

ИЗВЕСТИЯ

НИЖНЕВОЛЖСКОГО АГРОУНИВЕРСИТЕТСКОГО КОМПЛЕКСА:

НАУКА И ВЫСШЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

№ 6 (84), 2025

Группы специальностей:

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

Волгоград
Волгоградский ГАУ
2025

PROCEEDINGS

OF NIZHNEVOLZSKIY AGROUNIVERSITY COMPLEX:

SCIENCE AND HIGHER VOCATIONAL EDUCATION

№ 6 (84), 2025

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
2025

**ББК 4 (2Рос–4Вор)
И-33**УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА
ФГБОУ ВО Волгоградский
государственный аграрный
университет**ISSN 2071-9485
DOI: 10.32786/2071-9485****№ 6 (84), 2025***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
Volograd State
Agrarian University**ISSN 2071-9485
DOI: 10.32786/2071-9485****№ 6 (84), 2025***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**№ 6 (84), 2025**

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**№ 6 (84), 2025**

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, МБА имени К. И. Скрябина

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



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

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



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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Novikov A.E., Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, GNU VNIIOZ, 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: 10.32786/2071-9485-2025-06-01

**THE USE OF A NATURAL BIOLOGICAL STIMULANT OF THE DRY STEPPE ZONE OF THE
SOUTH OF RUSSIA: THE RESEARCH HYPOTHESIS AND THE RESULTS**¹Shchedrin V. N., ^{2,3}Medvedeva L. N., ²Kupriyanov A. A., ⁴Gulkova D. V.¹All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov
Moscow, Russian Federation²All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – branch of the Federal State Budgetary Scientific
Institution A. N. Kostyakov
Volgograd, Russian Federation³Volzhsky Polytechnic Institute (branch) of Volgograd Polytechnic University
Volgograd, Russian Federation⁴Peasant farm Zimovets V. G.
Volgograd region, Russian Federation

Corresponding author e-mail: kupriyanov19967@gmail.com

Received 09.09.2025

Submitted 28.10.2025

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".

Abstract

Introduction. Relevance. This article addresses the development of organic farming in the field of viticulture in the dry steppe zone of southern Russia using natural biostimulants. Ecological (green) approaches to ensuring soil fertility and producing crops with desired properties are rapidly developing in global agricultural production. Green irrigated farming focuses on the use of natural growth stimulants, which are divided into groups: acidic, microbiological, extractive, and those derived from seaweed. More than 40 growth biostimulants, including natural ones, are registered in Russia. Most biopreparations based on living organisms are unstable and have a short shelf life (up to 12 months), necessitating improved technologies for their production, storage, and application. Natural biostimulants have a gentle effect on the soil and crops, which meets the requirements of green organic farming. **The aim of the study was to investigate the effect** of the natural biostimulant *Chlorella vulgaris* strain No. C-111 on grapevine development in the dry steppe zone of southern Russia. The following research **methods** were selected: field experiments, visual observation, and analytical monitoring with elements of modeling. The scientific hypothesis boils down to obtaining an evidence base for the effective use of *Chlorella vulgaris* in viticulture as a natural biostimulant. **Results and conclusions.** The study confirmed that the microalgae *Chlorella vulgaris* contributes to increased grapevine resilience, ensuring a good harvest and enriching the soil with macro- and microelements. Experiments in the vineyard of the V. G. Zimovets farm in the dry steppe zone of the Volgograd region showed that the developed technology for field cultivation and application of the microalgae strain *Chlorella vulgaris* No. C-111 contributes to an increase in leaf blade area, increased bunch weight, and a reduction in production costs. The role of the microalgae *Chlorella vulgaris* in the processes of formation of primary and secondary metabolites, the supply of nutrients and minerals: nitrogen, phosphorus, potassium, ensuring the growth and development of grapes has been proven.

Keywords: plant growth stimulants, grape cultivation, green technologies, biological stimulants, *Chlorella vulgaris*, increase in grape productivity.

Citation. Shchedrin V. N., Medvedeva L. N., Kupriyanov A. A., Gulkova D. V. The use of a natural biological stimulant of the dry steppe zone of the south of Russia: the research hypothesis and the results. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 16-26 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-01.

Authors' contribution. The authors of this study were directly involved in setting up the program, planning the experiment, accounting and analyzing the data obtained, presenting conclusions and forming proposals for production. The authors of this article have studied and approved the final version of the article.

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

УДК 634.8.07:631.8

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНОГО БИОСТИМУЛЯТОРА НА ВИНОГРАДНИКАХ
СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ЮГА РОССИИ: ГИПОТЕЗА ИССЛЕДОВАНИЯ И РЕЗУЛЬТАТ**¹Щедрин В. Н., академик РАН, доктор технических наук^{2,3}Медведева Л. Н., доктор экономических наук, доцент²Куприянов А. А., младший научный сотрудник⁴Гулькова Д. В., ведущий специалистФедеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр
гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова»

г. Москва, Российская Федерация

²Всероссийский 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

³ФГБУ ВО Волжский политехнический институт (филиал) ВолгГТУ

г. Волгоград, Российская Федерация

⁴КФХ Зимовец В. Г.

Волгоградская область, 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».**

Актуальность. В статье поднимаются вопросы развития органического земледелия в области виноградарства в сухостепной зоне Юга России на основе применения природных биостимуляторов. В мировом сельскохозяйственном производстве достаточно быстрыми темпами развиваются экологические (зеленые) подходы, обеспечивающие плодородие почв и получение продукции с заданными свойствами. **Зеленое орошаемое земледелие** нацелено на применение естественных природных стимуляторов роста, которые подразделяются на группы: кислотные, микробиологические, экстрактные, получаемые из морских водорослей. В России зарегистрировано более 40 биостимуляторов роста, в их числе есть и природные. Большинство биопрепаратов, созданных на основе живых организмов, отличаются нестабильностью и коротким сроком хранения (до 12 месяцев), что вызывает необходимость совершенствования технологий их продуцирования, хранения и применения. Природные биостимуляторы имеют щадящий режим воздействия на почву и сельскохозяйственные растения, что отвечает требованиям зеленого органического земледелия. **Целью исследования** стало изучение влияния природного биостимулятора штамма *Chlorella vulgaris* № С-111 на развитие винограда в сухостепной зоне Юга России. **В качестве методов** исследования были выбраны: полевые опыты, визуальное наблюдение, аналитический мониторинг с элементами моделирования. **Научная гипотеза** сводится к получению доказательной базы эффективности применения *Chlorella vulgaris* в виноградарстве в качестве природного биостимулятора. **Результаты и выводы.** В ходе исследования получено подтверждение тому, что микроводоросль *Chlorella vulgaris* способствует повышению устойчивости винограда, обеспечивая хороший урожай, обогащая почву макро- и микроэлементами. Эксперименты на винограднике фермерского хозяйства Зимовец В. Г. в сухостепной зоне Волгоградской области показали, что разработанная технология полевого культивирования и применения микроводоросли – штамма *Chlorella vulgaris* № С-111 способствует увеличению площади листовых пластинок, увеличению массы гроздей, снижению затрат на производство. Доказательно показана роль микроводоросли *Chlorella vulgaris* в процессах образования первичных и вторичных метаболитов, поступлении питательных и минеральных веществ: азота, фосфора, калия, обеспечивающих рост и развитие винограда.

Ключевые слова: стимуляторы роста растений, возделывание винограда, зеленые технологии, биостимуляторы, *Chlorella vulgaris*, увеличение продуктивности винограда.

Цитирование. Щедрин В. Н., Медведева Л. Н., Куприянов А. А., Гулькова Д. В. Использование природного биостимулятора на виноградниках сухостепной зоны юга России: гипотеза исследования и результат. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 16-26. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-01.

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. Биозкономика в области сельского хозяйства – это новые энерго-, ресурсосберегающие технологии и экологически чистые продукты. Биозкономический подход – это не только мировой тренд XXI века, это еще и новые области научных открытий и формирующихся интегрированных систем, таких как – Зеленые аграрные кластеры и Зеленое орошаемое земледелие (далее – ЗОЗ) сухостепной зоны Юга России, обеспечивающее минимальное применение пестицидов, гербицидов и оптимальное использование поливной воды с заданными свойствами [1-4]. Основная цель ЗОЗ – обеспечение экологической устойчивости и высокой продуктивности агроландшафтов через систему поддержки плодородия почв, использование природных биостимуляторов [5]. Проведенный аналитический мониторинг показывает, что главным инициатором развития зеленых технологий в сельском хозяйстве является Государство, которое берет на себя функцию обеспечения населения качественными продуктами. Вступивший в силу в 2020 году Закон «Об органической продукции...» задал тон активному развитию органического виноградарства. Сегодня по стандартам органического виноградарства в стране сертифицировано 117 га, планируется увеличить до 500 га [6]. Промышленное возделывание винограда сконцентрировано на Юге России: в республиках Крым, Чечня, Дагестан, Ингушетия, Кабардино-Балкария и Северная Осетия; Краснодарском и Ставропольском краях, а также в Астраханской, Волгоградской, и Ростовской областях (> 90 тыс. га). Способствуют развитию виноградарства и принятые законы и нормативные акты: «О виноградарстве и виноделии в Российской Федерации», «Стимулирование развития виноградарства и виноделия» [7, 8]. Вместе с тем, продолжают действовать факторы, сдерживающие конкурентные преимущества отечественного виноградарства: высокая капиталоемкость и длительные сроки окупаемости инвестиций, слабое предложение саженцев отечественной селекции.

Современные подходы в развитии виноградарства нацелены на использование экологически безопасных средств для защиты и стимулирования роста растений. Биохимические аспекты применения природных биостимуляторов главным образом отражаются на гормональном статусе и метаболизме растений, на стимуляции ростовых процессов, уменьшении отрицательных стресс-факторов, связанных с изменением климатом [9].

Мировой рынок биостимуляторов развивается в трех сегментах: производство кислотных, микробиологических, природных экстрактов морских водорослей с объемом более 5 \$ млрд в год. В ЕС и США рынок регуляторов роста растений представлен препаратами на основе гуминовых и фульвокислот, экстрактов из морских водорослей, обладающих выраженными иммуномодулирующими признаками [10]. В Российской Федерации зарегистрировано более 40 природных стимуляторов на основе живых организмов, которые характеризуются нестабильностью действия и коротким сроком хранения (до 12 месяцев). В число явных преимуществ природных биостимуляторов можно отнести: повышение устойчивости растений к различным стресс-факторам, усиление процессов метаболизма, повышение урожайности и качества, получаемой продукции.

Исследования ученых Крыма свидетельствуют о выраженной устойчивости к накоплению агрохимикатов искусственной природы в окружающих природных ресурсах и сельскохозяйственных растениях [11]. Способность пестицидов противостоять разлагающему действию природных факторов приводит к существенным изменениям в экосистемах: уменьшению численности и разнообразию почвенных микроорганизмов, снижению биологической активности элементов почвы, развитию устойчивых форм возбудителей болезней.

Данные ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» (далее – ВНИИОЗ) показывают, что загрязнение почв тяжелыми металлами, присутствующими в оросительной воде, ведет к изменению количественного состава микроорганизмов, уменьшению колониеобразующих единиц – КОЕ [3, 5]. В зарубежных и отечественных публикациях приводятся данные по применению препаратов из микроводорослей в растениеводстве и садоводстве при обработке семян, черенков и взрослых форм растений [12-14]. В «открытых лабораториях» многих стран весьма активно изучаются микроводоросли, их взаимодействие с почвенными сообществами (бактериями и грибами), участие в метаболизме растительных клеток. Один из представителей мира автотрофных протококковых микроводорослей – *Chlorella vulgaris*, которая в сельском хозяйстве используется как кормовая добавка и биостимулятор, ускоряющий корнеобразование, развитие и цветение рас-

тений, выработку иммунитета на воздействие агрессивных факторов внешней среды, включая засуху и наводнения [15, 16]. Опыты по использованию *Chlorella vulgaris* на темно-серых лесных почвах длительное время проводятся на территории учебно-опытного хозяйства «Знаменское» Курской ГСХА и доказывают способность микроводоросли изменять pH почвы в сторону нейтральной или слабощелочной реакции. В отличие от навозных удобрений, когда при внесении в почву попадают семена сорняков, личинки вредных насекомых, споры фитопатогенных грибов, микроводоросль при внесении в почву остается экологически безопасной и усиливает водоудерживающую способность почв. Кроме того, микроводоросль выступает продуцентом антибиотически активных веществ, которые благоприятно влияют на развитие высших растений.

Исследования по влиянию природного биостимулятора штамма *Chlorella vulgaris* № С-111 на кусты винограда проводились в крестьянско-фермерском хозяйстве Зимовец Владимира Григорьевича, расположенном в Среднеахтубинском районе Волгоградской области. Виноградные насаждения с 25 тысячами кустами технического винограда, 2 тысячами столового винограда занимают 10 га земли. На природных терруарах растут белые (Совиньон Блан, Рислинг, Ркацители Шардоне, Сибирьковский, Гечеи Заматош) и красные (Каберне Совиньон, Мерло, Пино Нуар, Цимлянский Черный, Красностоп Золотовский) сорта винограда.

Почвенные характеристики и климатические условия хозяйствования очень близки к Югу Франции, где возделываются наиболее известные сорта винограда. В проведенных опытах применялась суспензия штамма *Chlorella vulgaris* № С-111 с плотностью клеток 14 млн/мл, содержанием в одном литре 5-6 г сырой биомассы по составу: белок 45-55 %, липиды 5-10 %, углеводы 35 %, минеральные вещества 10 %. Кроме того, в составе клетки микроводоросли содержатся витамины А, В1, В2, В5, В6, В9, В12, С, D, Е, К, РР. Климатические условия сухостепной зоны Волгоградской области делают виноградарство весьма рискованным, а форс-мажорные ситуации (санкции и появление филлоксеры) еще и низкорентабельным [18, 19]. Но несмотря на это, получаемые виноградные молодые и выдержанные вина сухостепной зоны Юга России по вкусовым качествам не уступают известным маркам из Франции, Италии, Испании.

Материалы и методы. Местом проведения визуальных наблюдений и полевых опытов стало КФХ Зимовец В. Г., расположенное в Среднеахтубинском районе Волгоградской области. Хозяйство располагается в природной зоне степей с резко континентальным климатом (жарким засушливым летом, холодной зимой с сильными ветрами). Средняя температура января колеблется от - 8 до - 12 °С, средняя температура июня – 35 °С. Абсолютный максимум температуры может достигать + 42...+ 44 °С. Снежный покров формируется в конце декабря и сохраняется от 90 до 110 дней, высота снежного покрова варьирует от 7 до 22 см, весна короткая, но в первой декаде мая иногда наблюдаются заморозки, что может отрицательно сказаться на молодых побегах; годовое количество осадков колеблется в пределах 270-450 мм (рисунок 1).



Рисунок 1 – КФХ Зимовец В. Г. по выращиванию винограда и производству вина в Волгоградской области
Figure 1 – Zimovets V. G. peasant farm for growing grapes and producing wine in the Volgograd region

Источник: на фото Зимовец В. Г. / Source: in the photo Zimovets V. G.

Место закладки опыта – виноградники крестьянско-фермерского хозяйства. Объектами исследования стали возделываемые кусты винограда сорт Цимлянский Черный (среднераннего созревания) и природный биостимулятор штамм *Chlorella vulgaris* № С-111 [17, 18]. Исследование проводилось в 2022-2024 гг. (данные в таблицах указаны в средних значениях). Сорт винограда Цимлянский Черный весьма пластичен и используется для изготовления легких столовых вин, а также экстрактивных красных вин. Плодовые почки этого сорта могут выдерживать морозы до -40°C , корневая система устойчива к промерзанию до -20°C , сорт неприхотлив к механическому составу почв. По программе полевых опытов были сформированы 2 площадки: опытная и контрольная: по 3 ряда по 15 кустов в одном ряду (рисунок 2).



Рисунок 2 – Виноградник с контрольными и опытными площадками, КФХ Зимовец В. Г.

Figure 2 – Vineyard with control and experimental sites, peasant farm Zimovets V. G.

Источник: Гулькова Д. В. / Source: Gulkova D. V.

На отобранных полях пробы почв производились с помощью мобильной почвенной лаборатории iMETOS Mobilab. Исследуемые поля хозяйства имеют щелочную реакцию (рН 8.11-8.98), что блокирует доступность фосфора, железа, цинка и микроэлементов; наблюдается значительный избыток калия ($\text{K}_2\text{O} > 500 \text{ мг/кг}$), что может мешать усвоению магния (таблица 1).

Таблица 1 – Исследования почвы под полями виноградника среднее за период наблюдения
Table 1 – Soil research under vineyard fields average for the observation period

Номер виноградного поля / Number of the grape field	РН почвы / Soil pH	Содержание нитратного азота N-NO_3 мг/кг / Nitrate nitrogen content N-NO_3 mg/kg	Содержание фосфора P_2O_5 мг/кг / Phosphorus content P_2O_5 mg/kg	Содержание калия K_2O мг/кг / Potassium content K_2O mg/kg
Поле 1 – контрольное / Field No 1 – control	8,11	0,2	2,7	425,9
Поле 17 – опытное / Field No 17 – experimental	8,48	15,5	319,7	645,9
Поле 3 – «Колизей» / Field No 3 – Colosseum	8,12	21,4	27,1	269,7

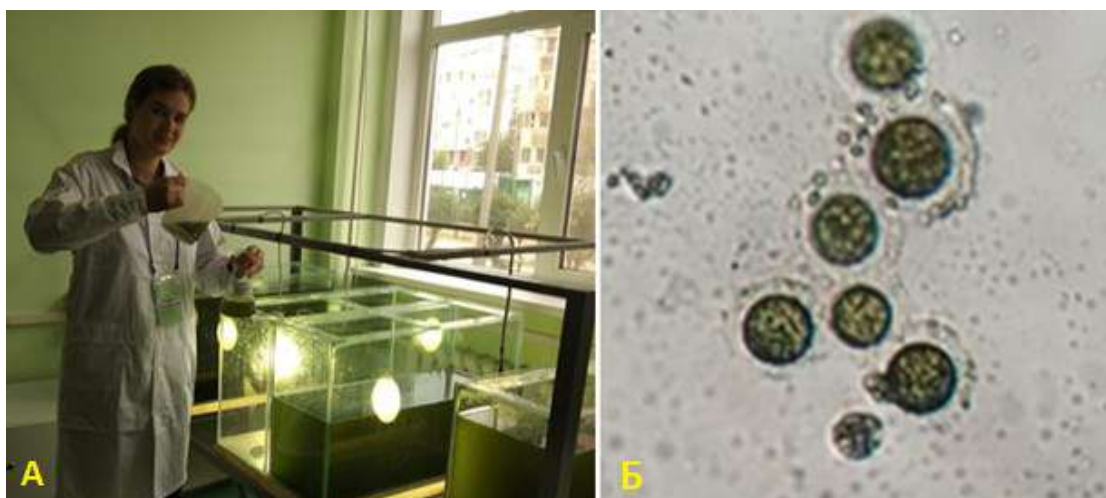
Источник: ВНИИОЗ, Биоагросервис, 2024 / Source: Bioagroservice, 2024

Для полива использовалась вода из пруда Аленушка (результаты анализа среднее по годам в таблице 2).

Таблица 2 – Качество природной воды, используемой для полива виноградника
Table 2 – Quality of natural water used for vineyard irrigation

№	Наименование / Name	Диапазон измерения МВИ / MVI Measurement Range	Результат / Result	Отклонения по годам, (+, -) / Deviations by years, (+, -)
1	Взвешенные вещества, мг/дм ³ / Suspended solids, mg/dm ³	0,5-5000	4,3	0,8
2	Нефтепродукты, мг/дм ³ / Petroleum products, mg/dm ³	0,005-50	0,015	0,005
3	Сухой остаток, мг/дм ³ / Dry residue, mg/dm ³	50-25000	680	61
4	Мутность, ЕМФ / Turbidity, EMF	1,0-100	6,3	1,3
5	Водородный показатель, pH / Hydrogen index, pH	1-12	8,2	0,2
6	Нитрат-анион, дм ³ / Nitrate-anion, dm ³	0,1-100	0,27	0,05

В контрольном опыте полив производился с помощью капельной трубки, в опытном варианте с помощью хозяйственных леек, в которых находилась природная вода с добавлением штамма *Chlorella vulgaris* № С-111, выращенного на питательной среде Тамия (Тамия) в лаборатории ВНИИОЗ на начальном этапе исследования, в последствии культивирование микроводоросли проводилось в искусственном пластиковом бассейне, размещенном недалеко от виноградника (рисунок 3).

А – лаборатория по исследованию микроводоросли *Chlorella vulgaris*Б – клетки микроводоросли *Chlorella vulgaris* под микроскопомРисунок 3 – Культивирование микроводоросли в лаборатории ВНИИОЗ и клетки штамма *Chlorella vulgaris* № С-111 под микроскопомFigure 3 – Cultivation of microalgae in the laboratory of the All-Russian Research Institute of Plant Protection and cells of the *Chlorella vulgaris* strain № С-111 under a microscope

Источник: Медведева Л. Н. / Source: Medvedeva L. N.

План полевых исследований включал три этапа: на первом – производился выбор площадок для полевых опытов, визуальный осмотр растений, первичная обработка почвы раствором, содержащим штамм *Chlorella vulgaris* № С-111; на втором – обеспечивался 3-х разовый полив растений со штаммом *Chlorella vulgaris* № С-111 (за сезон); на третьем (заключительном) – производилось опрыскивание лозы с листьями раствором штамма *Chlorella vulgaris* № С-111. Опыты проводились с учетом фаз вегетации винограда и погодных условий (таблица 3).

