameters optimization for the underground water defferrizing	580
Кутырёв А. И. Разработка ИИ-агента для автоматической разметки изображений садовых насаждений с использованием нейронных сетей Kutyrev A. I. The AI agent development for horticultural crop images automatic tagging with the neural networks using	588
Лепихова В. А., Ляшенко Н. В. Повышение сохранности поголовья скота в агропромышленных комплексах при осложнении пожарной обстановки Lepikhova V. A., Lyashenko N. V. The cattle safety improving in the agro-industrial complexes in case of fire	599
Данилов С. И., Алленов Д. Г., Успенский И. А., Юхин И. А., Бышов Д. Н. Сравнительный анализ нейросетевых моделей для оценки остаточного ресурса подшипников качения на основе вибрационных спектрограмм быстрой трансформации Фурье Danilov S. I., Allenov D. G., Uspensky I. A., Yukhin I. A., Byshov D. N. Comparative analysis of neural network models for estimating the residual life of rolling bearings based on vibration spectrograms of fast Fourier transformation	609

Мозлов В. А.

Использование методов многомерной статистики в изучении сортообразцов проса как исходного материала для селекции в Нижнем Поволжье

Mozlov V. A.

The usage of the multidimensional statistical methods in the study of millet variety samples as a source material for breeding in the Lower Volga region conditions 617

Храмова В. Н., Божкова С. Е., Серова О. П., Молоканова М. А., Половодова Д. И., Лубчинский К. А.

Разработка и оптимизация рецептуры куриного паштета с растительными компонентами
Khramova V. N., Bozhkova S. E., Serova O. P., Molokanova M. A., Polovodova D. I., Lubchinsky K. A.

The chicken paste recipe with the vegetable components development and optimization 624

Ким И. Н., Давыдов А. А., Гиро Т. М., Сложенкина М. И.

Новый способ перехода перерабатывающих предприятий на принципы наилучших доступных технологий

Kim I. N., Davydov A. A., Giro T. M., Slozhenkina M. I.

The new way of the processing enterprises transition to the best available technology principles 634

Серова О. П., Дой А. И., Божкова С. Е., Сложенкина М. И., Воронцова Е. С., Дурдыев А. К.

Исследование влияния гидролизатов кукурузного крахмала на технологические свойства ферментированного молочно-зернового продукта
Serova O. P., Doi A. I., Bozhkova S. E., Slozhenkina M. I., Vorontsova E. S., Durdyev A. K.

The study of the corn starch hydrolyzates effect on the fermented milk-and-grain products' technological properties 644

СОДЕРЖАНИЕ / ABSTRACTS..... 656

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 № 2 (86), 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 30.04.2026.
Тираж 1000 (первый завод 100). Заказ 73.
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 № 2 (86), 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 30.04.2026.
Edition 1000 (first factory 100). Order 73.
Printed at the Publishing and Printing Complex of the Volgograd State Agrarian University «Niva»
400002, Volgograd, University Avenue, 26.

Free price