Таблица 3 – План проведения полевых опытов по изучению эффективности применения суспензии штамма *Chlorella vulgaris* № C-111 в качестве природного биостимулятора на винограде сорт Цимлянский Черный

Table 3 – Plan for conducting field experiments to study the effectiveness of using a suspension of *Chlorella vulgaris* strain №. C-111 as a natural biostimulant on grapes of the Tsimlyansky Cherny variety

Наименование этапа / Name of the stage	Исследования март-ноябрь 2024 г. / Research March-November 2024	
	Опытная площадка / Experimental site	Контрольная площадка / Control pad
Этап 1. Визуальное наблюдение. Опрыскивание 0,5 л на 1 м ² почвы в период до момента образования цветочных почек / Stage 1. Visual observation. Spraying 0.5 liters per 1 m ² of soil in the period before the formation of flower buds	Опрыскивание почвы раствором хлореллы из расчета: 1 л суспензии на 100 л воды / Spraying the soil with a chlorella solution at the rate: 1 liter of suspension per 100 liters of water	Поливная вода / Irrigation water
Этап 2. Предварительный полив до начала вегетации 50 л 1 м ² виноградника, первый полив – до момента образования цветочных почек, второй – после образования цветков, третий при формировании плодов / Stage 2. Watering at the beginning of the growing season 50 liters of 1 m ² of the vineyard, the first watering – until the formation of flower buds, the second – after the formation of flowers, the third – during the formation of fruits	Полив раствором хлореллы из расчета: 1 л суспензии на 100 л воды / Watering with chlorella solution at the rate: 1 liter of suspension per 100 liters of water	Поливная вода / Irrigation water
Этап 3. Опрыскивание лозы с листьями / Stage 3. Spraying vines with leaves	Опрыскивание раствором хлореллы из расчета: 1 л суспензии на 3 л воды / Spraying with chlorella solution at the rate: 1 liter of suspension per 3 liters of water	Поливная вода / Irrigation water

В числе полевых методов были: взвешивание, ростовое измерение и подсчет ягод и гроздей. Для полевых работ использовались: мини-трактор с бочкой, секаторы, бытовые весы, мерная линейка, лейки хозяйственные, искусственный пластиковый бассейн. С помощью визуального наблюдения проверялось: состояние вегетативных частей растения после зимовки, степень поврежденности болезнями и вредителями в летне-осенний период, определялась урожайность. По мере увеличения потребности в растворе микроводоросли, культивирование штамма *Chlorella vulgaris* № C-111 было перенесено в открытый бассейн рядом с виноградником, что повысило рентабельность производства (рисунок 4).



Рисунок 4 – Культивирование штамма *Chlorella vulgaris* № C-111 при естественном освещении в КФХ Зимовец В. Г.

Figure 4 – Cultivation of the *Chlorella vulgaris* strain No. C-111 under natural light in the peasant farm of V. G. Zimovets

Результаты. Исследования по применению природного биостимулятора штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 в степной зоне на автохтонном донском сорте винограда Цимлянский Черный привитом на подвое Берландиери × Рипариа Кобер 5 ББ в КФХ Зимовец В. Г. дали определенный положительный результат, представленный в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты применения штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 на винограде сорта Цимлянский Черный, КФХ Зимовец В. Г.

Table 4 – Results of application of the *Chlorella vulgaris* strain IFR No. C-111 on the Tsimlyansky Cherny grape variety, Zimovets V. G. farm

Селективные особенности сорта / Selective features of the variety	Опытные кусты винограда / Experimental grape bushes	Контрольные кусты винограда / Control grape bushes
Срок созревания (дней) / Ripening period (days)	110-120	120-130
Количество гроздей с куста, шт. / Number of bunches per bush, pcs.	26	24-25
Средняя масса грозди, г / Average bunch weight, g	87,6177	81,9
Средний размер грозди (длина / ширина), см / Average bunch size (length/width), cm	15,0 / 7,7	14,0 / 6,5
Площадь листьев, см ² / Leaf area, cm ²	1865,4	645,1
Урожайность с куста, кг / Yield per bush, kg	52-60	44-49
Плодоносность побегов, % / Shoot fruitfulness, %	52	51
Расчетная урожайность, ц/га / Estimated yield, cwt/ha	52,8	49,6

На опытных кустах винограда сорта Цимлянский Черный распускание глазков возросло в сравнении с контролем вариантом на 28,3-45,0 %. Поскольку урожай винограда во многом зависит от степени развития ассимиляционного аппарата – от площади листовой поверхности, то было отмечено, что природный биостимулятор штамм *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 способствовал активному формированию листовой пластины. Ассимиляционная листовая поверхность сорта Цимлянский Черный в среднем составляла: в фазу цветения – 5,7-5,9; в фазу роста ягод – 20,3-21,2; в фазу созревания ягод – 34,1-35,2. Масса ягод на опытных кустах после обработки штаммом *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 повысилась на 22,1 %, а сахаристость составила – 14,85 %.

При визуальном наблюдении на опытных кустах заболеваний не обнаружено, на некоторых контрольных кустах отмечалось заболевание мучнистой росой (маслянистые пятна, с обратной стороны – белый налет). На начальном этапе исследования: лоза винограда росла достаточно медленно, затем после полива раствором хлореллы увеличивался. Наблюдения показали, что полив кустов винограда раствором хлореллы способствовал и росту лозы, средние показатели составили 125-135 см (рисунок 5).



Рисунок 5 – Гроздья и лист винограда сорта Цимлянский Черный с опытной площадки, КФХ Зимовец В. Г.
Figure 5 – Bunches and leaves of the Tsimlyansky Black grape from the experimental site, Zimovets V. G. farm

Ранее проведенные исследования показали, что вносимая в почву живая форма *Chlorella vulgaris* некоторое время продолжает прибывать в активном состоянии и оказывать влияние на состав почвенного газа, насыщая его кислородом (рисунок 6).

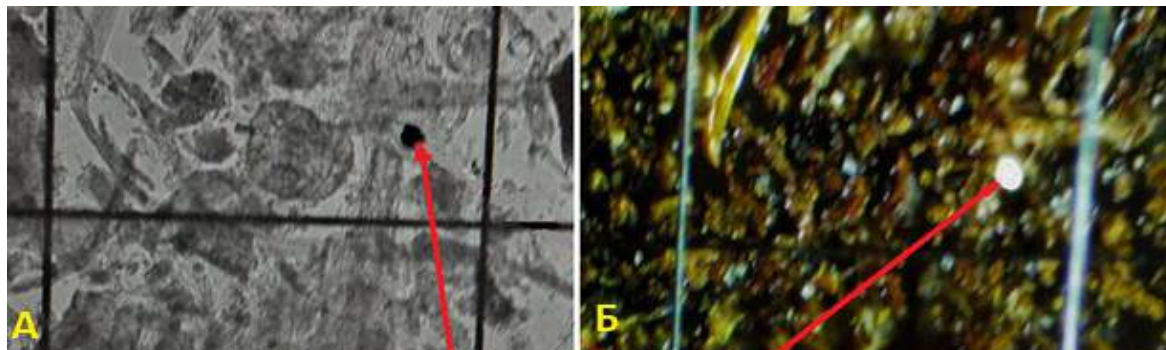


Рисунок 6 – Грунт с микроводорослью *Chlorella vulgaris*, диаметр образца > 2 мм, линейное оптическое увеличение 1:12. А – Снимок в рентгене, Б – снимок в оптике
Figure 6 – Soil with microalgae *Chlorella vulgaris*, sample diameter > 2 mm, linear optical magnification 1:12
А – X-ray image, В – optical image

Источник: ФНЦ ВНИИГум

Заключение. 1. Появление в мировой науке нового биоэкономического подхода способствует устойчивому экологическому состоянию высокопродуктивных орошаемых агроландшафтов. Разрабатываемая концепция *Зеленого орошаемого земледелия* нацелена на применение в садоводстве и виноградарстве поливной воды с заданными свойствами и составом, что позволит прогнозировать урожайность сельскохозяйственных культур и качество товарной продукции.

2. Потенциал сортов винограда напрямую связан с климатическими условиями выращивания, применением природных биостимуляторов, влияющих на физиологию растений, сроки созревания, качество урожая. Полевые исследования в КФХ Зимовец В. Г. в период 2022-2024 гг. подтверждают тот факт, что включение в технологию возделывания винограда природного биостимулятора микроводоросли *Chlorella vulgaris* способствует увеличению продуктивных и качественных показателей винограда, снижению плановых расходов при формировании цены на продукцию. По результатам исследования отмечается увеличение длины прироста (до 124,0 см), площади листьев (на 1200,5-1976 см²) винограда сорта Цимлянский Черный.

3. Поскольку большинство природных биостимуляторов, созданных на основе живых микроорганизмов, отличаются нестабильностью и коротким сроком хранения, то процесс совершенствования технологий живых форм становится весьма востребованным.

4. Для расширения представлений о зеленом орошаемом земледелии на виноградниках планируется закладка опытов с применением и иных природных стимуляторов, оказывающих влияние на развитие растений в сухостепной зоне.

Conclusions. 1. The emergence of a new bioeconomic approach in world science contributes to the sustainable ecological state of highly productive irrigated agrarian landscapes. The concept of Green Irrigated Agriculture is aimed at the use of irrigation water with specified properties and composition in horticulture and viticulture, which will make it possible to predict the yield of crops and the quality of marketable products.

2. The potential of grape varieties is directly related to the climatic conditions of cultivation, the use of natural biological stimulants that affect the physiology of plants, ripening periods, and the quality of the crop. Field studies in the peasant farm Zimovets V.G. in the period 2022-2024 confirm the fact that the inclusion of the natural biological stimulants' microalgae *Chlorella vulgaris* in the technology of growing wine in the wine city contributes to an increase in the productive and quality indicators of grapes, contribute to the reduction of systematic costs in the formation of prices for products. In particular, an increase in the length of growth (up to 124.0 cm) and leaf area (by 1200.5-1976 cm²) was observed.

3. Since most natural biostimulants created on the basis of living microorganisms are unstable and have a short shelf life, the process of improving technologies of living forms is becoming very popular.

4. In order to expand the understanding of green irrigated agriculture in vineyards, it is planned to lay experiments with the use of other natural stimulants that affect the development of plants in the dry-steppe zone.

Библиографический список

1. Медведева Л. Н. Зеленые технологии в обосновании кластерно-регионального поступательного развития сельского хозяйства. Орошаемое земледелие. 2024. №4. С. 10-16.
2. Мелихов В. В. Новые механизмы адаптации сельскохозяйственных растений к изменению климатических условий. Орошаемое земледелие. 2019. № 4. С. 6-7.
3. Медведева Л. Н., Фролова М. В., Московец М. В., Медведев А. В. Внедрение природосберегающих технологий – экологический императив в развитии регионов. Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика. 2019. № 4. С. 126-140.
4. Щедрин В. Н., Медведева Л. Н., Куприянов А. А. Интенсификация яблоневых садов в Волго-Донском междуречье. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 4. С. 13-28.
5. Новиков А. Е., Родин К. А., Московец М. В., Торопов А. Ю. Современная биотехнология мелиорации оросительной воды для прецизионного земледелия, способствующая, повышению продуктивности сельскохозяйственных культур. Орошаемое земледелие. 2021. № 1. С. 11-14.
6. Раджабов А. К., Шеголихина Т. А., Мишуров Н. П. и др. Инновационные технологии производства продукции органического виноградарства и виноделия. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. 84 с.
7. Гармашова Е. П., Дребот А. М., Федорченко Е. А. Тенденции развития виноградарства в России. Гуманитарный научный журнал. 2025. № 3. С. 26-33.
8. Аблаев Р. Р., Абрамова Л. С., Аблаев А. Р. Современные тенденции развития виноградарства и виноделия в агропромышленном комплексе Российской Федерации. International agricultural journal. 2023. № 2. С. 748-765.
9. Павлюченко Н. Г., Зимина Н. И., Мельникова С. И., Колесникова О. И. Оценка влияния биологически активных веществ на развитие привитых саженцев винограда. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 4. С. 105-113.
10. Шибеева Т. Г., Шерудило Е. Г., Титов А. Ф. Экстракты морских водорослей как биостимуляторы растений. Труды Карельского научного центра РАН. 2021. № 3. С. 36-67.
11. Странишевская Е. П., Волков Я. А., Волкова М. В., Е. А. Матвейкина и др. Препараты природного происхождения в органической системе защиты винограда в условиях Южного берега Крыма. Магарах. Виноградарство и виноделие. 2024. № 2. С. 146-153.
12. Дергунов А. В., Лукьянов А. А., Михайловский С. С., Раджабов А. К. Продуктивность виноградных насаждений и качество винопродукции сорта Красностоп АЗОС при некорневых подкормках разными группами веществ. Известия ТСХА. 2024. № 5. С. 20-30.
13. Павлюченко Н. Г., Колесникова О. И., Мельникова С. И., Зимина Н. И. Использование физиологически активных веществ в производстве виноградных саженцев. Вестник КрасГАУ. 2021. № 12. С. 12; 65-72.
14. Смолич О. С. Влияние органического препарата нового поколения на качество винограда сорта Оницканский Белый. Современные векторы развития науки. Сборник статей по материалам ежегодной научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР. Краснодар, 2024. С. 441-443.
15. Климкина М. Э., Кукушева А. Н., Калиева А. Б. Эффективность применения суспензии хлореллы в качестве биостимулятора семян томатов. Вестник Торайгырова университета. 2023. № 1. С. 47-57.
16. Бачура Ю. М., Матвеевкова Т. Д. Влияние культуральной жидкости микроводорослей на рост и развитие семян редиса. Бюллетень науки и практики. 2018. № 11. С. 220-227. <http://www.bulletennauki.com/bachura-matveenkova>.
17. Наумова Л. Г., Ганич В. А. Изучение сорта винограда Цимлянский черный на коллекции в регионе происхождения. Русский виноград. 2024. № 28. С. 43-48.
18. Чулков В. В., Савченко Е. А. Влияние агроэкологических условий на формирование биологического потенциала виноградных кустов сорта Цимлянский Черный. Плодоводство и виноградарство Юга России. 2011. № 8. С. 29-34. <http://journal.kubansad.ru/pdf/11/02/04.pdf>.
19. Авдеенко И. А., Григорьев А. А. Эффективность применения препаратов на основе морских водорослей при производстве привитых саженцев винограда. Вестник КрасГАУ. 2023. № 9. С. 3-9.

References

1. Medvedeva L. N. Green technologies in substantiation of cluster-regional progressive development of agriculture. Irrigated agriculture. 2024. No. 4. Pp.10-16.
2. Melikhov V. V. New mechanisms of adaptation of agricultural plants to changing climatic conditions. Irrigated agriculture. 2019. No. 4. Pp. 6-7.
3. Medvedeva L. N., Frolova M. V., Moskovets M. V., Medvedev A. V. Introduction of nature-saving technologies – an environmental imperative in regional development, Bulletin of Volgograd State University. Economics. 2019. No. 4. Pp. 126-140.
4. Shchedrin V. N., Medvedeva L. N., Kupriyanov A. A. Intensification of apple orchards in the Volga-Don interfluvium. Proceedings of the NV AUK. 2023. No. 4. Pp. 13-28.
5. Novikov A. E., Rodin K. A., Moskovets M. V., Toropov A. Yu. Modern biotechnology of irrigation water melioration for precision farming. effective. increasing the productivity of agricultural crops. Irrigation farming. 2021. No. 1. Pp. 11-14.
6. Radzhabov A. K., Shchegolikhina T. A., Mishurov N. P. et al. Innovative technologies for the production of organic viticulture and winemaking products. Moscow: Federal State Budgetary Scientific Institution "Rosinformagrotech", 2023. 84 p.
7. Garmashova E. P., Drebot A. M., Fedorchenko E. A. Trends in the development of viticulture in Russia. Humanitarian Scientific Journal. 2025. No. 3. Pp. 26-33.
8. Ablaev R. R., Abramova L. S., Ablaev A. R. Modern trends in the development of viticulture and winemaking in the agro-industrial complex of the Russian Federation. International agricultural journal. 2023. № 2. Pp. 748-765.
9. Pavlyuchenko N. G., Kolesnikova O. I., Melnikova S. I., Zimina N. I. Use of physiologically active substances in the production of grape seedlings. Bulletin of KrasSAU. 2021. No. 12. Pp. 65-72.
10. Shibaeva T. G., Sherudilo E. G., Titov A. F. Seaweed extracts as plant biostimulants. Transactions of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2021. No. 3. Pp. 36-67.
11. Stranishevskaya E. P., Volkov Ya. A., Volkova M. V., Matveykina E. A. et al. Natural preparations in the organic system of grape protection in the conditions of the Southern Coast of Crimea, Magarach. Viticulture and winemaking. 2024. No. 2. Pp. 146-153.

12. Dergunov A. V., Lukyanov A. A., Mikhailovsky S. S., Radzhabov A. K. Productivity of grape plantations and the quality of wine products of the Krasnostop AZOS variety with foliar feeding with different groups of substances. Proceedings of the TSKhA. 2024. No. 5. Pp. 20-30.
13. Pavlyuchenko N. G., Zimina N. I., Melnikova S. I., Kolesnikova O. I. Assessment of the influence of biologically active substances on the development of grafted grape seedlings. Proceedings of the LV AUC. 2022. No. 4. Pp. 105-113.
14. Smolich O. S. Effect of a new generation organic preparation on the quality of Onitskansky Bely grapes, Modern vectors of scientific development. Collection of articles based on the materials of the annual scientific and practical conference of teachers based on the results of research. Krasnodar, 2024. Pp. 441-443.
15. Klimkina M. E., Kukusheva A. N., Kalieva A. B. Efficiency of using chlorella suspension as a biostimulator of tomato seeds. Bulletin of Toraigrov University. 2023. No. 1. Pp. 47-57.
16. Bachura Yu. M., Matveenkova T. D. Effect of microalgae culture fluid on the growth and development of radish seeds. Bulletin of Science and Practice. 2018. No. 11. Pp. 220-227. <http://www.bulletennauki.com/bachura-matveenkova>
17. Naumova L. G., Ganich V. A. Study of the Tsimlyansky Black grape variety in the collection in the region of origin. Russian Grape. 2024. No. 28. Pp. 43-48.
18. Chulkov V. V., Savchenko E. A. Influence of agroecological conditions on the formation of the biological potential of Tsimlyansky Cherny grape bushes. Fruit growing and viticulture of the South of Russia. 2011. No. 8. Pp. 29-34. <http://jourubansad.ru/pdf/11/02/04.pdf>.
19. Avdeenko I. A., Grigoriev A. A. Preparations efficiency based on seaweed in the grafted grape seedlings production. Bulliten KrasSAU. 2023. No 9. Pp. 3-9.

Информация об авторах

Щедрин Вячеслав Николаевич, академик РАН, доктор технических наук, научный консультант, ФГБНУ «ВНИИГи М им. А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44/2), ORCID 0000-0002-6170-0014, e-mail: schedrikova@bk.ru

Медведева Людмила Николаевна, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9), ORCID: 0000-0002-3650-2083, e-mail: milena.medvedeva2012@yandex.ru

Куприянов Андрей Александрович, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9), ORCID: 0000-0001-5129-3497, e-mail: kupriyanov19967@gmail.com

Гулькова Дарья Васильевна, ведущий специалист, ФХХ Зимовец В. Г. (Российская Федерация, 404143, Волгоградская обл., Среднеахтубинский р-н, п. Кияковка, ул. Пригорная, 19Б), e-mail: usadbavlz@mail.ru

Authors' Information

Shchedrin Vyacheslav Nikolaevich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Engineering Sciences, Scientific Consultant, All-Russian Research Institute of Irrigation and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, 127434, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya str., 44, Building 2), ORCID 0000-0002-6170-0014, e-mail: schedrikova@bk.ru

Medvedeva Lyudmila Nikolaevna, Leading Researcher, 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, 400002, Volgograd, Timiryazev str. 9), ORCID: 0000-0002-3650-2083, e-mail: mile-na.medvedeva2012@yandex.ru

Kupriyanov Andrey Aleksandrovich, Junior Researcher, 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, 400002, Volgograd, Timiryazev str. 9), ORCID: 0000-0001-5129-3497, e-mail: kupriyanov19967@gmail.com

Gulkova Daria Vasilievna, leading specialist, peasant farm Zimovets V. G. (Russian Federation, 404143, Volgograd region, Sredneakhtubinsky district, Kilyakovka village, Prigorная str., 19B), e-mail: usadbavlz@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-02

THE TECHNOLOGICAL FEATURES OF THE SUNFLOWER YIELD INCREASING IN THE CHERNOZEM ZONE

¹Belyaev A. I., ²Petrov N. Yu., ¹Petrov Yu. N., ¹Svetlichkin A. S., ²Gorbacheva A. S.,
³Salaev B. K., ³Arylov Yu. N., ³Bolaev B. K., ³Okonov M. M., ³Batyrov V. A.

¹Federal Research Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation

²Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

³Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov
Elista, Russian Federation

Corresponding author E-mail: npetrov60@list.ru

Received 15.10.2025

Submitted 26.11.2025

This study was conducted within the framework of the State Assignment "Digital technologies for managing agroforestry systems based on mathematical modeling, dynamic characteristics of biological productivity of forest belts and agrarian phytocenoses in the changing climate of southern Russia".

Abstract

Introduction. Relevance and importance of biological products in sunflower agricultural technics. In modern agricultural conditions, increasing sunflower yields is one of the key tasks. In this regard, special attention is paid to the use of biological products, which, in combination with elements of mineral nutrition,

can provide high activity in growth processes, especially in difficult soil and climatic conditions. One of these promising and environmentally friendly products and subsequent processing is the treatment of seed material with biological products. **The object of the study.** Three sunflower hybrids were involved in the agrarian biological variety testing: Bella (control), Avenger and Rhine. The recommended seeding rate for this zone was 55 thousand germinating seeds per hectare. **Materials and methods.** Field studies were conducted in 2024-2025 in the fields of IP "KFH" Shmelev Yu. A., located in the chernozem zone of the southern Oblivsky district of the Rostov region. During the experiment, the effect of seed treatment with the growth regulator Zerebra Agro on sunflower yields was studied. **Results and conclusions.** An analysis of the data obtained showed that the lowest yields of sunflower oilseeds were obtained on variants without the use of fertilizers. On the Bell hybrid, the average for two years was 1.98 t/ha, on the Avenger hybrid – 2.12 t/ha, on the Rhine hybrid – 2.23 t/ha.

Seed treatment with the growth regulator Zerebra Agro led to an increase in yields on the corresponding hybrids to 2.27, 2.36 and 2.77 t/ha, respectively. The maximum yield was obtained from seed treatment with a growth regulator and application of $N_{80}P_{26}K_{168}$ and amounted to 2.72, 2.98 and 3.24 t/ha for hybrids.

Among the studied hybrids, the Rhine hybrid showed the maximum responsiveness to the applied agricultural background.

Thus, the use of the Zerebra Agro biopreparation in combination with mineral fertilizers can significantly increase the yield of sunflower, which makes it a promising and effective tool in agricultural technology.

Keywords: conditions of sunflower cultivation, sunflower hybrids, yield of sunflower hybrids, plant growth regulators, Zerebra Agro, Mival Agro, sunflower cultivation technologies.

Citation. Belyaev A. I., Petrov N. Yu., Petrov Yu. N., Svetlichkin A. S., Gorbacheva A. S., Salaev B. K., Arylov Yu. N., Bolaev B. K., Okonov M. M., Batyrov V. A. The technological features of the sunflower yield increasing in the chernozem zone. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 26-32 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-02.

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

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

УДК 631.52:633.16

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ПОДСОЛНЕЧНИКА В ЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЕ

¹Беляев А. И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент РАН

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

¹Петров Ю. Н., кандидат сельскохозяйственных наук

¹Светличкин А. С., аспирант

²Горбачева А. С., кандидат экономических наук, доцент

³Салаев Б. К., доктор биологических наук, профессор

³Арылов Ю. Н., доктор биологических наук, профессор

³Болаев Б. К., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

³Оконов М. М., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

³Батыров В. А., доктор сельскохозяйственных наук

¹ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН»

г. Волгоград, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

³ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова»

г. Элиста, Российская Федерация

Исследование выполнено в рамках Гос. задания «Цифровые технологии управления агролесосистемами на основе математического моделирования, динамических характеристик биопродуктивности лесных полос и агрофитоценозов в условиях изменяющегося климата юга России».

Актуальность и значимость биопрепаратов в агротехнике подсолнечника. В современных условиях сельского хозяйства повышение урожайности подсолнечника является одной из ключевых задач. В связи с этим, особое внимание уделяется использованию биопрепаратов, которые в сочетании с элементами минерального питания способны обеспечить высокую активность в ростовых

процессах, особенно в трудных почвенно-климатических условиях. Одним из таких перспективных и безопасных для окружающей среды и последующей переработки препаратов является обработка семенного материала биопрепаратами. **Объект исследования.** В агробиологическом сортоиспытании были задействованы три гибрида подсолнечника: Белла (контроль), Авенжер и Рейна. Норма высева была принята рекомендованная для данной зоны – 55 тыс. всхожих семян на гектар. **Материалы и методы.** Полевые исследования проводились в 2024-2025 годах на полях ИП «КФХ» Шмелев Ю. А., расположенного в зоне чернозема южного Обливского района Ростовской области. В ходе эксперимента изучалось влияние обработки семян регулятором роста Зеребра Агро на урожайность подсолнечника. **Результаты и выводы.** Анализ полученных данных показал, что наименьшие величины урожайности маслосемян подсолнечника были получены на вариантах без применения удобрений. На гибриде – контроле (Белла) в среднем за два года она составила 1,98 т/га, на гибриде Авенжер – 2,12 т/га, на гибриде Рейна – 2,23 т/га.

Обработка семян регулятором роста Зеребра Агро привела к росту урожайности на соответствующих гибридах до 2,27, 2,36 и 2,77 т/га соответственно. Максимальная урожайность была получена от обработки семян регулятором роста и внесения $N_{80}P_{28}K_{168}$ и составила по гибридам 2,72, 2,98 и 3,24 т/га.

Среди изучаемых гибридов максимальную отзывчивость на применяемый агрофон показал гибрид Рейна.

Таким образом, использование биопрепарата Зеребра Агро в сочетании с минеральными удобрениями позволяет значительно повысить урожайность подсолнечника, что делает его перспективным и эффективным средством в агротехнике.

Ключевые слова: условия возделывания подсолнечника, гибриды подсолнечника, урожайность гибридов подсолнечника, регуляторы роста растений, Зеребра Агро, Мивал Агро, технологии возделывания подсолнечника.

Цитирование. Беляев, А. И., Петров Н. Ю., Петров Ю. Н., Светличкин А. С., Горбачева А. С., Салаев Б. К., Арылов Ю. Н., Болаев Б. К., Оконов М. М., Батыров В. А. Технологические особенности повышения урожайности подсолнечника в черноземной зоне. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 26-32. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-02.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования непосредственно участвовали в постановке программы, планировании эксперимента, учета и анализа полученных данных, в изложении выводов и формированию предложений производству. Авторы настоящей статьи изучили и одобрили представленный в окончательном виде вариант статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. По мнению М. Г. Абдулнатинова, Г. Н. Гасанова, Ю. Н. Плескачева, М. Р. Мусаева (2024) и других «...уменьшение затрат на производство сельскохозяйственной продукции, состоит в непосредственной взаимосвязи с получением количественных и качественных величин убираемого урожая, а главным показателем эффективности производства является продуктивность сельскохозяйственных культур».

Для повышения урожайности маслосемян подсолнечника с единицы площади, полеводами прорабатываются и внедряются современные элементы обработки почвы, перспективные технологии, например, как «нулевая обработка» или «прямой сев», используются современные химические препараты для борьбы с сорняками и вредителями (гербициды и пестициды).

Главенствующая роль в формировании высоко гарантированного и качественного урожая принадлежит посевному материалу. В настоящее время предлагаются различные гибриды, как отечественного производства, так и зарубежного, более устойчивые к конкретным болезням сельскохозяйственных культур, которые рекомендованы для конкретных почвенно-климатических регионов выращивания и обладающие при этом довольно высоким генетическим потенциалом продуктивности» [1, 2, 9].

По данным А. С. Бушневой (2020) и других «...в практической жизни, заявленные оригинатором параметры и свойства урожайности, полученные селекционерами на сортоучастках, в 1,5...2,0 раза имеют показатели ниже фактической урожайности. При этом не всегда крестьянско-фермерские хозяйства обладают финансовыми возможностями для закупки дорогих импортных семян, применения современных технологий и перспективных гербицидов» [3].

Результатами исследований Г. А. Медведева (2020) и других показано, что «...причинами, такого несоответствия фактически получаемой урожайности культуры и урожайности, которая заявлена производителем, может быть, прежде всего: несоответствие природно-климатических условий, как во время посева, так и во время вегетации растений; истощение почвы, на которой возделывается подсолнечник; получение маслосемян в регионах рискованного земледелия, к которым относится преобладающая часть пахотных земель России, в том числе и Волгоградский регион.

При таких условиях необходима дополнительная предпосевная подготовка посевного материала, которая направлена как на стимуляцию ростовых процессов, так и на активную борьбу с болезнями и патогенными микроорганизмами, которые существенно тормозят рост и развитие растений.

Научными исследованиями доказано, что качественная и правильная подготовка семенного материала – это залог оптимальной урожайности» [7, 8].

Данные, полученные М. А. Жижиным (2020) и другими показано, что «...в современном земледелии обработка семян перед высевом является одним из более эффективных способов в цикле производственной деятельности по возделыванию продукции растениеводства. Ведущими задачами данной подготовки являются для определенной культуры: гибриды, места возделывания, выбор из уже известных практике и науке элементов, которые более эффективно подавляют патогенные микроорганизмы, стимулирующие рост и в то же время экономически и технически обоснованные для реализации в конкретных условиях» [5].

Материалы и методы. Полевые опыты проводились в 2024-2025 гг. на полях индивидуального предпринимателя «Крестьянское фермерское хозяйство» Шмелева Ю. А., расположенных в Обливском районе Ростовской области, в зоне чернозема южного. Почвы характеризовались содержанием гумуса в пахотном слое в пределах 2,98-3,09 %, подвижного фосфора – 19,6-21,6 мг/кг, подвижного калия – 320-370 мг/кг, гидролизуемого азота – 68,9-82,4 мг/кг.

В агробиологическом сортоиспытании изучались три гибрида подсолнечника: Белла (контроль), Авенжер и Рейна. Норма высева была принята рекомендованная для данного района – 55 тыс. всхожих семян на гектар. Повторность в опыте была четырехкратной. Посев осуществлялся пунктирным способом с использованием сеялки Moonset, с междурядьем 0,70 м. Площадь учетной делянки составляла 112 м² (5,6 м × 20,0 м).

Для получения 1 тонны маслосемян подсолнечника требуется 50 кг азота, 20 кг фосфора и 120 кг калия. Основное количество питательных веществ подсолнечник поглощает в фазу от формирования корзинки до цветения. К фазе цветения подсолнечник поглощает 60 % азота, 80 % фосфора и 90 % калия от общего выноса из почвы за весь период вегетации.

Расчет минерального питания при выращивании гибридов подсолнечника:

- Для получения 1 т/га необходимо азота $50 \times 1,0 \times 0,8$ (коэффициент использования) = 40 кг д. в.; фосфора $20 \times 1,0 \times 0,7 = 14$ кг д. в.; калия $120 \times 1,0 \times 0,7 = 82$ кг д. в.
- Для получения 2 т/га необходимо азота $50 \times 2,0 \times 0,8 = 80$ кг д. в.; фосфора $20 \times 2,0 \times 0,7 = 28$ кг д. в.; калия $120 \times 2,0 \times 0,7 = 168$ кг д. в.
- Для получения 3 т/га необходимо азота $50 \times 3,0 \times 0,8 = 120$ кг д. в.; фосфора $20 \times 3,0 \times 0,7 = 42$ кг д. в.; калия $120 \times 3,0 \times 0,7 = 252$ кг д. в.

Семенной материал перед посевом обрабатывался биопрепаратом. В проведенных опытах применялся препарат Зеребра Агро – водный раствор, содержащий 500 мг/л коллоидного серебра и 100 мг/л полигексаметилен бигуанид гидрохлорида. Расход препарата составлял 100 мл/т, расход рабочего раствора – 10 л/т.

Результаты и обсуждение. Урожайность подсолнечника находится в прямой зависимости от воздействия условий окружающей среды: осадков, солнечной энергии, влажности воздуха и. т.д. Внедрение искусственной предпосевной стимуляции биологическими способами на фоне расчетного минерального питания позволяет снизить влияние неблагоприятных природных факторов, ускорить процессы роста и выносливости растений в сложившихся сложных условиях развития.

Результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Урожайность гибридов подсолнечника в зависимости от агрофона в 2024-2025 гг., т/га
Table 1 – Yield of sunflower hybrids depending on the agricultural background in 2024-2025, t/ha

Агрофон / Agricultural background	Год исследования / Year of research		Среднее / Average
	2024	2025	
Белла (контроль) / Bella (control)			
Контроль / Control	2,03	1,94	1,98
N ₄₀ P ₁₄ K ₈₂	2,37	2,26	2,31
N ₈₀ P ₂₈ K ₁₆₈	2,54	2,39	2,46
N ₁₂₀ P ₄₂ K ₂₅₂	2,42	2,34	2,38
Зеребра Агро / Zerebra Agro	2,31	2,24	2,27
N ₄₀ P ₁₄ K ₈₂ + Зеребра Агро / Zerebra Agro	2,69	2,51	2,60
N ₈₀ P ₂₈ K ₁₆₈ + Зеребра Агро / Zerebra Agro	2,76	2,68	2,72
N ₁₂₀ P ₄₂ K ₂₅₂ + Зеребра Агро / Zerebra Agro	2,72	2,60	2,66
Авенджер / Avenger			
Контроль / Control	2,16	2,09	2,12
N ₄₀ P ₁₄ K ₈₂	2,64	2,57	2,60
N ₈₀ P ₂₈ K ₁₆₈	2,85	2,78	2,81
N ₁₂₀ P ₄₂ K ₂₅₂	2,76	2,69	2,72
Зеребра Агро / Zerebra Agro	2,39	2,33	2,36
N ₄₀ P ₁₄ K ₈₂ + Зеребра Агро / Zerebra Agro	2,93	2,80	2,86
N ₈₀ P ₂₈ K ₁₆₈ + Зеребра Агро / Zerebra Agro	3,09	2,87	2,98
N ₁₂₀ P ₄₂ K ₂₅₂ + Зеребра Агро / Zerebra Agro	2,97	2,84	2,90
Рейна / Rhine			
Контроль / Control	2,28	2,19	2,23
N ₄₀ P ₁₄ K ₈₂	2,92	2,74	2,83
N ₈₀ P ₂₈ K ₁₆₈	3,11	2,96	3,03
N ₁₂₀ P ₄₂ K ₂₅₂	3,07	2,84	2,95
Зеребра Агро / Zerebra Agro	2,83	2,71	2,77
N ₄₀ P ₁₄ K ₈₂ + Зеребра Агро / Zerebra Agro	3,08	2,91	2,99
N ₈₀ P ₂₈ K ₁₆₈ + Зеребра Агро / Zerebra Agro	3,39	3,07	3,24
N ₁₂₀ P ₄₂ K ₂₅₂ + Зеребра Агро / Zerebra Agro	3,18	3,01	3,09

НСР₀₅ = 0,021 0,016

Аналитический обзор представленного материала свидетельствует о том, что наименьшие показатели урожайности маслосемян подсолнечника были сформированы на вариантах естественного плодородия почвы. На гибриде – контроле (Белла) в среднем за два года она составила 1,98 т/га, на гибриде Авенжер – 2,12 т/га, на гибриде Рейна – 2,34 т/га. Обработка семян биопрепаратом Зеребра Агро привела к повышению урожайности на соответствующих гибридах до 2,27, 2,36 и 2,77 т/га. Максимальная урожайность была получена от обработки семян Зеребра Агро и внесения N₈₀P₂₈K₁₆₈ и составила по гибридам 2,72, 2,98 и 3,24 т/га. Среди изучаемых гибридов максимальную отзывчивость на применяемый агрофон показал гибрид Рейна.

Заключение. Рекомендации по возделыванию подсолнечника для сельхозтоваропроизводителей.

Для достижения высоких показателей урожайности и качества маслосемян подсолнечника в условиях чернозема южного рекомендуется использовать следующие агротехнические приемы:

Гибрид Рейна с предпосевной обработкой биопрепаратом Зеребра Агро:

- Предпосевная обработка семян биопрепаратом Зеребра Агро в дозировке 20 мл на тонну семян способствует повышению всхожести и устойчивости растений к неблагоприятным факторам окружающей среды.

- Расход рабочего раствора составляет 10 литров на тонну семян.

○ Внесение минеральных удобрений в дозировке $N_{80}P_{28}K_{168}$ обеспечивает растения необходимыми элементами питания, что способствует формированию высокой урожайности и улучшению качества маслосемян.

Применение данных рекомендаций позволит сельхозтоваропроизводителям повысить урожайность и качество маслосемян подсолнечника, что в свою очередь обеспечит увеличение доходности и рентабельности производства.

Conclusions. Recommendations on sunflower cultivation for agricultural producers.

To achieve high yields and quality of sunflower oilseeds in the conditions of southern chernozem, it is recommended to use the following agrotechnical techniques:

Rhine hybrid with pre-sowing treatment with Zerebra Agro biologics:

Pre-sowing treatment of seeds with Zerebra Agro biologics in a dosage of 20 ml per ton of seeds helps to increase germination and plant resistance to adverse environmental factors.

The consumption of the working solution is 10 liters per ton of seeds.

Application of mineral fertilizers in a dosage of $N_{80}P_{28}K_{168}$ provides plants with essential nutrients, which contributes to the formation of high yields and improved quality of oilseeds.

The application of these recommendations will allow agricultural producers to increase the yield and quality of sunflower oilseeds, which in turn will ensure an increase in profitability and profitability of production.

Библиографический список

1. Абдулнатилов М. Г., Гасанов Г. Н., Плескачев Ю. Н., Мусаев М. Р. Засоренность посевов, агрофизические показатели плодородия почвы и продуктивность подсолнечника в зависимости от предшественников в условиях орошения. Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса. 2024. № 5 (77). С. 55-64.
2. Абдулнатилов М. Г. Продуктивность подсолнечника в зависимости от срока проведения основной обработки почвы и влагозарядкового полива в Западном Прикаспии. Аграрный Вестник Северного Кавказа. 2023. № 2 (50). С. 52-57.
3. Бушнев, А. С., Демуринов Я. Н., Орехов Г. И. Формирование продуктивных экспериментальных вертикальных гибридов подсолнечника селекции ВНИИМК при различной площади питания растения. Масличные культуры. 2020. № 1 (181). С. 57-69.
4. Васин В. Г., Потапов Д. В., Саниев Р. Н. Применение микроудобрительной смеси Агроминерал при возделывании подсолнечника по системе Clearfield в лесостепи Среднего Поволжья. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 3. С. 3-11.
5. Жижин М. А., Киселева Л. В. Приемы повышения продуктивности гибридов подсолнечника путем применения органических удобрений в условиях лесостепи Среднего Поволжья. Известия Самарской государственной академии. 2020. № 1. С. 17-23.
6. Мадьякин Е. В., Горянин О. И. Перспективы возделывания российских сортов и гибридов подсолнечника в Поволжье. Аграрный научный журнал. 2020. № 10. С. 46-49.
7. Медведев Г. А., Михальков Д. Е., Екатериничева Н. Г. Урожайность подсолнечника в различных системах возделывания на черноземах южных Волгоградской области. Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 4 (76). С. 35-46.
8. Медведев Г. А., Екатериничева Н. Г., Ткаченко А. В. Влияние приемов агротехники на урожайность подсолнечника в подзоне южных черноземов Волгоградской области. Известия Нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1 (61). С. 74-82.
9. Торчков Х. Ш., Тутукова Д. А., Кагермазова З. М. Влияние некоторых агроэлементов технологии возделывания на эффективность выращивания подсолнечника в условиях степной зоны Кабардино-Балкарии. Масличные культуры. 2022. Выпуск 4 (192). С. 53-59.
10. Чамурлиев О. Г., Сидоров А. Н., Холод А. А., Чамурлиев Г. О. Изучение эффективности минеральных удобрений на подсолнечнике в открытом грунте при орошении в условиях Волгоградской области. Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса. 2022. № 4 (69). С. 69-74.
11. Medvedev G. A., Ivanov V. M., Filin V. I. The influence of growth regulators on the productivity of the sunflower under cultivation by innovative technologies in the southern chernozem the Volgograd areas. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. 786. Pp. 1-5.
12. Vezzani F. M., Bearel M. H. The importance of plants to development and maintenance of soil structure, microbial communities and ecosystem functions. Soil and Tillage Research. 2018. V. 175. Pp. 139-149.

References

1. Abdulnatipov M. G., Gasanov G. N., Pleskachev Yu. N., Musaev M. R. Weed infestation of crops, agrophysical indicators of soil fertility and sunflower productivity depending on predecessors under irrigation conditions. News of the Lower Volga Agro-University Complex. 2024. No. 5 (77). Pp. 55-64.
2. Abdulnatipov M. G. Sunflower productivity depending on the timing of primary tillage and moisture-charging irrigation in the Western Caspian region. Agrarian Bulletin of the North Caucasus. 2023. No. 2 (50). Pp. 52-57.
3. Bushnev A. S., Demurin Ya. N., Orekhov G. I. Formation of productive experimental vertical sunflower hybrids bred by VNIIMK with different plant nutrition areas. Oil crops. 2020. No. 1 (181). Pp. 57-69.
4. Vasin V. G., Potapov D. V., Saniev R. N. Application of the agrarian mineral micro fertilizer mixture in sunflower cultivation according to the Clearfield system in the forest-steppe of the Middle Volga region. Bulletin of the Samara State Agricultural Academy. 2020. No. 3. Pp. 3-11.
5. Zhizhin M. A., Kiseleva L. V. Methods for increasing the productivity of sunflower hybrids by using organic fertilizers in the forest-steppe conditions of the Middle Volga region. Bulletin of the Samara State Academy. 2020. No. 1. Pp. 17-23.

6. Madyakin E. V., Goryanin O. I. Prospects for the cultivation of Russian varieties and hybrids of sunflower in the Volga region. Agrarian scientific journal. 2020. No. 10. Pp. 46-49.
7. Medvedev G. A., Mikhalkov D. E., Ekaterinicheva N. G. Sunflower yield in various cultivation systems on southern chernozems of the Volgograd region. News of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2024. No. 4 (76) Pp. 35-46.
8. Medvedev G. A., Ekaterinicheva N. G., Tkachenko A. V. Influence of agricultural practices on sunflower yield in the southern chernozem subzone of the Volgograd region. News of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2021. No. 1 (61). Pp. 74-82.
9. Torchokov H. Sh., Tutukova D. A., Kagermazova Z. M. Influence of some agroelements of cultivation technology on the efficiency of sunflower cultivation in the steppe zone of Kabardino-Balkaria. Oil crops. 2022. Issue. 4 (192). Pp. 53-59.
10. Chamurliov O. G., Sidorov A. N., Kholod A. A., Chamurliov G. O. Study of the efficiency of mineral fertilizers on sunflower in open ground under irrigation in the Volgograd region. News of the Nidnevolzhsky Agro-University Complex. 2022. No. 4 (69). Pp. 69-74.
11. Medvedev G. A., Ivanov V. M., Filin V. I. The influence of growth regulators on the productivity of the sunflower under cultivation by innovative technologies in the southern chernozem the Volgograd areas. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. 786. Pp. 1-5.
12. Vezzani F. M., Bearel M. H. The importance of plants to development and maintenance of soil structure, microbial communities and ecosystem functions. Soil and Tillage Research. 2018. V. 175. Pp. 139-149.

Информация об авторах

Беляев Александр Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97).

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

Петров Юрий Николаевич, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97).

Светличкин Андрей Сергеевич, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26).

Горбачева Анна Семеновна, кандидат экономических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26).

Салаев Бадма Катинович, 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

Арылов Юрий Нимеевич, доктор биологических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), РИНЦ: SPIN-код: 9337-6150, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6490-3837>, e-mail: kalmsaiga@mail.ru

Болаев Баатр Канурович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), РИНЦ: SPIN-код: 6070-2540, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8210-9971>, e-mail: kanur64@mail.ru

Оконов Мутул Максимович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), РИНЦ: SPIN-код: 2653-3704, e-mail: okonov.51@mail.ru

Батыров Владимир Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, и.о. заведующего кафедрой, ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), ORCID: 0000-0003-2183-4058, e-mail: vladimir-ba@mail.ru

Authors' Information

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

Belyaev Aleksandr Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Federal Research Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97).

Petrov Yuri Nikolaevich, Senior Researcher, Federal Research Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation, and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97).

Svetlichkin Andrey Sergeevich, Postgraduate Student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26).

Gorbacheva Anna Semenovna, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26).

Arylov Yuri Nimeevich, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, 358000, Kalmykia, Elista, Pushkin str., 11), RSCI: SPIN-code: 9337-6150, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6490-3837>, e-mail: kalmsaiga@mail.ru

Bolaev Baatr Kanurovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, 358000, Kalmykia, Elista, Pushkin str., 11), RSCI: SPIN-code: 6070-2540, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8210-9971>, e-mail: kanur64@mail.ru

Okonov Mutul Maksimovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, 358000, Kalmykia, Elista, Pushkin str., 11), RSCI: SPIN-code: 2653-3704, e-mail: okonov.51@mail.ru

Batyrov Vladimir Aleksandrovich, Doctor of Agricultural Sciences, Acting Head of the Department, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, 358000, Kalmykia, Elista, Pushkin str., 11), ORCID: 0000-0003-2183-4058, e-mail: vladimir-ba@mail.ru

Salaev Badma Katinovich, 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

THE WATER CONSUMPTION OF COTTON UNDER THE VARIOUS IRRIGATION REGIMES IN THE CONDITIONS OF THE ROSTOV REGION**Babichev A. N., Balakai G. T., Yurkova R. E., Andreeva T. P., Selitsky S. A.***Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems
Novocherkassk, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: rita6161@list.ru

Received 25.08.2025

Submitted 18.09.2025

Summary

The article presents the results of research on the determination of water consumption parameters and cotton yield indicators depending on irrigation regimes in the Rostov region. The most promising options are those with cotton irrigation regimes with maintaining the soil moisture threshold in the 0.6 m layer above 80 % HB (1 m) and with a decrease of 20 % (0.8 m).

Abstract

Introduction. Cotton, although it is a drought-resistant crop, consumes a large amount of water during the growing season, therefore, irrigation is a mandatory agricultural method for growing cotton in industrial conditions. In order to obtain stable yields and increase the efficiency of cotton cultivation, it is necessary to develop irrigation regimes and determine the parameters of crop water consumption. **Object.** The object of research is cotton of the PGSSH 1 variety. **Materials and methods.** The research was conducted in the Oktyabrsky district of the Rostov region in 2022-2024. The soils of the experimental site are ordinary heavy loamy chernozem. Irrigation was carried out by drip irrigation systems. The experimental scheme included 4 options: the calculated moisture level in the soil layer of 0-60 cm is not lower than 80 % HB (1 m, control), a decrease in irrigation rates by 20 % (0.8 m) and 40 % (0.6 m), an increase by 20 % (1.2 m). Water consumption was calculated according to the main periods of cotton development – germination, budding, flowering, early ripening, full ripening and, in general, during the growing season. The consumption indicators of water consumption were calculated using the water balance method. The field experiments and observations were conducted on the basis of generally accepted methods. **Results and conclusion.** It was found that, on average, 8 irrigations were carried out over the years of research, the irrigation rate varied from 150 to 290 m³/ha, depending on the irrigation regime, and the irrigation rate ranged from 1200 to 2320 m³/ha. The share of the irrigation norm in the structure of total water consumption was 37.7-52.1 %, precipitation – 45.9-59.07 %. The average daily water consumption of cotton reaches its maximum values during the periods of budding – flowering and flowering – fruiting – 28.47-38.06 and 25.44-37.69 m³/ha per day, respectively. It was found that the most promising options are those with cotton irrigation regimes with maintaining the soil moisture threshold in the 0.6 m layer above 80 % HB (1 m) and with a decrease of 20 % (0.8 m), since with a yield of raw cotton of 1.56 and 1.25 t/ha, the least amount was spent on creating 1 ton of products. water – 2537.09 and 2855.81 m³/t, respectively. The total water consumption varied from 3181.87 to 4457.37 m³/ha.

Keywords: cotton, cotton irrigation, cotton drip irrigation, cotton water consumption, cotton yield.

Citation. Babichev A. N., Balakai G. T., Yurkova R. E., Andreeva T. P., Selitsky S. A. The water consumption of cotton under the various irrigation regimes in the conditions of the Rostov region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 33-41 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-03.

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

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

УДК 631.67

**ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ ХЛОПЧАТНИКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ОРОШЕНИЯ
В УСЛОВИЯХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

Бабичев А. Н., доктор сельскохозяйственных наук
Балакай Г. Т., доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Юркова Р. Е., кандидат сельскохозяйственных наук
Андреева Т. П., кандидат сельскохозяйственных наук
Селицкий С. А., кандидат сельскохозяйственных наук

ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»
г. Новочеркасск, Российская Федерация

Актуальность. Хлопчатник, хотя и является засухоустойчивой культурой, за вегетацию расходует большое количество воды, поэтому в производственных условиях орошение является обязательным агроприемом для выращивания хлопчатника. Для получения стабильных урожаев и повы-

шения эффективности возделывания хлопчатника необходима разработка режимов орошения и определение параметров водопотребления культуры. **Объект.** Объектом исследований является хлопчатник сорта ПГССХ 1. **Материалы и методы.** Исследования проводились в Октябрьском районе Ростовской области в 2022-2024 гг. Почвы опытного участка – чернозем обыкновенный тяжело-суглинистый. Орошение проводилось системами капельного орошения. Схема опыта включала 4 варианта: расчетный уровень увлажнения в слое почвы 0-60 см не ниже 80 % НВ (1 м, контроль), снижение поливных норм на 20 % (0,8 м) и 40 % (0,6 м), увеличение на 20 % (1,2 м). Водопотребление рассчитывалось по основным периодам развития хлопчатника – всходы, бутонизация, цветение, начало созревания, полное созревание и в целом за вегетацию. Расходные показатели водопотребления рассчитывались водобалансовым методом. Закладка полевых опытов и наблюдения проводились на основе общепринятых методик. **Результаты и выводы.** Установлено, что в среднем за годы исследований проведено по 8 поливов, поливная норма в зависимости от режима орошения варьировала от 150 до 290 м³/га, оросительная норма – от 1200 до 2320 м³/га. Доля оросительной нормы в структуре суммарного водопотребления составила 37,7-52,1 %, осадков – 45,9-59,07 %. Максимальных значений среднесуточное водопотребление хлопчатника достигает в периоды развития бутонизация – цветение и цветение – плодообразование – 28,47-38,06 и 25,44-37,69 м³/га в сутки соответственно. Установлено, что наиболее перспективными являются варианты с режимами орошения хлопчатника с поддержанием порога влажности почвы в слое 0,6 м выше 80 % НВ (1 м) и со снижением на 20 % (0,8 м), т. к. при урожайности хлопка-сырца 1,56 и 1,25 т/га на создание 1 т продукции затрачено наименьшее количество воды – 2537,09 и 2855,81 м³/т соответственно. Суммарное водопотребление изменялось от 3181,87 до 4457,37 м³/га.

Ключевые слова: хлопчатник, орошение хлопчатника, капельный полив хлопчатника, водопотребление хлопчатника, урожайность хлопчатника.

Цитирование. Бабичев А. Н., Балакай Г. Т., Юркова Р. Е., Андреева Т. П., Селицкий С. А. Водопотребление хлопчатника при различных режимах орошения в условиях Ростовской области. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 33-41. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-03.

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. Возделывание хлопчатника, стратегически важной культуры, является в настоящее время актуальной задачей для сельского хозяйства России. Успешное выращивание хлопчатника обеспечивается соблюдением физиологических потребностей этой культуры в количестве тепла и влаги. Природные условия России, пригодные для возделывания хлопчатника, сосредоточены на юге страны, где при наличии достаточных тепловых ресурсов наблюдается дефицит атмосферных осадков (Дедов А. А., 2020) [1, 2]. Хлопчатник, хотя и является засухоустойчивой культурой, за вегетацию расходует большое количество воды [3, 4], поэтому в производственных условиях орошение является обязательным агроприемом для выращивания хлопчатника.

В условиях дефицита водных ресурсов актуальным является использование ресурсосберегающих способов орошения – дождевания и капельного орошения. Многие исследования ученых в нашей стране и за рубежом направлены на поиск баланса между затратами на воду и урожайностью хлопка-сырца.

Исследования, проведенные на светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья по изучению режимов орошения при капельном поливе и дождевании, позволили установить, что наиболее оптимальным являлся вариант с поддержанием предполивной влажности почвы 75-75-70 % НВ по периодам вегетации хлопчатника, при котором были наименьшими затраты оросительной воды – от 378 до 858 м³/т при дождевании и от 224 до 481 м³/т – при капельном поливе. Урожайность хлопка-сырца соответственно при этих способах полива составила 2,33-5,28 т/га и 2,51-5,41 т/га [5, 6].

В Таджикистане были проведены исследования по изучению влияния режимов орошения и определения эффективности капельного орошения и полива по бороздам. Выявлено, что переход на современный способ орошения хлопчатника позволяет увеличить урожайность почти в 2 раза при экономии оросительной воды до 60 % [7].

Для южных и северных районов республики Каракалпакстан (Узбекистан) определено, что для средневолокнистых сортов хлопчатника «Чимбай-5018», «Султан» и «С-4727» предполивная влажность почвы на уровне 80-80-60 % НВ наилучшим образом влияла на рост и развитие культуры (Мамбетназаров Б. С. и др., 2021). Установление рационального режима орошения по периодам вегетации играет ключевую роль в получении высокого урожая хлопка-сырца при эффективном его возделывании, что подтверждается многими исследованиями [8-13].

Получение высоких урожаев хлопчатника при возделывании его на юге Ростовской области возможно только на орошаемых землях. Технология возделывания хлопчатника на орошении в настоящее время малоизучена. Поэтому актуальной задачей является установление критических периодов развития растений в потребности воды и разработка режимов орошения хлопчатника.

Целью исследований являлось изучение влияния режимов орошения на параметры водопотребления и урожайность хлопчатника.

Материалы и методы. Исследования проводились в течение трех лет с 2022 г. по 2024 г. в Октябрьском районе Ростовской области. Почвы на участке проведения исследований представлены черноземом обыкновенным тяжелосуглинистым. Наименьшая влагоемкость в слое почвы 0-60 см составляла 29,7 %, плотность сложения – 1,31 т/м³.

Высевался сорт хлопчатника ПГССХ 1. Поливы осуществлялись системами капельного орошения. Применялись капельные линии диаметром 16 мм с шагом между капельницами 30 см, расход которых 1,6 л/ч. Расходные показатели водопотребления рассчитывались водобалансовым методом.

Суммирующие показатели водопотребления определялись на вариантах опыта, включающих расчетный уровень увлажнения в слое почвы 0-60 см не ниже 80 % НВ (1 м, контроль), варианты со снижением поливных норм на 20 % (0,8 м), 40 % (0,6 м) и увеличением на 20 % (1,2 м). Водопотребление рассчитывалось по основным периодам развития хлопчатника – всходы, бутонизация, цветение, начало созревания, полное созревание и в целом за вегетацию. Размер делянок – 70 м² (25,0 × 2,8 м). Учетная площадь делянок составила 35 м². Повторность в опытах четырехкратная.

На рисунке 1 изображен опытный участок с посевом хлопчатника на капельном орошении.



Рисунок 1 – Хлопчатник, возделываемый на капельном орошении
Figure 1 – Cotton cultivated by drip irrigation

Основные метеорологические данные за вегетационный период в годы исследований приведены в таблице 1.

Характеризуя вегетационные периоды развития хлопчатника по степени обеспеченности осадками, следует отметить, что все годы исследований были разными: 2022 г. был засушливым (гидротермический коэффициент ГТК составил 0,52), 2023 г. – средnezасушливым (ГТК = 1,08), 2024 г. – очень засушливым (ГТК = 0,39).

Таблица 1 – Метеорологические данные за 2022-2024 гг., м/с г. Ростов-на-Дону
Table 1 – Meteorological data for 2022-2024, m/s, Rostov-on-Don

Месяц / Month	Сумма атмосферных осадков, мм / The amount of precipitation, mm			Среднесуточная температура воздуха, °C / Average daily air temperature, °C			Относительная влажность воздуха, % / Relative humidity of the air, %		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Май / May	36,5	112,1	2	15,2	16	16,2	57	67	44
Июнь / June	4,3	90,1	68,6	23,6	20,4	24,6	46	64	53
Июль / July	39,8	35,4	61,7	24,3	23,6	27,5	49	61	38
Август / August	23,7	11,2	8	26,6	25,4	24,8	42	51	43
Сентябрь / September	26,7	79,1	31	17,5	18,7	21,8	62	57	36
Октябрь / October	58	43	22,5	11,4	12,3	16,2	73	69	44
Сумма / The amount	189	370,9	193,8	-	-	-	-	-	-
Среднее / Average	-	-	-	19,8	19,4	21,9	54,8	61,5	43,1

Опыты проводились на основе методик полевых исследований, разработанных Б. А. Доспеховым, В. Н. Плешаковым.

Результаты и обсуждение. Хлопчатник, хоть и считается засухоустойчивой культурой, но для получения качественного волокна необходимо создание условий, удовлетворяющих потребности растений в достаточном количестве воды во все периоды развития, особенно при возделывании в засушливом климате. В задачу наших исследований входило установление зависимости суммарного водопотребления от режимов орошения хлопчатника.

Поливной режим хлопчатника по вариантам опыта складывался в зависимости от уровня влагообеспеченности года. В среднем за три года было проведено по 8 поливов. Поливная норма на контрольном варианте составила 240 м³/га, на остальных вариантах – варьировала от 150 до 290 м³/га. Соответственно, оросительные нормы в среднем изменялись от 1520 до 2320 м³/га. Данные, характеризующие поливной режим, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Поливной режим хлопчатника, 2022-2024 гг.
Table 2 – Irrigation regime of cotton, 2022-2024

Вариант / Option	Число поливов, шт. / Number of waterings, pcs.	Поливная норма, м ³ /га / Irrigation rate, m ³ /ha	Оросительная норма, м ³ /га / Irrigation rate, m ³ /ha
1 м (80 % НВ в слое 0,6 м), контроль / 1 m (80 % НВ in 0.6 m layer), control	8	240	1920
0,8 м	8	190	1520
0,6 м	8	150	1200
1,2 м	8	290	2320

Структура суммарного водопотребления включает сумму осадков за период вегетации, запасов почвенной влаги и оросительной нормы. Подпитку грунтовыми водами не учитывали, т. к. их уровень на полях, где проводились исследования, был ниже 3 м.

В таблице 3 приведены значения суммарного водопотребления за годы исследований и его структурных составляющих в зависимости от условий увлажнения почвы. Результаты проведенных исследований показали, что различные условия увлажнения почвы способствовали формированию разных показателей структурных элементов суммарного водопотребления. В среднем за годы исследований на долю атмосферных осадков пришлось

45,9-59,1 % от общей величины суммарного водопотребления в зависимости от условий влагообеспеченности. Доля оросительной нормы в структуре суммарного водопотребления составила 37,7-52,1 %. Влага из почвы использована от 1,7 до 3,2 %. На формирование 1 т хлопка-сырца, в зависимости от режима орошения было затрачено от 2538 до 3247 м³ воды, о чем свидетельствует коэффициент водопотребления.

Таблица 3 – Суммарное водопотребление хлопчатника в зависимости от режима орошения в среднем за 2022-2024 гг.

Table 3 – Total water consumption of cotton, depending on the irrigation regime, on average for 2022-2024

Вариант / Option	Использовано влаги из почвы, м ³ /га / Moisture content from the soil, m ³ /ha	Осадки, м ³ /га / Precipitation, m ³ /ha	Оросительная норма, м ³ /га / Irrigation rate, m ³ /ha	Суммарное водопотребление, м ³ /га / Total water consumption, m ³ /ha	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Коэффициент водопотребления, м ³ /т / Water consumption coefficient, m ³ /t
1 м (80 % НВ в слое 0,6 м), контроль / 1 m (80 % НВ in 0.6 m layer), control	66	1972	1920	3958	1,56	2538
0,8 м	107	1942	1520	3570	1,25	2856
0,6 м	102	1880	1200	3182	0,98	3247
1,2 м	92	2046	2320	4457	1,41	3161

Наибольшее его значение зафиксировано на варианте со снижением поливной нормы на 40 % – 3247 м³/т, а также на варианте с увеличенной поливной нормой на 20 % – 3161 м³/т. Наиболее экономно использовалась влага в варианте с расчетным режимом орошения 1 м и со снижением поливной нормы на 20 %.

Наблюдения за расходом воды растениями хлопчатника в течение вегетации показали, что в период цветение – плодообразование происходит наибольшее потребление влаги на формирование, как листостебельной массы, так и коробочек. В зависимости от режима орошения величина водопотребления в этот период составила 1012-1627 м³/га. В дальнейшем, при созревании, листовая масса у растений сокращается, и потребность в воде снижается, что связано с биологическими особенностями культуры хлопчатника (таблица 4).

Таблица 4 – Суммарное водопотребление хлопчатника по периодам роста и развития в среднем за 2022-2024 гг.

Table 4 – Total water consumption of cotton by periods of growth and development on average for 2022-2024

Вариант / Option	Суммарное водопотребление по периодам роста, м ³ /га / Total water consumption by growth periods, m ³ /ha				
	Всходы – бутонизация / Shoots – budding	Бутонизация – цветение / Budding – flowering	Цветение – начало созревания / Flowering is the beginning of maturation	Начало созревания – полное созревание / The beginning of maturation is full maturation	Всходы – полная спелость / Shoots – full ripeness
1 м (80 % НВ в слое 0,6 м), контроль / 1 m (80 % НВ in 0.6 m layer), control	929	838	1441	750	3958
0,8 м	920	709	1244	697	3570
0,6 м	830	642	1012	698	3182
1,2 м	985	959	1627	887	4457

Различные условия влагообеспеченности на посевах хлопчатника повлияли на величину сбора хлопка-сырца (таблица 5).

Таблица 5 – Урожайность хлопчатника при различных режимах орошения, 2022-2024 гг.
Table 5 – Cotton yield under various irrigation regimes, 2022-2024

Вариант / Option	Урожайность, т/га / Yield, t/ha				Прибавка урожая / Increased yield	
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее / average	т/га / t/ha	%
1 м (80 % НВ в слое 0,6 м), контроль / 1 м (80 % НВ in 0.6 m layer), control	1,25	1,53	1,91	1,56	0	0
0,8 м	0,64	1,48	1,64	1,25	-0,31	19,9
0,6 м	0,33	1,23	1,38	0,98	-0,58	37,2
1,2 м	1,00	1,46	1,76	1,41	-0,15	9,6
НСР ₀₅ , т/га / t/ha	0,017	0,016	0,029	–		

Учет урожая хлопчатника по вариантам опыта за три года исследований показал, что наибольшее количество хлопка-сырца получено на варианте 1 м с поддержанием влажности почвы в слое 0-0,6 м не ниже 80 % НВ – 1,56 т/га. Снижение поливной нормы на 20 и 40 % привело к снижению урожайности на 0,31 и 0,58 т/га или 19,9 и 37,2 % соответственно. Недобор хлопка-сырца на варианте 1,2 м с увеличением поливной нормы на 20 % составил 0,15 т/га или 9,6 %. Наибольшая урожайность хлопка-сырца по вариантам опыта получена в 2024 г. – от 1,38 до 1,91 т/га.

В результате анализа полученных данных по суммарному водопотреблению в зависимости от режима орошения и урожайности хлопчатника можно сделать вывод о взаимосвязи этих показателей, которая подтверждается уравнением с высоким коэффициентом аппроксимации. На рисунке 2 приведен график взаимосвязи урожайности хлопчатника и суммарного водопотребления за 2022-2024 гг.

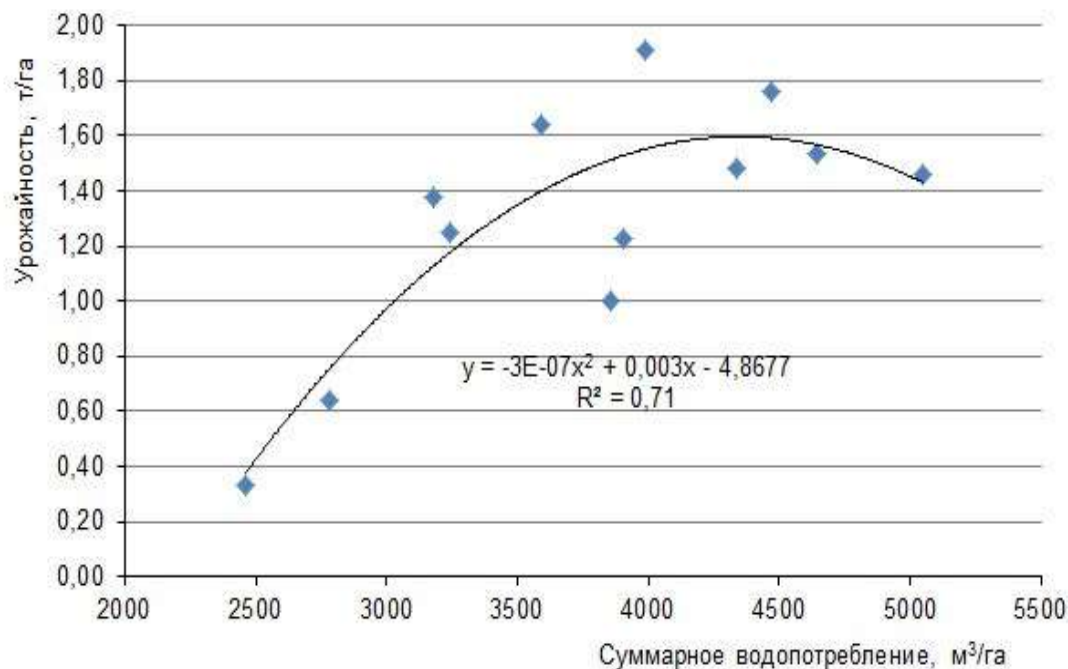


Рисунок 2 – Зависимость урожайности хлопчатника от суммарного водопотребления за 2022-2024 гг.

Figure 2 – Dependence of cotton yield on total water consumption for 2022-2024

Показатели среднесуточного водопотребления хлопчатника определялись по периодам развития хлопчатника с учетом их продолжительности для каждого варианта исследований. Их средние величины за 2022-2024 гг. приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Среднесуточное водопотребление хлопчатника по периодам развития в среднем за 2022-2024 гг.

Table 6 – Average daily water consumption of cotton by periods of development on average for 2022-2024

Вариант / Option	Среднесуточное водопотребление, м ³ /га / Average daily water consumption, m ³ /ha				
	Всходы – бутонизация / Shoots – budding	Бутонизация – цветение / Budding – flowering	Цветение – начало созревания / Flowering is the beginning of maturation	Начало созревания – полное созревание / The begin- ning of matu- ration is full maturation	Всходы – полная спелость / Shoots – full ripeness
1 м (80 % НВ в слое 0,6 м), контроль / 1 m (80 % НВ in 0.6 m layer), control	21,83	34,64	33,97	19,98	27,09
0,8 м	21,95	30,12	30,02	18,95	24,97
0,6 м	20,27	28,47	25,44	19,94	23,10
1,2 м	23,28	38,06	37,69	22,25	29,68

Показатели среднесуточного водопотребления увеличиваются по мере нарастания биомассы растений и достигают максимума в периоды бутонизация – цветение и цветение – начало созревания, а затем снижаются к моменту созревания. В зависимости от режима орошения среднесуточный расход в периоды максимального расходования воды варьирует в пределах 25,44-38,06 м³/га в сутки. Минимальные значения среднесуточного водопотребления отмечены при снижении поливной нормы на 40 %, а максимальные – при увеличении на 20 %. Графически изменение среднесуточного водопотребления в течение вегетационного периода для вариантов с расчетной поливной нормой 1 м (контроль) и со снижением поливной нормы на 20 % представлено на рисунке 3.

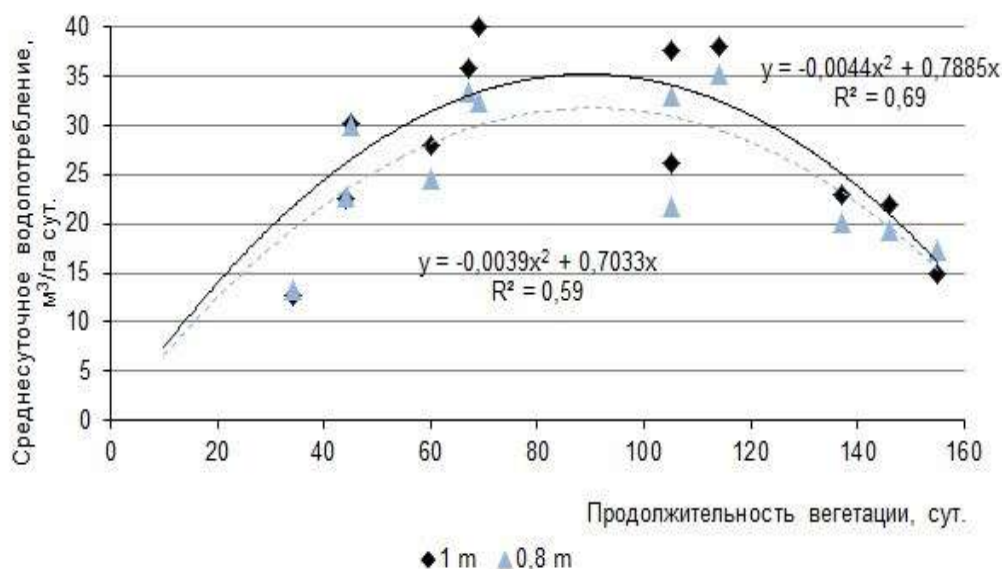


Рисунок 3 – Среднесуточное водопотребление хлопчатника за вегетационный период на вариантах опыта 1 м и 0,8 м

Figure 3 – Average daily water consumption of cotton during the growing season in the experimental variants 1 m and 0.8 m

Анализируя значения данных среднесуточного водопотребления в течение вегетации в зависимости от режима орошения и соответствующих данных урожайности хлопчатника, установлена взаимосвязь между этими параметрами, отображенная на рисунке 4.

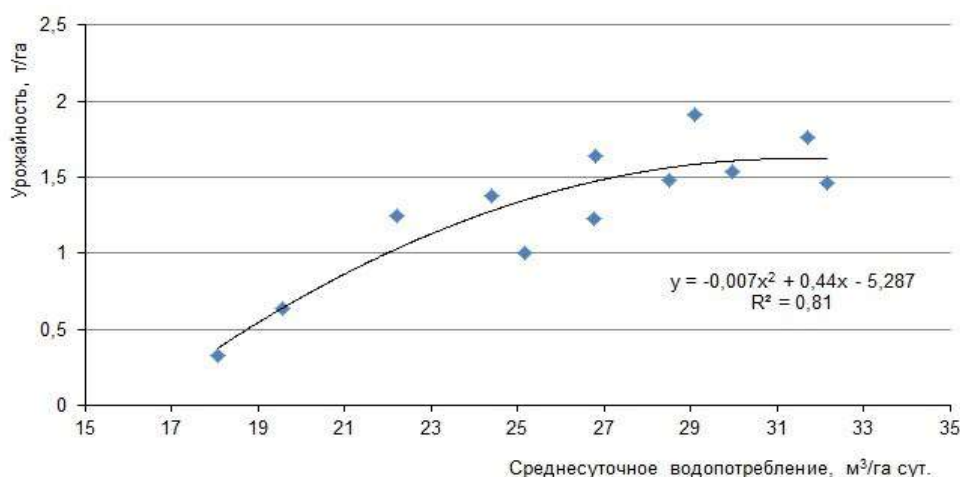


Рисунок 4 – Взаимосвязь урожайности хлопчатника от среднесуточного водопотребления в среднем за 2022-2024 гг.

Figure 4 – The relationship between cotton yield and average daily water consumption in 2022-2024

Полученный коэффициент аппроксимации $R^2 = 0,81$ свидетельствует о тесной связи между полученными данными.

Заключение. В результате исследований установлено, что варианты с режимами орошения хлопчатника с поддержанием влажности почвы в слое 0,6 м выше 80 % НВ (1 м) и со снижением расчетной поливной нормы на 20 % (0,8 м) являются наиболее перспективными, так как на них при урожайности хлопка-сырца 1,56 и 1,25 т/га на создание 1 т продукции затрачено наименьшее количество воды – 2537 и 2856 м³/т соответственно. Установлено, что периоды развития растений бутонизация – цветение и цветение – начало созревания являются критическими, в которые среднесуточное водопотребление достигает максимальных значений – 28,47-38,06 и 25,44-37,69 м³/га в сутки, соответственно, в зависимости от уровня увлажнения. Суммарное водопотребление изменялось от 3182 до 4457 м³/га в зависимости от режима орошения.

Conclusions. As a result of the research, it was found that options with irrigation regimes for cotton with soil moisture in the 0.6 m layer above 80 % HB (1 m) and with a decrease in the estimated irrigation rate by 20 % (0.8 m) are the most promising, since they have yields of 1.56 and 1.25 t/ha for raw cotton. The least amount of water was used to create 1 ton of products – 2537 and 2856 m³/t, respectively. It has been established that the periods of plant development budding – flowering and flowering – the beginning of maturation are critical, in which the average daily water consumption reaches maximum values – 28.47-38.06 and 25.44-37.69 m³/ha per day, respectively, depending on the level of moisture. The total water consumption varied from 3182 to 4457 m³/ha, depending on the irrigation regime.

Библиографический список

1. Гукежева М. Х. Перспективы импортозамещения хлопка в текстильной промышленности страны. Вестник евразийской науки. 2020. Т. 12. № 1. С. 36.
2. Балакай Г. Т., Докучаева Л. М., Юркова Р. Е., Селицкий С. А. Оценка агроклиматических ресурсов юга России для возделывания хлопчатника. Экологический вестник Северного Кавказа. 2023. Т. 19. № 3. С. 13-24.
3. Бабичев А. Н., Докучаева Л. М., Юркова Р. Е., Селицкий С. А., Недоцукова Ю. И. Влияние различных режимов орошения на рост, развитие и плодообразование хлопчатника в условиях Ростовской области. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17. № 4 (83). С. 123-131.
4. Садиков А. Т., Драгавцев В. А., Саидзода С. Т. Особенности динамики прохождения роста и развития сортов средневолокнистого хлопчатника. Биосфера. 2022. Т. 14. № 4. С. 387-389.
5. Ходяков Е. А., Милованов С. Г., Бондаренко К. В. Водосберегающие технологии при выращивании хлопчатника в Нижнем Поволжье. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1 (69). С. 129-137.
6. Овчинников А. С., Ходяков Е. А., Милованов С. Г., Бондаренко К. В. Режим орошения хлопчатника при дождевании и капельном орошении в Нижнем Поволжье. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 3 (55). С. 15-24.
7. Саидзода Р. Ф., Саидзода С. Т., Пирзода Т. Т., Садиков А. Т. Влияние режимов орошения на формирование элементов продуктивности и урожайности хлопчатника. Биосфера. 2022. № 4. С. 395-398.
8. Дудкин Н. В. Технология выращивания хлопчатника при капельном орошении. Известия Дагестанского ГАУ. 2021. № 4 (12). С. 68-71.
9. Матякубов Б. Ш., Курбонбоев М. Х. Определение режима орошения хлопчатника с использованием современного метода. Орошаемое земледелие. 2025. № 2 (49). С. 42-46.

10. Ruoshui Wang, et al. Soil salinity, sodicity and cotton yield parameters under different drip irrigation regimes during saline wasteland reclamation. *Agricultural Water Management*. 2018. Pp. 20-31.
11. Tarandeep Kaur, et al. Precision irrigation and fertilization strategies for sustainable cotton-wheat systems in water-scarce regions. *Agricultural Water Management*. 2025.
12. Сейидалиев Н. Я. Влияние доз минеральных удобрений и режима орошения на хозяйственно-биологические показатели хлопчатника. *Пермский аграрный вестник*. 2016. № 3 (15). С. 65-69.
13. Пчелкин В. В., Кузиев У. Т., Разиков Н. Б., Солошенко А. Д. Обоснование режима влажности сероземных почв при капельном поливе хлопчатника. *Природообустройство*. 2023. № 4. С. 46-51.

References

1. Gukezheva M. H. Prospects of cotton import substitution in the textile industry of the country. *Bulletin of Eurasian Science*. 2020. Vol. 12. No. 1. P. 36.
2. Balakai G. T., Dokuchaeva L. M., Yurkova R. E., Selitsky S. A. Assessment of agro-climatic resources of southern Russia for cotton cultivation. *Ecological Bulletin of the North Caucasus*. 2023. Vol. 19. No. 3. Pp. 13-24.
3. Babichev A. N., Dokuchaeva L. M., Yurkova R. E., Selitsky S. A., Nedotsukova Yu. I. The influence of various irrigation regimes on the growth, development and fruiting of cotton in the Rostov region. *Bulletin of the Voronezh State Agrarian University*. 2024. Vol. 17. No. 4 (83). Pp. 123-131.
4. Sadikov A. T., Dragavtsev V. A., Saidzoda S. T. Features of the dynamics of growth and development of medium-fiber cotton varieties. *The biosphere*. 2022. Vol. 14. No. 4. Pp. 387-389.
5. Khodiakov E. A., Milovanov S. G., Bondarenko K. V. Water-saving technologies in cotton cultivation in the Lower Volga region. *Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and higher professional education*. 2023. No 1 (69). Pp. 129-137.
6. Ovchinnikov A. S., Khodiakov E. A., Milovanov S. G., Bondarenko K. V. Cotton irrigation regime during sprinkling and drip irrigation in the Lower Volga region. *Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and higher professional education*. 2019. No. 3 (55). Pp. 15-24.
7. Saidzoda R. F., Saidzoda S. T., Pirzoda T. T., Sadikov A. T. The influence of irrigation regimes on the formation of elements of productivity and yield of cotton. *The biosphere*. 2022. No. 4. Pp. 395-398.
8. Dudkin N. V. Technology of cotton cultivation with drip irrigation. *Proceedings of the Dagestanskogo GAU*. 2021. № 4 (12). Pp. 68-71.
9. Matyakubov B. Sh., Kurbonboev M. H. Determination of cotton irrigation regime using a modern method. *Irrigated agriculture*. 2025. No. 2 (49). Pp. 42-46.
10. Ruoshui Wang, et al. Soil salinity, sodicity and cotton yield parameters under different drip irrigation regimes during saline wasteland reclamation. *Agricultural Water Management*. 2018. Pp. 20-31.
11. Tarandeep Kaur, et al. Precision irrigation and fertilization strategies for sustainable cotton-wheat systems in water-scarce regions. *Agricultural Water Management*. 2025.
12. Seyidaliyev N. Ya. The influence of doses of mineral fertilizers and irrigation regime on the economic and biological indicators of cotton. *Perm Agrarian Bulletin*. 2016. No. 3 (15). Pp. 65-69.
13. Pchelkin V. V., Kuziev U. T., Razikov N. B., Soloshenkov A. D. Substantiation of the moisture regime of gray-earth soils during drip irrigation of cotton. *Environmental management*. 2023. No. 4. Pp. 46-51.

Информация об авторах

Бабичев Александр Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (Российская Федерация, 346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190), e-mail: babichevan2006@yandex.ru

Балакай Георгий Трифонович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (Российская Федерация, 346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190), e-mail: balakaygt@rambler.ru

Юркова Рита Евгеньевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (Российская Федерация, 346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190), e-mail: rita6161@list.ru

Андреева Татьяна Петровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (Российская Федерация, 346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190), e-mail: andtap@yandex.ru

Селицкий Сергей Артурович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (Российская Федерация, 346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190), e-mail: ssilja@yandex.ru

Authors' Information

Babichev Aleksandr Nikolaevich, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems (Russian Federation, 346421, Rostov Region, Novocherkassk, Baklanovsky Ave., 190), e-mail: babichevan2006@yandex.ru

Balakai Georgy Trifonovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems (Russian Federation, 346421, Rostov Region, Novocherkassk, Baklanovsky Ave., 190), e-mail: balakaygt@rambler.ru

Yurkova Rita Evgenievna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems (Russian Federation, 346421, Rostov Region, Novocherkassk, Baklanovsky Ave., 190), e-mail: rita6161@list.ru

Andreeva Tatyana Petrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems (Russian Federation, 346421, Rostov Region, Novocherkassk, Baklanovsky Ave., 190), e-mail: andtap@yandex.ru

Selitsky Sergey Arturovich, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems (Russian Federation, 346421, Rostov Region, Novocherkassk, Baklanovsky Ave., 190), e-mail: ssilja@yandex.ru

THE EFFECT OF MINERAL FERTILIZERS ON COTTON PRODUCTIVITY IN THE ROSTOV REGION DURING IRRIGATION**Balakai G. T., Masny R. S., Yurkova R. E., Selitsky S. A.***Russian Scientific Research Institute of Land Reclamation Problems
Novocherkassk, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: balakaygt@rambler.ru

Received 27.06.2025

Submitted 17.09.2025

Abstract

Introduction. Climate warming creates conditions for the expansion of cotton growing areas in southern Russia, which requires the development of technology elements for the cultivation of this crop, taking into account soil and climatic conditions. In arid regions, irrigation in combination with fertilizers are the main factors in increasing cotton yields. The study of the influence of various rates of mineral fertilizers calculated for the planned yield on the development and productivity of cotton in the conditions of the Rostov region during irrigation determines the purpose of the work. **Materials and methods.** The research was conducted in 2022-2024 at a pilot site located in the Rostov region. Experimental scheme: options with the introduction of mineral fertilizers calculated for the planned yield of 1.0; 2.0; 3.0; 4.0 t/ha and without fertilizers (control). Irrigation is carried out using drip irrigation systems. The experiments were conducted in accordance with generally accepted methods, taking into account the zonal features. **Results and conclusions.** The positive effect of applying mineral fertilizers on the growth, formation of the leaf surface area, and accumulation of dry biomass of cotton has been established, especially in variants with standards designed for planned yields of 3.0 and 4.0 t/ha – 104 and 107 cm, 24.2 and 25.5 thousand m²/ha, 6.47 and 6.89 t/ha by the ripening phase accordingly. Yields on these variants averaged 14.6 and 14.0 c/ha in 2022-2024, which is higher than the control by 7.6 and 7.0 c/ha.

Keywords: cotton cultivation, cotton yield, cotton irrigation, cotton cultivation technologies.

Citation. Balakai G. T., Masny R. S., Yurkova R. E., Selitsky S. A. The effect of mineral fertilizers on cotton productivity in the Rostov region during irrigation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 42-52 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-04.

Authors' contribution. All authors were directly involved in the planning, execution and analysis of this study.

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

УДК 631.816+633.51+631.67

**ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ХЛОПЧАТНИКА
В УСЛОВИЯХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИ ОРОШЕНИИ****Балакай Г. Т., доктор сельскохозяйственных наук, профессор****Масный Р. С., кандидат военных наук****Юркова Р. Е., кандидат сельскохозяйственных наук****Селицкий С. А., кандидат сельскохозяйственных наук***ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»
г. Новочеркасск, Российская Федерация*

Актуальность. Потепление климата создает условия для расширения зон выращивания хлопчатника на юге России, что требует разработки элементов технологии возделывания данной культуры с учетом почвенно-климатических условий. В засушливых регионах орошение в комбинации с удобрениями являются основными факторами роста урожайности хлопчатника. Изучение влияния различных норм минеральных удобрений, рассчитанных на планируемую урожайность, на развитие и продуктивность хлопчатника в условиях Ростовской области при орошении определяет цель работы. **Материалы и методы.** Исследования проведены в 2022-2024 гг. на опытном участке, расположенном на территории Ростовской области. Схема опыта: варианты с внесением норм минеральных удобрений, рассчитанных на планируемую урожайность 1,0; 2,0; 3,0; 4,0 т/га и без удобрений (контроль). Поливы выполнены с применением систем капельного орошения. Опыты проведены в соответствии с общепринятыми методиками с учетом зональных особенностей. **Результаты и выводы.** Установлено положительное влияние внесения минеральных удобрений на рост, формирование площади листовой поверхности, накопление сухой биомассы хлопчатника, особенно на вариантах с нормами, рассчитанными на планируемую урожайность 3,0 и 4,0 т/га – 104 и 107 см, 24,2 и 25,5 тыс. м²/га, 6,47 и 6,89 т/га к фазе созревания соответственно. Урожайность на этих вариантах составила в среднем за 2022-2024 гг. 14,6 и 14,0 ц/га, что выше контроля на 7,6 и 7,0 ц/га.

Ключевые слова: возделывание хлопчатника, урожайность хлопчатника, орошение хлопчатника, технологии возделывания хлопчатника.

Цитирование. Балакай Г. Т., Масный Р. С., Юркова Р. Е., Селицкий С. А. Влияние минеральных удобрений на продуктивность хлопчатника в условиях Ростовской области при орошении. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 42-52. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-04.

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. Использование минеральных или органических удобрений является неотъемлемой частью технологии возделывания сельскохозяйственных культур, обеспечивающей рост продуктивности растений и сохранение плодородия почвы. Мировое потребление минеральных удобрений (МУ) в 2024 г. составило 203,7 млн т действующего вещества¹. Расширяется объем мирового рынка и органических удобрений – в 2024 г. составил 12,2 млрд долларов, а к 2030 г. достигнет 17,2 млрд долларов США². Восполнение недостатка питательных элементов в почве за счет внесения удобрений и оптимизация режима питания способствует росту растений, снижению потребности во влаге, повышает устойчивость к вредителям и болезням и др.

Хлопчатник относится к очень требовательным культурам по отношению к питательным элементам. Для развития растений и формирования 1 т хлопка-сырца необходимо 50-60 кг азота, 10-15 кг фосфора, 50-60 кг калия [1]. Важным фактором эффективного использования минеральных удобрений, кроме агротехники, форм, способов и сроков внесения, предшественников, наличия питательных элементов в почве, является учет почвенных и климатических условий выращивания культуры [2-4]. Разные почвы имеют различные питательные режимы, а климатические условия влияют на действие применяемых удобрений на растения – при повышении температур их потребность в питательных элементах и влаге возрастает [5]. Это подтверждается исследованиями Рахимова А. Д. с соавторами по изучению действия азотного, фосфорного и калийного удобрений на урожайность хлопчатника. Установлено превышение урожайности на 20 ц/га хлопка-сырца при ежегодном внесении удобрений, по сравнению с урожайностью при бессменном возделывании хлопчатника на участке без удобрений [6].

Наряду с положительным влиянием МУ на урожайность хлопчатника, выявлено их существенное значение в снижении опадения плодоземелюментов при совместном внесении различных видов удобрений [7]. Отмечается в исследованиях Н. Я. Сейидалиева влияние уровня обеспеченности необходимыми элементами питания на хозяйственно-ценные признаки хлопчатника. Так с внесением удобрений увеличивается выход волокна при поддержании уровня предполивной влажности не ниже 70-70-65 % НВ и годовой дозы минеральных удобрений $N_{250}P_{200}K_{75}$ для условий Азербайджана. На величину массы хлопка-сырца одной коробочки (5,9-6,1 г) влияют водный и питательный режимы [8].

Сочетание минеральных с органическими удобрениями (отходами хлопкоочистительных заводов) дает возможность не только получить достойный урожай (более 43 ц с гектара), но и значительно сэкономить минеральные удобрения [9, 10]. Некоторые авторы поднимают вопрос о недостаточной изученности применения различных норм и соотношений NPK на хлопчатнике и рекомендуют соотношение 1,0: 1,0: 0,75 для условий такырноруговых почв Узбекистана [11]. Разрабатываются новые технологии внесения удобрений при капельном способе полива, при внедрении которых получена урожайность на 10,4 ц/га выше, чем при обычной системе внесения [12].

В связи с необходимостью возобновления возделывания хлопчатника в России встала задача определения зон выращивания этой теплолюбивой культуры. Потепление климата характеризует Ростовскую область как один из потенциальных регионов, что требует проведения исследований по усовершенствованию элементов технологии выращивания хлопчатника, в т. ч. питательного режима, с привязкой к региональным почвенным и климатическим условиям.

¹ Межак С. IFA обнародовала среднесрочный прогноз потребления удобрений. URL: <https://www.fertilizerdaily.ru/20250609-gomelskij-himicheskij-zavod-uvlichivaet-proizvodstvennye-moshhnosti/> (дата обращения: 09.06.2025).

² Прогноз перспектив рынка органических удобрений в 2025 году. URL: <https://www.sxmashina.com/prognoz-perspektiv-rynka-organicheskikh-udobreniy-v-2025-godu/>. (дата обращения: 09.06.2025).

В засушливых регионах орошение в комбинации с удобрениями являются основными факторами увеличения урожайности хлопчатника [13]. Для определения сбалансированных норм минеральных удобрений одним из методов является расчет на планируемую урожайность хлопчатника, что позволит создать лучшие условия для питания растений, тем самым повысить продуктивность, сохранить почвенное плодородие.

Таким образом, цель данной работы определить влияние норм минеральных удобрений, рассчитанных на планируемую урожайность, на развитие и продуктивность хлопчатника в условиях Ростовской области при орошении.

Материалы и методы. Исследования проводились в 2022-2024 гг. на опытном участке в Октябрьском районе Ростовской области.

Почвы участка – чернозем обыкновенный, по гранулометрическому составу относится к суглинкам тяжелым. По агрохимическим показателям в среднем за три года слой 0-40 см оценивался как высоко обеспеченный калием (640 мг/кг) и фосфором (66 мг/кг) и низко обеспеченный азотом (7,0 мг/кг). Содержание гумуса в этом слое 3 %, что указывает на низкую обеспеченность органическим веществом [14]. Метеорологические данные за вегетационный период 2022-2024 гг. представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Метеорологические данные за вегетационный период за 2022-2024 гг., м/с г. Ростов-на-Дону
Table 1 – Meteorological data for the growing season for 2022-2024, m/s Rostov-on-Don

Метеорологические данные / Meteorological data	2022 г.			2023 г.			2024 г.		
	май – октябрь (среднее) / May – October (average)	май – октябрь (сумма) / May – October (total)	ГТК / Hydrothermal coefficient	май – октябрь (среднее) / May – October (average)	май – октябрь (сумма) / May – October (total)	ГТК / Hydrothermal coefficient	апрель – октябрь (среднее) / April – October (average)	апрель – октябрь (сумма) / April – October (total)	ГТК / Hydrothermal coefficient
Сумма атмосферных осадков, мм / Sum of precipitation, mm	31,5	189,0	0,52	61,8	370,9	1,06	25,22	176,6	0,39
Среднесуточная температура воздуха, °C / Average daily air temperature, °C	19,8	–		19,4	–		21,14	–	
Сумма среднесуточных температур воздуха выше 10 °C / Sum of average daily air temperatures above 10 °C	–	3648,7		–	3508,6		–	4499,2	
Относительная влажность воздуха, % / Relative humidity, %	55	–		61,5	–		44,44	–	

Как видно из таблицы 1, вегетационные периоды в годы исследований различались по погодным условиям и характеризовались по гидротермическому коэффициенту (ГТК) как засушливый, средnezасушливый и очень засушливый соответственно. Более всего осадков выпало в 2023 г. Наибольшая сумма среднесуточных температур воздуха выше 10 °C за вегетационный период наблюдалась в 2024 г. В связи с метеорологическими условиями посев семян хлопчатника проводился в разные сроки: в 2022 г. и 2023 г. – во второй декаде мая, в 2024 г. – в первой декаде мая.

Схема опыта на посевах хлопчатника:

- вариант 1 – расчетная доза минеральных удобрений на планируемую урожайность 1,0 т/га,
- вариант 2 – расчетная доза минеральных удобрений на планируемую урожайность 2,0 т/га,
- вариант 3 – расчетная доза минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га,
- вариант 4 – расчетная доза минеральных удобрений на планируемую урожайность 4,0 т/га,
- вариант 5 – без внесения удобрений.

Расчет норм минеральных удобрений проводился с учетом запасов питательных элементов в почве по годам исследований (таблица 2).

На опыте высевался сорт хлопчатника ПГСХХ 1³ широкорядным (70 см) пунктирным способом нормой 100 тыс. шт./га. Посев широкорядный (70 см) пунктирный с заданной нормой. Размер делянок – 70 м² (25,0 × 2,8 м). Учетная площадь делянок составляла 35 м². Повторность в опытах четырехкратная. Агротехнические мероприятия идентичные на всех вариантах опыта, кроме внесения минеральных удобрений. Поливы проводились с использованием систем капельного орошения с поддержанием влажности почвы на уровне 80 % от НВ в слое 60 см.

Таблица 2 – Расчетные нормы минеральных удобрений по вариантам

Table 2 – Calculated rates of mineral fertilizers by variants

Вариант, планируемая урожайность / Variant planned yield	Расчетная норма минеральных удобрений (NPK), кг д. в./га / Calculated rate of mineral fertilizers (NPK), kg a.i./ha			
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	В среднем / Average
1,0 т/га / 1.0 t/ha	N ₄₅ P ₁₀ K ₀	N ₄₅ P ₁₀ K ₀	N ₄₅ P ₁₀ K ₀	N ₄₅ P ₁₀ K ₀
2,0 т/га / 2.0 t/ha	N ₁₀₀ P ₃₀ K ₀	N ₉₅ P ₃₀ K ₀	N ₉₅ P ₃₀ K ₀	N ₉₇ P ₃₀ K ₀
3,0 т/га / 3.0 t/ha	N ₁₄₅ P ₄₅ K ₀	N ₁₄₅ P ₄₅ K ₃₀	N ₁₄₅ P ₄₅ K ₀	N ₁₄₅ P ₄₅ K ₂₀
4,0 т/га / 4.0 t/ha	N ₁₉₅ P ₆₀ K ₅₀	N ₁₉₅ P ₆₀ K ₈₀	N ₁₉₅ P ₆₀ K ₀	N ₁₉₅ P ₆₀ K ₇₀
Без удобрений (контроль) / No Fertilizer (Control)	0	0	0	0

Обработка данных проводилась по методике Б. А. Доспехова [15], фенологические, биометрические наблюдения, учет урожая – в соответствии с Методикой⁴.

Результаты и обсуждения. Влияние внесения минеральных удобрений нормами, рассчитанными на планируемую урожайность, на развитие хлопчатника сорта ПГСХХ 1 наблюдалось по следующим показателям: линейный рост растений, площадь листовой поверхности (ПЛП), сухая биомасса в фазы бутонизации, цветения и созревания и урожайность хлопчатника.

Динамика линейного роста хлопчатника по фазам развития за 2022-2024 гг. в зависимости от норм внесения минеральных удобрений представлена в таблице 3 и в среднем за три года на рисунке 1.

Таблица 3 – Линейный рост хлопчатника по фазам развития, 2022-2024 гг.

Table 3 – Linear growth of cotton by development phases, 2022-2024

Вариант, планируемая урожайность / Variant planned yield	Высота растений, см / Plant height, cm								
	Фаза бутонизации / Phase budding			Фаза цветения / Phase flowering			Фаза созревания / Phase ripening		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
1,0 т/га / 1.0 t/ha	33	55,2	50,1	85	88,7	75,8	90,2	94,6	91,5
2,0 т/га / 2.0 t/ha	41	57,9	55,7	92	91,4	83,5	96,5	98,2	99,3
3,0 т/га / 3.0 t/ha	42	60,1	57,6	102	93,3	86,1	105,6	102,7	102,6
4,0 т/га / 4.0 t/ha	43	63,4	63,4	104	95,1	93,7	107,8	105,4	108,2
Без удобрений (контроль) / No Fertilizer (control)	25	52,8	34,2	58	83,6	52,3	61,4	90,4	64,5
НСР ₀₅	0,3	0,3	0,7	1,2	0,3	1,0	1,2	0,4	1,1

В фазу бутонизации наибольшая высота по трем годам исследований определена на варианте с внесением МУ на планируемую урожайность 4 т/га – 43 см, 63,4 и 63,4 см соответственно. К фазе цветения высота растений на этом варианте в 2022 г. достигла 104 см, в 2023 г. – 95,1 см, в 2024 г. – 93,7 см, что превысило контрольные варианты по годам соответственно на 46 см, 11,5 см и 41,4 см.

³ Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию: официальное издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2025. 620 с.

⁴ Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1 / А. М. Федин [и др.]. М.: Группа компаний Море, 2019. 385 с.

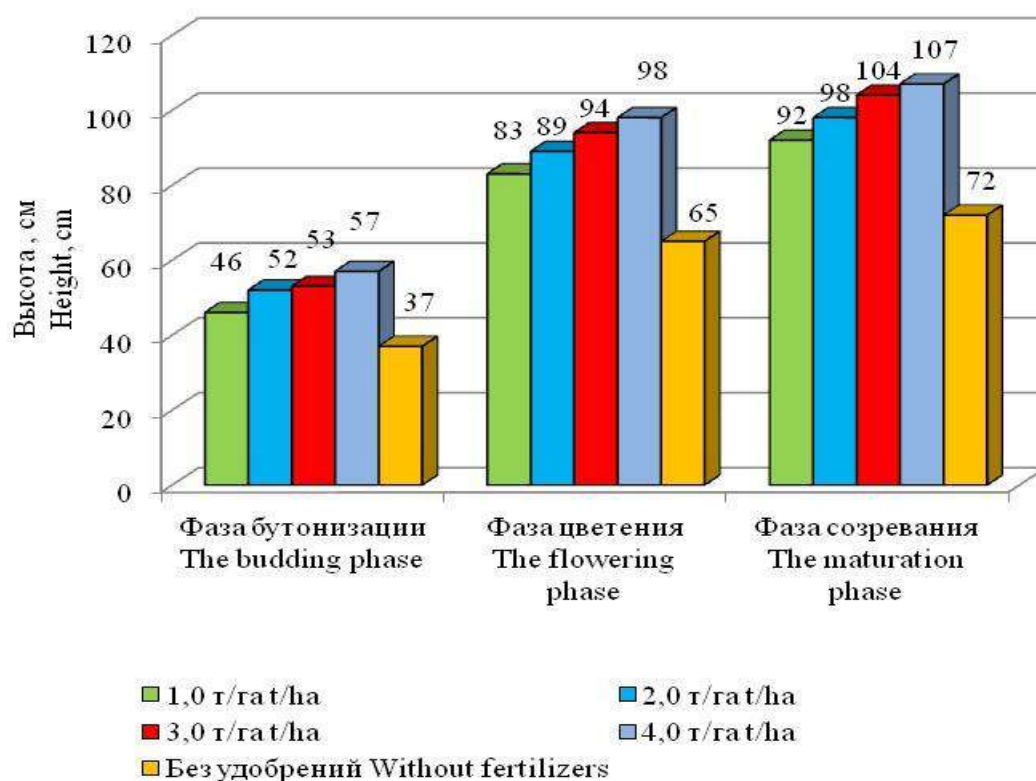


Рисунок 1 – Динамика линейного роста растений хлопчатника в среднем за 2022-2024 гг. по фазам развития в зависимости от норм минеральных удобрений, рассчитанных на планируемую урожайность

Figure 1 – Dynamics of linear growth of cotton plants on average for 2022-2024 by phases of development depending on the rates of mineral fertilizers calculated for the planned yield

Следует отметить, что в период бутонизация – цветение отмечен наибольший прирост, который варьировался в 2022 г. от 33 до 61 см, в 2023 г. – от 30,8 до 33,5 см, в 2024 г. – от 18,1 до 30,3 см, т. к. именно в этот период происходит значительное потребление минеральных удобрений, что оказало влияние на интенсивность роста хлопчатника. Прирост к фазе созревания, по сравнению с фазой цветения, значительно ниже – в пределах 3,4-10,3 см.

В среднем за три года лучшие результаты по линейному росту растений хлопчатника к фазе созревания установлены на вариантах с внесением МУ на планируемую урожайность 4 т/га – 107 см и на варианте с 3 т/га – 104 см, что выше контроля на 33 и 31 % соответственно.

Формирование листовой поверхности определяется условиями выращивания. Так в результате повышенного питания или орошения может наблюдаться сильная облиственность растений, затеняющая коробочки, что приводит к их медленному раскрытию, что подтверждает необходимость оптимизации норм внесения удобрений [16].

Наращение площади листовой поверхности на хлопчатнике опытного участка в большей степени отмечено на вариантах с планируемой урожайностью 3,0 и 4,0 т/га (таблица 4).

Так, в фазу бутонизации ПЛП в 2022 г. составила 12,5 и 13,2 тыс. м²/га, что превысило контроль на 5,3 и 6,0 тыс. м²/га. В 2023 г. этот показатель на этих вариантах соответствовал значениям 11,3 и 12,2 тыс. м²/га, что больше контроля на 2,7 и 3,6 тыс. м²/га, к 2024 г. соответственно на 4,3 и 4,8 тыс. м²/га. Наименьшая разница с контролем отмечена в 2023 г., что связано с метеорологическими условиями в этот период вегетации по сравнению с 2022 г. и 2024 г. как наиболее засушливыми годами.

Таблица 4 – Площадь листовой поверхности растений хлопчатника в зависимости от норм минеральных удобрений, 2022-2024 гг.

Table 4 – Leaf surface area of cotton plants depending on mineral fertilizer rates, 2022-2024

Вариант, планируемая урожайность / Variant planned yield	Площадь листовой поверхности, тыс. м ² /га / Leaf surface area, thousand m ² /ha								
	Фаза бутонизации / Budding phase			Фаза цветения / Flowering phase			Фаза созревания / Ripening phase		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
1,0 т/га / 1.0 t/ha	9,6	9,5	9,6	24,2	13,4	18,8	26,5	14,3	20,9
2,0 т/га / 2.0 t/ha	11,9	10,5	11,4	26,1	15,0	19,6	27,9	16,3	21,9
3,0 т/га / 3.0 t/ha	12,5	11,3	12,1	28,9	16,4	21,4	31,2	17,9	23,6
4,0 т/га / 4.0 t/ha	13,2	12,2	12,6	29,5	18,0	23,1	32,4	19,2	24,8
Без удобрений (контроль) / No Fertilizer (control)	7,2	8,6	7,8	16,7	12,1	11,9	18,0	13,2	14,4
НСР ₀₅	0,2	0,1	0,1	0,3	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3

Динамика нарастания площади листовой поверхности растений хлопчатника в среднем за 2022-2024 гг. по фазам развития в зависимости от норм внесения минеральных удобрений, представлена на рисунке 2.

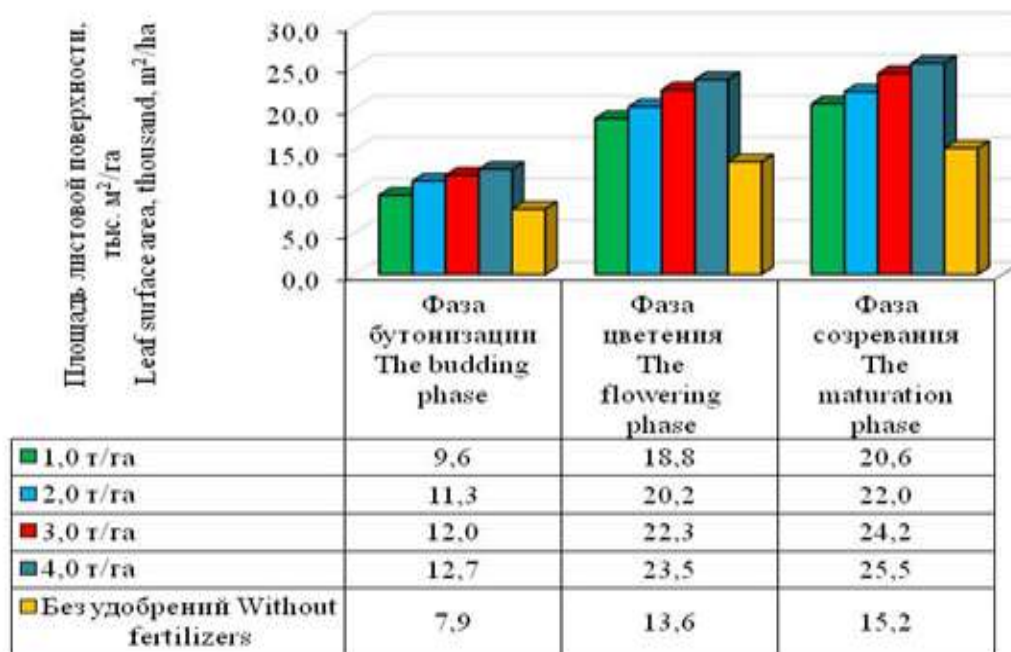


Рисунок 2 – Динамика нарастания площади листовой поверхности растений хлопчатника в среднем за 2022-2024 гг. по фазам развития в зависимости от норм внесения минеральных удобрений, рассчитанных на планируемую урожайность

Figure 2 – Dynamics of the increase in the leaf surface area of cotton plants on average for 2022-2024 by phases of development depending on the rates of mineral fertilizer application calculated for the planned yield

Наименьшие значения ЛСП по всем фазам развития в среднем за три года исследований, определены на контрольном варианте без удобрений. На вариантах с внесением МУ менее всего отмечено нарастание ЛСП на варианте с МУ, рассчитанными на планируемую урожайность 1,0 т/га – 9,6 тыс. м²/га, 18,8 и 20,6 тыс. м²/га соответственно по фазам вегетации. Но внесение минеральных удобрений сказалось на полученных результатах, которые превысили контроль на 1,7 тыс. м²/га, 5,2 и 5,4 тыс. м²/га соответственно по фазам.

Как и отдельно, по годам, так и в среднем, больше всего сформировалось ЛСП на вариантах с планируемой урожайностью 3,0 и 4,0 т/га. К фазе созревания площадь листовой поверхности на этих вариантах составила 24,2 и 25,5 тыс. м²/га, что превысило контроль на 37 и 40 % соответственно.

Площадь листовой поверхности в значительной мере влияет на накопление сухой биомассы растений. Динамика накопления сухой биомассы растений хлопчатника в зависимости от норм минеральных удобрений представлена в таблице 5 и в среднем за 2022-2024 гг. на рисунке 3.

Таблица 5 – Накопление сухой биомассы растений хлопчатника в зависимости от норм минеральных удобрений, рассчитанных на планируемую урожайность, по фазам развития, 2022-2024 гг.
Table 5 – Accumulation of dry biomass of cotton plants depending on the rates of mineral fertilizers calculated for the planned yield, by phases of development, 2022-2024

Вариант, планируемая урожайность / Option, planned yield	Сухая биомасса растений, т/га / Dry plant biomass, t/ha								
	Фаза бутонизации / Phase Budding			Фаза цветения / Flowering phase			Фаза созревания / Ripening phase		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
1,0 т/га / 1.0 t/ha	1,74	1,46	1,72	3,98	2,61	3,68	5,16	5,12	5,25
2,0 т/га / 2.0 t/ha	2,18	1,7	1,94	4,51	3,06	4,12	6,23	5,5	6,05
3,0 т/га / 3.0 t/ha	2,42	1,88	2,22	5,32	3,27	4,72	6,85	6,08	6,49
4,0 т/га / 4.0 t/ha	2,56	2,12	2,41	5,81	3,43	4,95	7,12	6,45	7,11
Без удобрений (контроль) / No Fertilizer (control)	1,38	1,2	1,16	3,06	2,34	2,21	4,13	4,44	3,35
НСР ₀₅	0,03	0,02	0,03	0,07	0,03	0,28	0,08	0,05	0,09

Более всего сухой биомассы растений определено по всем фазам развития и по годам на вариантах с внесением минеральных удобрений, рассчитанных на планируемую урожайность 3,0 и 4,0 т/га.

Расчет усредненных значений за 2022-2024 гг. показал, что накопление сухой биомассы на этих вариантах превышало контрольные варианты на 0,93 и 1,11 т/га в фазу бутонизации, 1,9 и 2,19 т/га в фазу цветения, 2,5 и 2,92 т/га в фазу созревания соответственно.

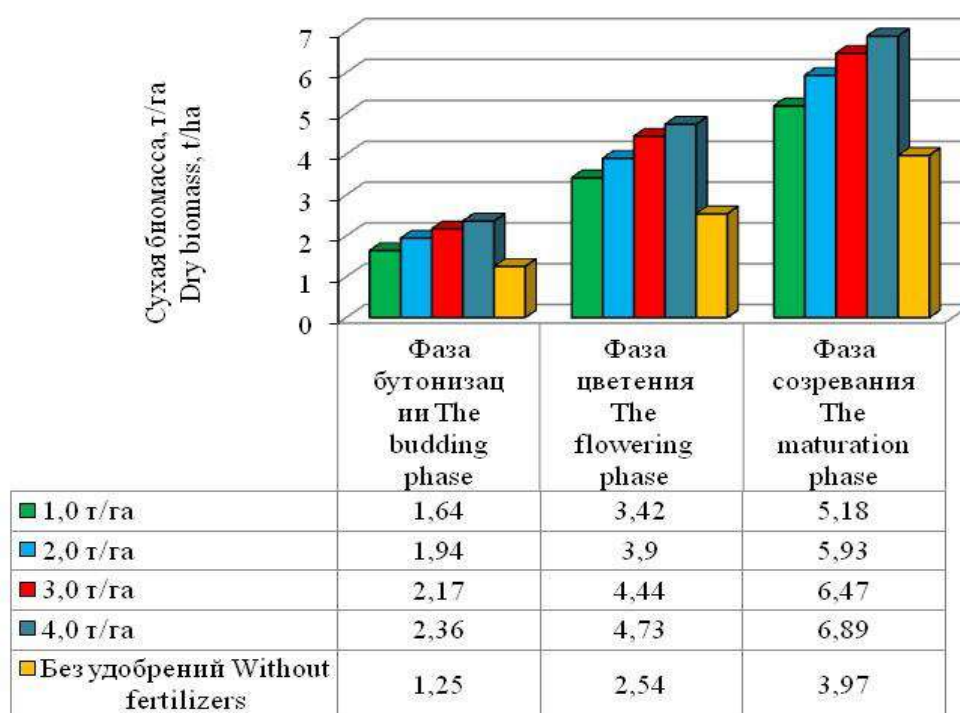


Рисунок 3 – Динамика накопления сухой биомассы растений хлопчатника в среднем за 2022-2024 гг. по фазам развития в зависимости от норм внесения минеральных удобрений, рассчитанных на планируемую урожайность

Figure 3 – Dynamics of dry biomass accumulation of cotton plants on average for 2022-2024 by development phases depending on the rates of mineral fertilizer application calculated for the planned yield

Степень влияния ПЛП на уровень накопления сухой биомассы подтверждает тесная взаимосвязь ($R^2 = 0,90$) между данными показателями развития растений хлопчатника (рисунок 4).

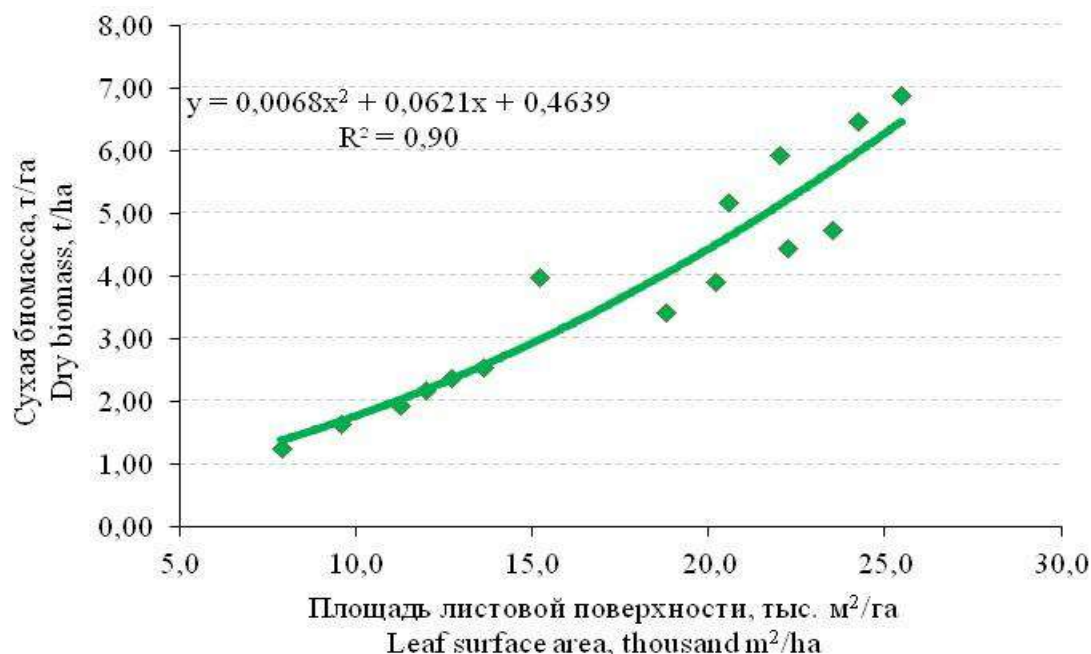


Рисунок 4 – Взаимосвязь между нарастанием площади листовой поверхности и накоплением сухой биомассы растений хлопчатника при внесении различных норм минеральных удобрений
Figure 4 – Relationship between the increase in the leaf surface area and the accumulation of dry biomass of cotton plants when applying different rates of mineral fertilizers

Данные по урожайности хлопчатника в зависимости от норм минеральных удобрений, рассчитанных на планируемую урожайность, за 2022 г., 2023 г. и 2024 г. представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Урожайность хлопчатника в зависимости от норм минеральных удобрений, рассчитанных на планируемую урожайность, 2022-2024 гг.

Table 6 – Cotton yield depending on the rates of mineral fertilizers calculated for the planned yield, 2022-2024

Вариант, планируемая урожайность / Variant Planned yield	Урожайность, ц/га / Yield, c/ha				Прибавка урожая / Increase in yield	
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	средняя / average	ц/га / c/ha	%
1,0 т/га / 1.0 t/ha	5,3	12,0	13,8	10,4	3,4	48,3
2,0 т/га / 2.0 t/ha	6,5	13,8	16,2	12,2	5,2	73,9
3,0 т/га / 3.0 t/ha	7,5	15,3	20,9	14,6	7,6	108,1
4,0 т/га / 4.0 t/ha	7,1	14,2	20,6	14,0	7,0	99,7
Без удобрений (контроль) / No Fertilizer (control)	4,2	7,8	9,1	7,0	0	0
НСР ₀₅	0,1	0,2	0,3		—	

Наибольшая урожайность получена в 2024 г. на всех вариантах, по сравнению с предыдущими годами, но лучшие результаты определены на вариантах с внесением МУ, рассчитанных на планируемую урожайность 3,0 и 4,0 т/га – 20,9 и 20,6 ц/га.

Как отмечалось выше, высокие температуры воздуха в период вегетации в 2024 г. и достаточная влагообеспеченность за счет орошения, соблюдение агротехники создали оптимальные условия для развития хлопчатника сорта ПГССХ 1 в условиях Ростовской области, что сказалось на урожайности культуры.

Средняя урожайность за годы исследований варьировала по вариантам от 10,4 ц/га до 14,6 ц/га, но прибавка урожая в зависимости от норм внесения МУ, составила на варианте с планируемой урожайностью 1,0 т/га – 48,3 %, на варианте с планируемой урожайностью 2,0 т/га – 73,9 %, на варианте с планируемой урожайностью 3,0 т/га – 108,1 % и на варианте с планируемой урожайностью 4,0 т/га – 99,7 %, по сравнению с контролем.

При рассмотрении показателей хозяйственно-ценных признаков хлопчатника ПГССХ 1 установлено, что в среднем за 2022-2024 гг. наибольший вес имели коробочки на варианте при планировании урожайности 4,0 т/га (таблица 7). На лучшем варианте по урожайности масса коробочки была чуть меньше – на 0,13 г, но по количеству коробочек на одном растении в среднем этот вариант превалирует. Самые низкие результаты по всем показателям отмечены на варианте с нормой минеральных удобрений, рассчитанных на урожайность 1,0 т/га, что указывает на недостаток питательных элементов для роста и развития растений хлопчатника при данной норме внесения МУ.

Таблица 7 – Хозяйственно-ценные признаки хлопчатника при внесении норм МУ, рассчитанных на планируемую урожайность (в среднем за 2022-2024 гг.)

Table 7 – Economically valuable characteristics of cotton when applying MD rates calculated for the planned yield (on average for 2022-2024)

Вариант, планируемая урожайность / Variant planned yield	Масса одной коробочки, г / Weight of one box, g			Выход волокна, % / Fiber output, %	Масса 1000 семян, г / Weight of 1000 seeds, g
	Хлопок – сырец / raw cotton	волокно / fiber	семена / seed		
1,0 т/га / 1.0 t/ha	4,12	1,40	2,72	34,0	95,2
2,0 т/га / 2.0 t/ha	4,41	1,50	2,91	34,0	101,8
3,0 т/га / 3.0 t/ha	4,65	1,66	2,99	35,7	104,7
4,0 т/га / 4.0 t/ha	4,78	1,73	3,05	36,2	106,7
Без удобрений (контроль) / Без удобрений (контроль)	3,4	1,16	2,24	34,0	78,4

Значения массы 1000 семян варьируют по вариантам с удобрениями от 95,2 до 106,7 г, что превышает контрольный вариант на 16,8-28,3 г.

Полученные значения по показателю выход волокна варианты 1 и 2 относятся к среднему, а варианты 3 и 4 – к высокому, согласно [17].

Выводы. Анализ результатов, полученных за период исследований, показал положительное влияние внесения минеральных удобрений на рост, формирование площади листовой поверхности, накопление сухой биомассы хлопчатника, особенно на вариантах с нормами, рассчитанными на планируемую урожайность 3,0 и 4,0 т/га – 104 и 107 см, 24,2 и 25,5 тыс. м²/га, 6,47 и 6,89 т/га к фазе созревания соответственно. Урожайность на этих вариантах составила в среднем за 2022-2024 гг. 14,6 и 14,0 ц/га, что выше контроля на 7,6 и 7,0 ц/га. Следует отметить, что почвенные условия опытного участка способствовали большему развитию регенеративных органов данного сорта хлопчатника, что не способствовало достижению планируемой урожайности.

Conclusions. Analysis of the results obtained during the study period showed a positive effect of mineral fertilizer application on growth, formation of leaf surface area, accumulation of dry cotton biomass, especially in variants with rates designed for the planned yield of 3.0 and 4.0 t/ha – 104 and 107 cm, 24.2 and 25.5 thousand m²/ha, 6.47 and 6.89 t/ha by the ripening phase, respectively. The yield on these variants averaged 14.6 and 14.0 c/ha in 2022-2024, which is 7.6 and 7.0 c/ha higher than the control.

Библиографический список

- Кулиев К., Шаммедов М. Н. Влияние удобрений на питательный режим почвы и урожайность хлопчатника. Технические науки в России и за рубежом: материалы VI Международной научной конференции. Москва: Буки-Веди, 2016. С. 78-80. <https://moluch.ru/conf/tech/archive/228/11004/>
- Руководство по эффективному применению в хлопководстве минеральных удобрений. Ашхабад: Наука, 2019. 52 с. <https://tohi.edu.tm/usuly-gollanma/ru/file/16.pdf>
- Асланов Г. А. О., Исрафилова Р. В. К. Влияние обработки почвы и минеральных удобрений на урожайность хлопчатника в Карабахской зоне Азербайджана. Агрохимический вестник. 2023. № 1. С. 31-34.
- Садуллаев А. М. Урожайность хлопка при нормах внесения минеральных удобрений под посев хлопчатника в зависимости от предшествующих посевов. Актуальные проблемы современной науки. 2023. № 2 (131). С. 59-61.

5. Джафарова С. Ф. Пути контроля питательного режима хлопчатника и повышения урожайности. Вектор научной мысли. 2025. № 1 (18). С. 263-269.
6. Рахимов А. Д. и др. Пути использования органических и минеральных удобрений под хлопчатник. Современные тенденции развития науки и технологий. 2017. № 1-2. С. 148-150.
7. Пирахунова Ф. Н., Абзалов А. А., Нурмухамедов А. А. Значение минеральных удобрений в снижении опадения плодоеlementов хлопчатника. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2020. № 60. С. 60-66.
8. Сейдалиев Н. Я. Влияние доз минеральных удобрений и режима орошения на хозяйственно-биологические показатели хлопчатника. Пермский аграрный вестник. 2016. № 3 (15). С. 65-69.
9. Саидзода Р. Ф., Саидзода С. Т. Влияние минеральных удобрений в сочетании с органическими на урожайность хлопчатника. Наука и инновация. 2021. № 3. С. 159-162.
10. Саидзода С. Т., Саидзода Р. Ф. Влияние различных норм органических и минеральных удобрений на рост и развитие хлопчатника. Доклады Таджикской Академии сельскохозяйственных наук. 2021. № 2 (68). С. 149-199.
11. Ташкулов С. М., Исмаилов Ж. И. Влияние норм и соотношений минеральных удобрений на накопление сухой массы и урожай тонковолокнистого хлопчатника. Наука, общество, инновации: актуальные вопросы современных исследований. Пенза, 2024. С. 40-42.
12. Авлиякулов М., Дурдиев Н., Яхёева Н. Новая агротехнология внесения удобрения под хлопчатник при капельном орошении в условиях глобального изменения климата. Журнал Агро Процессинг. 2022. Том 4. № 2. С. 17-25. <https://tadqiqot.uz/index.php/agroprocessing/article/view/479-9/4554>.
13. Kumar R. et al. Coupling Effects of Nitrogen and Irrigation Levels on Growth Attributes, Nitrogen Use Efficiency, and Economics of Cotton. 2022. V. 13.
14. Руководство по контролю и регулированию почвенного плодородия орошаемых земель. Новочеркасск: РосНИИГПМ, 2017. 137 с.
15. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 2012. 352 с.
16. Дурдыев Б. Характер образования листовой поверхности и фотосинтетической деятельности хлопчатника при регулировании калийного питания. Молодой ученый. 2010. № 11 (22). С. Т. 2. С. 198-201. <https://moluch.ru/archive/22/2241/>
17. Ибрагимов А. Г., Мамедова М. З. Густота стояния растений и урожайность хлопчатника. World Science. 2016. № 11 (15). С. 10-12.

References

1. Kuliev K., Shammedov M. N. Effect of fertilizers on the nutrient regime of soil and cotton yield. Technical Sciences in Russia and Abroad: Materials of the VI International Scientific Conference. Moscow: Buki-Vedi, 2016. Pp. 78-80. <https://moluch.ru/conf/tech/archive/228/11004/>
2. Guidelines for the effective use of mineral fertilizers in cotton growing. Ashgabat: Nauka, 2019. 52 p. <https://tohi.edu.tm/usuly-gollanma/ru/file/16.pdf>
3. Aslanov G. A. O., Israfilova R. V. K. Influence of Soil Cultivation and Mineral Fertilizers on Cotton Yield in the Karabakh Zone of Azerbaijan. Agrochemical Bulletin. 2023. № 1. Pp. 31-34.
4. Sadullaev A. M. Cotton Yield at Mineral Fertilizer Application Rates for Cotton Sowing Depending on Previous Crops. Actual problems of modern science. 2023. № 2 (131). Pp. 59-61.
5. Dzharafarova S. F. Ways to control the nutrient regime of cotton and increase yields. Vector of scientific thought. 2025. № 1 (18). Pp. 263-269.
6. Rakhimov A. D. et al. Ways of Using Organic and Mineral Fertilizers for Cotton. Current trends in the development of science and technology. 2017. № 1-2. Pp. 148-150.
7. Pirakhunova F. N., Abzalov A. A., Nurmukhamedov A. A. Importance of mineral fertilizers in reducing the fall of cotton fruit elements. Proceedings of the St. Petersburg State Agrarian University. 2020. № 60. Pp. 60-66.
8. Seyidaliev N. Y. Influence of mineral fertilizer doses and irrigation regime on economic and biological indicators of cotton. Perm Agrarian Bulletin. 2016. № 3 (15). Pp. 65-69.
9. Saidzoda R. F., Saidzoda S. T. Effect of Mineral Fertilizers in Combination with Organic Fertilizers on Cotton Yield. Science and innovation. 2021. № 3. Pp. 159-162.
10. Saidzoda S. T., Saidzoda R. F. Influence of Various Norms of Organic and Mineral Fertilizers on the Growth and Development of Cotton. Reports of the Tajik Academy of Agricultural Sciences. 2021. № 2 (68). Pp. 149-199.
11. Tashkulov S. M., Ismailov Zh. I. Influence of Norms and Ratios of Mineral Fertilizers on the Accumulation of Dry Mass and Yield of Fine-Fiber Cotton. Science, Society, Innovation: Current Issues of Modern Research. Penza, 2024. Pp. 40-42.
12. Avliyakov M., Durdiev N., Yakhoeva N. New agricultural technology of fertilizer application for cotton with drip irrigation in the context of global climate change. Agro Processing Magazine. 2022. V. 4. № 2. Pp. 17-25. <https://tadqiqot.uz/index.php/agroprocessing/article/view/479-9/4554>
13. Kumar R. et al. Coupling Effects of Nitrogen and Irrigation Levels on Growth At-tributes, Nitrogen Use Efficiency, and Economics of Cotton. 2022. V. 13.
14. Guidelines for the Control and Regulation of Soil Fertility of Irrigated Lands. Novocherkassk, RosNIIPM Publ., 2017. 137 p. (In Russian)
15. Dospikhov B. A. Methods of field experience (with the basics of statistical processing of research results). Moscow, Kolos Publ., 2012. 352 p.
16. Durdiev B. Nature of the formation of the leaf surface and photosynthetic activity of cotton in the regulation of potassium nutrition. Young scientist. 2010. № 11 (22). V. 2. Pp. 198-201. <https://moluch.ru/archive/22/2241/>
17. Ibragimov A. G., Mamedova M. Z. Plant Density and Cotton Yield. World Science. 2016. № 11 (15). Pp. 10-12.

Информация об авторах

Балакай Георгий Трифионович., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (Российская Федерация, 346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190), ORCID ID: 0000-0001-8021-6853.

Масный Р. С., кандидат военных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (Российская Федерация, 346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190), <https://orcid.org/0000-0002-0254-738X>, e-mail: rosniipm@yandex.ru

Юркова Рита Евгеньевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (Российская Федерация, 346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190), <https://orcid.org/0000-0001-8275-5834>, e-mail: rita6161@list.ru

Селицкий Сергей Артурович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (Российская Федерация, 346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190), <https://orcid.org/0000-0002-4771-4516>, e-mail: ssilja@yandex.ru

Authors' Information

Balakay Georgy Trifonovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher, Russian Research Institute of Land Reclamation Problems (Russian Federation, 346421, Rostov Region, Novocherkassk, Baklanovsky Ave., 190), ORCID ID: 0000-0001-8021-6853, e-mail: balakaygt@rambler.ru

Masny R. S., Candidate of Military Sciences, Leading Researcher, Russian Research Institute of Land Reclamation Problems (Russian Federation, 346421, Rostov Region, Novocherkassk, Baklanovsky Ave., 190), <https://orcid.org/0000-0002-0254-738X>, e-mail: rosniipm@yandex.ru

Yurkova Rita Evgenievna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Russian Research Institute of Land Reclamation Problems (Russian Federation, 346421, Rostov Region, Novocherkassk, Baklanovsky Ave., 190), <https://orcid.org/0000-0001-8275-5834>, e-mail: rita6161@list.ru

Selitsky Sergey Arturovich, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher of the Department, Russian Research Institute of Land Reclamation Problems (Russian Federation, 346421, Rostov Region, Novocherkassk, Baklanovsky Ave., 190), <https://orcid.org/0000-0002-4771-4516>, e-mail: ssilja@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-05

THE SEARCH FOR A BALANCED STRUCTURE OF THE AGROFORESTRY RECLAMATION COMPLEX OF THE SOUTH RUSSIAN FEDERATION ARID ZONE

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

*Federal State Budget Scientific Institution "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 08.09.2025

Submitted 28.10.2025

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 a scientifically based structure of the agroforestry reclamation complex, which is divided into agro-technological and forestry blocks. Their normative values have been developed taking into account the zonal features.

Abstract

Introduction. Numerous retrospective studies have repeatedly noted the positive meliorating effect of agroforestry systems on agricultural landscapes, which has determined the subject matter and focus of modern research, taking into account the growing anthropogenic impact on the agricultural sphere. **Object.** Agroforestry reclamation complex (AFRC) of arid zone with HTC 0.3-0.6. **Materials and methods.** The components of the structure of the agroforestry complex and their standard values are identified by the method of analysis and synthesis of the results of the work of VNIALMI, NV Research Institute of Agriculture, FGBNU VolGAU, Stavropol Research Institute of Agriculture and other scientific institutions with verification on agrarian landscapes and land uses of the chestnut soil zone for 2017-2024. **Results and conclusions.** A modern approach to AFRC research is based on in-depth scientific research and experimental data, enabling the development of effective agroforestry landscapes adapted to specific natural and climatic conditions. To create ecologically balanced agrarian landscapes in the arid zone of southern Russia within the HTC range of 0.3-0.6, we have developed a scientifically substantiated AFRC framework and its quantitative standard values, ensuring the attainability of rational land use goals. This framework consists of two components: agro-technological and forest reclamation.

Keywords: forest reclamation, forest reclamation technologies, rational land use, forest belt systems, arid zones.

Citation. Belyakov A. M., Koshelev A. V., Nazarova M. V. The search for a balanced structure of the agroforestry reclamation complex of the South Russian Federation arid zone. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 52-58 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-05.

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

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

УДК 631.6.02

**ПОИСК СБАЛАНСИРОВАННОЙ СТРУКТУРЫ АГРОЛЕСОМЕЛИОРАТИВНОГО
КОМПЛЕКСА ЗАСУШЛИВОЙ ЗОНЫ ЮГА РФ****Беляков А. М.**, главный ведущий сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, профессор**Кошелев А. В.**, ведущий научный сотрудник, 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. Многочисленными исследованиями в ретроспективе неоднократно отмечалось положительное мелиорирующее влияние агролесомелиоративных комплексов на агроландшафты, что предопределило тематику и направленность современных исследований с учетом роста антропогенного воздействия на агросферу. **Объект.** Агролесомелиоративный комплекс (АЛМК) засушливой зоны с ГТК 0,3-0,6. **Материалы и методы.** Слагаемые структуры агролесомелиоративного комплекса и их нормативные значения выделены методом анализа и синтеза результатов работ ВНИАЛМИ, НВ НИИСХ, ФГБНУ ВолГАУ, Ставропольского НИИСХ и других научных учреждений с верификацией на агроландшафтах и землепользованиях зоны каштановых почв за 2017-2024 гг. **Результаты и выводы.** Современный подход к исследованию АЛМК базируется на глубоких научных исследованиях и экспериментальных данных, что позволяет формировать эффективные и адаптированные к конкретным природно-климатическим условиям агролесоландшафты. Для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов засушливой зоны юга РФ в диапазоне ГТК 0,3-0,6 нами разработана научно обоснованная структура АЛМК и ее количественные нормативные значения, обеспечивающие достижимость целей рационального землепользования и состоящая из двух блоков агротехнологического и лесомелиоративного.

Ключевые слова: лесомелиорация, технологии лесомелиорации, рациональное землепользование, системы лесных полос, засушливые зоны.

Цитирование. Беляков А. М., Кошелев А. В., Назарова М. В. Поиск сбалансированной структуры агролесомелиоративного комплекса засушливой зоны юга РФ. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 52-58. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-05.

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. Оптимизация территориальных структур агроландшафтов является одной из ключевых задач, рассматриваемых в современной географии и агрономии [1, 2, 3]. Дегradация почв и опустынивание становятся все более актуальными проблемами региона. Неправильные методы ведения сельского хозяйства, чрезмерное применение химических удобрений и пестицидов, а также недостаток лесных насаждений приводят к ухудшению экосистемы. В связи с этим для сохранения и восстановления природных ресурсов необходимо внедрение агролесомелиоративных комплексов (АЛМК) и других мер по оптимизации агроландшафтов.

Формирование системы лесных полос является широко признанным и действенным методом для достижения данной задачи (Арманд, 1975; Николаев, 1979) [4, 5]. При создании полезащитных лесных насаждений важно применять дифференцированный подход с учетом специфики зональных условий.

В научной литературе описаны природные факторы, оказывающие влияние на урожайность сельскохозяйственных культур. К положительным факторам относятся суммарное количество осадков, снежный покров, сумма положительных температур, продолжительность теплого периода и уровень солнечной инсоляции. В то же время неблагоприятные метеорологические явления, такие как сильные ветры, интенсивные ливневые осадки, засухи, суховеи, заморозки и образование ледяных корок, способны оказывать негативное воздействие как на аграрное производство, так и на экосистемы региона.

Лесные полосы, наряду с другими мероприятиями, могут не только поддерживать плодородие почв и способствовать получению более высоких и стабильных урожаев но и улучшать общую экологическую ситуацию (Козменко, 1954; Васильев, 1980) [6].

Исследования, проведенные ВНИАЛМИ, ВНИИЗиЗПЭ и другими научными учреждениями, подтвердили положительное влияние АЛМК на сохранение и накопление влаги в почве, снижение развития дефляции и водной эрозии, а также улучшение микроклимата поля (Захаров, 1971; Павловский, 1973; Гаршинев, 1999) [7-10]. Это, в свою очередь, способствует росту плодородия почвы и улучшению агроландшафта.

В засушливой зоне позитивное влияние АЛМК на продуктивность культур установлено и доказано многими исследователями (Исаченко, 1980; Барабанов, 1993; Кирюшин, 1995; Кирюшин, 1996; Каштанов, 2008). Однако зональные особенности и механизмы воздействия АЛМК требуют дальнейшего уточнения.

Научная новизна состоит в теоретическом обосновании роли АЛМК зоны недостаточного увлажнения, уточненных нормативных значениях его структуры в зональном разрезе. Данная методология предполагает необходимость воплощения разработанной модели в практике и за счет агротехнологических, лесомелиоративных мер воздействия на агроландшафт позволяет сохранить природные ресурсы и восстанавливать деградированные земли с.-х. назначения.

Исходя из вышеизложенного, целью настоящего исследования является обоснование эффективности создания агролесомелиоративных комплексов в засушливых зонах с учетом их природно-климатических особенностей и разработка методических рекомендаций по их формированию и оптимизации.

Для достижения этой цели поставлены следующие задачи:

1. Определение оптимальных параметров и структуры агролесомелиоративных комплексов с учетом зональных особенностей.

2. Разработка положений по интеграции АЛМК в адаптивно-ландшафтное земледелие для повышения устойчивости агроландшафтов и предотвращения опустынивания.

Таким образом, несмотря на изученные процессы и агроэкологическую роль АЛМК в агроосфере, его вклад в предотвращение деградации почвы и расширения опустыненных территорий продолжает оставаться актуальным. Поиск и уточнение приемов восстановления деградированных территорий, а также формирование сбалансированных агроландшафтов продолжают на основе современных подходов адаптивно-ландшафтного земледелия и углубленной методологии управления природно-антропогенными системами.

Материалы и методы. Объектом исследований являлся АЛМК засушливой зоны с ГТК 0,3-0,6. Регион попадает в категорию умеренно засушливого климата с ярко выраженной сезонностью. Летние месяцы характеризуются высокими температурами и ограниченным количеством осадков, что приводит к дефициту влаги в почвах. Зимы, как правило, холодные и сопровождаются умеренными осадками. Среднегодовая температура варьируется от 5 до 10 °С, а годовое количество осадков составляет от 300 до 400 мм, что создает определенные вызовы для агрономической практики.

Территория региона в основном представлена каштановыми почвами. В условиях низкого ГТК происходит их быстрое истощение и деградация. Влага в таких почвах удерживается недостаточно долго, что негативно сказывается на урожайности сельскохозяйственных культур.

Методологическая основа по исследованию ландшафтов, агроландшафтов, лесомелиорации, АЛМК, формированию мер противодействия деградационным процессам в агроосфере и основам формирования рационального землепользования представлена в работах [11-16] и др.

Нами использовался метод анализа и синтеза по результатам работ ВНИАЛМИ, НВ НИИСХ, ФГБНУ ВолГАУ, Ставропольского НИИСХ и других научных учреждений, на основе которых были выделены и систематизированы слагаемые структуры агролесомелиоративного комплекса засушливой зоны юга России и их нормативные значения.

Собственные исследования проводились на агроландшафтах и землепользованиях зоны каштановых почв, в том числе на полигоне «Качалинский» Иловлинского района, КФХ Штепо А. В., КФХ Олейникова КФХ, Кузьменко А. И. Калачевского район, АО «Усть-Медведицкое», КФХ Исаева, ООО «им. Кубышева» Серафимовичского района, СПК «Черенский» Клетского района, где формирование объектов исследований происходило под влиянием длительных временных процессов, прошлых и современных природных явлений, а также хозяйственного воздействия в виде различных агротехнологий, способов использования природных ресурсов.

Результаты и обсуждение. Под АЛМК сегодня понимается совокупность агротехнологических и лесомелиоративных мер воздействия на агролесоландшафт с целью сохранения природных ресурсов и восстановления деградированных территорий. Механизм воздействия постоянно совершенствуется с развитием знания о процессах, протекающих в агролесоландшафтах.

По результатам анализа ряда работ ВНИАЛМИ, ВНИИЗиЗПЭ, НВ НИИСХ, ФГБНУ ВолГАУ, Ставропольского НИИСХ и других литературных источников, а также собственных экспериментальных данных нами были выделены слагаемые структуры агролесомелиоративного комплекса засушливой зоны юга России в диапазоне ГТК 0,3-0,6 и их количественные нормативные значения, обеспечивающие достижимость целей рационального землепользования.

Предлагаем структуру АЛМК разделить на два ярко выраженных блока агротехнологический и лесомелиоративный.

В состав элементов структуры и зональных нормативных значений агротехнологического блока АЛМК засушливой зоны следует включить:

- способ использования земельных ресурсов – рациональный;
- типизацию пашни – по уклонам и обеспеченности гумусом для дифференциации пашни по уровням интенсивности ее использования и применения мер восстановительного характера;
- долю пашни от площади с.-х. угодий – 45-50 %;
- уровень плодородия почв по обеспеченности гумусом, макроэлементами для интенсификации агроландшафтов – высокий, средний;
- подбор культур, сортов и гибридов для условий конкретной почвенно-климатической зоны и с учетом их мелиоративных свойств – максимально широкий, засухоустойчивые, морозо-зимостойкие, сорта (гибриды) районированные;
- структуру посева и долю чистого пара от пашни – сбалансированная (озимый клин 30-40 %, пропашные до 14 %, кормовые до 14 %, многолетние травы до 5-8 % и чистого пара до 16-18 %);
- севооборот во времени и пространстве – 3-4-х польный в каштановой зоне и 4-х польный в черноземной зоне и чередованием культур по типу корневых систем (мочковатая и стержневая);
- агротехнику (сроки посева, нормы высева и глубина сева) – зональная, с учетом биологии культуры и почвенно-климатической зоны;
- специальные приемы мелиорации почвы – сидерация, поделка кулис для снегонакопления, биологизация за счет многообразия культур и оставления на поле растительных остатков, щелевание склонов и вдоль лесополос;
- приемы защиты почвы от водной и ветровой энергии – рекомендованный зональный комплекс мер;
- агротехнологии – влаго-, энерго- и ресурсосберегающие, определяются набором приемов и последовательностью их применения, которые поддерживают благоприятный уровень водного и пищевого режимов почвы, обеспечивают запланированный уровень продуктивности культур, рентабельность производства выше 18 %;
- основную обработку почвы – дифференцированную, до 30 % глубокая, до 70 % мелкая и поверхностная и 50 % с оставлением стерни. Задача обработок почвы и агротехники – поддержание оптимальных агрофизических свойств почвы (структура почвы 50-58 %, порозность 52-56 %, плотность сложения (объемная масса) почвы при посеве 1,12-1,22 г/см³, что обеспечивает запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы ранней весной на уровне 128-132 мм;
- уровень компенсации выноса макроэлементов урожаем предшествующих культур – путем внесения минеральных удобрений из расчета 80-100 кг по д. в./га и оставление максимального количества растительных остатков, сидерации и внесения органических и минеральных удобрений;
- применение интегрированного защитного комплекса против болезней, вредителей, интенсивность применения пестицидов и гербицидов – осуществляется за счет использования химических препаратов, регуляторов и стимуляторов роста, допускается одна обработка пестицидами за сезон;
- планируемый уровень урожайности – не более 70 % от расчетного биоклиматического потенциала почвенно-климатической зоны возделывания;

- технологию уборки урожая (способ, длительность) – уборка проводится в течение 6-8 рабочих дней без заезда на поле автотранспорта и другой вспомогательной техники за исключением уборочных комбайнов;

- хранение продукции осуществляется согласно разработанных регламентов и рекомендаций;

- принципы использования и качество применяемой техники и оборудования – используется новое поколение техники, технических средств и оборудования;

- цифровизацию – используются достижения и разработки в области цифровизации земледелия и система контроля за качеством почвы и окружающей среды.

В состав элементов структуры и его нормативных значений лесомелиоративного блока АЛМК предлагаем включить:

- организацию территории с помощью ЗЛН – по границам полей, вдоль дорог, оврагов;

- средний размер поля – 160-180 га;

- норматив лесистости территории землепользования – общая лесистость для сухостепной зоны не менее 3,0-3,59 % от общей территории землепользования; где ПЗЛП отводится ведущее место не менее 65-70 %;

- ориентацию ПЗЛН по сторонам света – против юго-восточных и восточных ветров;

- подбор породного состава деревьев и кустарников – согласно научных рекомендаций, основных на сочетании главных и сопутствующих пород в сочетании с кустарником;

- конструкцию ПЗЛП с учетом зонального аспекта – ажурно-продуваемая с функцией эффективной защиты почвы от водной и ветровой эрозии, создание благоприятного микроклимата для полевых культур;

- межполосное пространство с учетом зонального аспекта подтипа каштановых почв – 250-350 м;

- обустройство водосборных валов и канав – при уклоне более 5 градусов.

Заключение. АЛМК представляет собой интегрированную систему агротехнологических и лесомелиоративных мероприятий, направленных на устойчивое и рациональное использование агролесоландшафтов, сохранение природных ресурсов и восстановление деградированных территорий. Современный подход к АЛМК базируется на глубоких научных исследованиях и экспериментальных данных, что позволяет формировать эффективные и адаптированные к конкретным природно-климатическим условиям меры. Для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов засушливой зоны юга РФ в диапазоне ГТК 0,3-0,6 нами разработана научно обоснованная структура АЛМК и ее количественные нормативные значения, обеспечивающие достижение целей рационального землепользования и состоящая из двух блоков агротехнологического и лесомелиоративного. Предложенная структура и нормативы агролесомелиоративного комплекса для засушливой зоны юга России обеспечивают сбалансированное сочетание агротехнологических и лесомелиоративных мер, что позволяет повысить устойчивость агроландшафтов, сохранить и восстановить плодородие почв, снизить эрозионные процессы и повысить продуктивность сельскохозяйственного производства при сохранении экологической безопасности. Дальнейшее совершенствование комплекса возможно за счет интеграции новых научных знаний, цифровых технологий и адаптации под изменяющиеся климатические условия.

Conclusions. The AFRC is an integrated system of agro-technological and forest reclamation measures aimed at the sustainable and rational use of agroforestry landscapes, the conservation of natural resources, and the restoration of degraded areas. The modern approach to the AFRC is based on in-depth scientific research and experimental data, enabling the development of effective measures tailored to specific natural and climatic conditions. To create ecologically balanced agrarian landscapes in the arid zone of southern Russia within the HTC range of 0.3-0.6, we have developed a scientifically substantiated structure of the AFRC and its quantitative standard values. This structure, consisting of two components: agrotechnological and forest reclamation, ensures the achievability of rational land use goals. The proposed structure and standards for the agroforestry complex for the arid zone of southern Russia provide a balanced combination of agrotechnological and forest reclamation measures, thereby increasing the sustainability of agrarian landscapes, preserving and restoring soil fertility, reducing erosion, and increasing agricultural productivity while maintaining environmental safety. Further improvement of the complex is possible through the integration of new scientific knowledge, digital technologies, and adaptation to changing climatic conditions.

Библиографический список

1. 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.
2. Масляев В. Н., Горбунова А. Р., Хомякова Я. Р. К вопросу об оптимизации территориальной структуры земель сельскохозяйственного назначения. Современные проблемы территориального развития. 2019. № 2. С. 6.
3. Mueller L. et al. Optimizing Agricultural Landscapes: Measures Towards Prosperity and Sustainability. Exploring and Optimizing Agricultural Landscapes. Innovations in Landscape Research. Springer, 2021.
4. Мартынюк А. А., Турчин Т. Я., Корнеев А. Б. Изученность государственных защитных лесных полос европейской части Российской Федерации: аналитический обзор. Лесохозяйственная информация. 2023. № 3. С. 55-76.
5. Trubacheva L. V., Mukhina O. V., Vlasova O. I., Drepa E. B., Loshakov A. V. The Ameliorative Role of Forest Strips in Crop Yield Conservation. The Challenge of Sustainability in Agricultural Systems. Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. V. 206.
6. Кретинин В. М. Современные задачи экологии агролесоландшафта. Научно-агрономический журнал. 2019. № 2 (105). С. 45-47.
7. Барабанов А. Т. Роль и место агролесомелиорации в адаптивно-ландшафтном земледелии. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2015. № 2 (38). С. 22-31.
8. Potashkina Yu. N., Koshelev A. V. Impact of Field-Protective Forest Belts on the Microclimate of Agroforest Landscape in the Zone of Chestnut Soils of the Volgograd Region. Forests. 2022. Vol. 13. No. 11. P. 1892.
9. Кулик А. В., Барабанов А. Т., Гордиенко О. А., Шайфуллин М. Р. Повышение мелиоративной эффективности лесополос в засушливых условиях. Аридные экосистемы. 2023. Т. 29. № 1 (94). С. 105-112.
10. Избранные труды научной школы эрозиоведения А. С. Козменко, Г. П. Сурмача. Волгоград, 2023. 640 с.
11. Масютенко Н. П., Бахирев Г. И., Кузнецов А. В. и др. Усовершенствованные теоретические основы формирования экологически сбалансированных агроландшафтов. Курск, 2015. 63 с.
12. Масютенко Н. П., Кузнецов А. В., Масютенко М., Брескина Г. М. Методологические аспекты формирования экологически сбалансированных агроландшафтов. Земледелие. 2016. № 7. С. 6-9.
13. Гостев А. В., Пыхтин И. Г., Нитченко Л. Б., Плотников В. А., Пыхтин А. И. Система оценки экологической сбалансированности агроландшафта и степени соответствия используемой в нем системы земледелия. Земледелие. 2017. № 8. С. 3-8.
14. Сухой П. А., Морозов А. В., Атаманюк Т. М. Экологическая оценка агроландшафтных систем на региональном уровне. Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2015. Т. 1. № 4. С. 6-16.
15. Трофимов И. А., Косолапов В. М., Трофимова Л. С., Яковлева Е. П. Проблемы земледелия и управления агроландшафтами. Земледелие. 2014. № 7. С. 3-5.
16. Трофимов И. А., Трофимова Л. С., Яковлева Е. П. Сохранение и оптимизация агроландшафтов Центрального Черноземья. Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2017. № 1. С. 103-109.

References

1. Nedikova E. V., Sadygov E. A. Optimization of the structure of agricultural landscape for sustainable land use in conditions of land degradation. Region: Systems, Economics, Management. 2022. No 1 (56). Pp. 181-187.
2. Maslyayev V. N., Gorbunova A. R., Khomyakova I. A. R. The issue of territorial structure optimization of agricultural land. Modern problems of territorial development. 2019. No 2. P. 6.
3. Mueller L. et al. Optimizing Agricultural Landscapes: Measures Towards Prosperity and Sustainability. Exploring and Optimizing Agricultural Landscapes. Innovations in Landscape Research. Springer, 2021.
4. Martynuk A., Turchin T., Korneev A. The study of State Protective Forest Strips of the European Part of the Russian Federation: Analytical Review. Forestry information. 2023. No 3. Pp. 55-76.
5. Trubacheva L. V., Mukhina O. V., Vlasova O. I., Drepa E. B., Loshakov A. V. The Ameliorative Role of Forest Strips in Crop Yield Conservation. The Challenge of Sustainability in Agricultural Systems. Lecture Notes in Networks and Systems, 2021. V. 206.
6. Kretinin V. M. Modern tasks of ecology agroforest landscape. Scientific Agronomy Journal. 2019. No 2 (105). Pp. 45-47.
7. Barabanov A. T. The role and place of agroforestry in adaptive landscape farming. Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp. 2015. No 2 (38). Pp. 22-31.
8. Potashkina Yu. N., Koshelev A. V. Impact of Field-Protective Forest Belts on the Microclimate of Agroforest Landscape in the Zone of Chestnut Soils of the Volgograd Region. Forests. 2022. Vol. 13. No 11. P. 1892.
9. Kulik A. V., Barabanov A. T., Gordienko O. A., Shajfullin M. R. Improving the reclamation efficiency of forest belts in arid conditions. Arid ecosystems. 2023. V. 29. No 1 (94). Pp. 105-112.
10. Selected works of the school of erosion studies by A. S. Kozmenko – G. P. Surmach. Volgograd, 2023. 640 p.
11. Masyutenko N. P., Bakhirev G. I., Kuznetsov A. V., Chuyan N. A., Breskina G. M., Dubovik E. V., Masyutenko M. N., Pripitneva M. A. Improved theoretical foundations for forming ecologically balanced agro-landscapes. Kursk, 2015. 63 p.
12. Masyutenko N. P., Kuznetsov A. V., Masyutenko M. N., Breskina G. M. Methodological aspects of formation of ecologically balanced agricultural landscapes. Agriculture. 2016. No 7. Pp. 6-9.
13. Gostev A. V., Pykhtin I. G., Nitchenko L. B., Plotnikov V. A., Pykhtin A. I. Evaluation system of ecological balance in an agricultural landscape and the degree of conformity to the used farming system. Agriculture. 2017. No 31. Pp. 3-7.
14. Suhoj P. A., Morozov A. V., Atamanyuk M. N. Ecological assessment of agro-landscape systems at the regional level. Bulletin of Tyumen State University. Ecology and Nature Management. 2015. Vol. 1. No 3 (3). Pp. 6-16.
15. Trofimov I. A., Kosolapov V. M., Trofimova L. S., Yakovleva E. P. Problems of agriculture and management of agrolandscapes. Agriculture. 2014. No 7. Pp. 3-5.
16. Trofimov I. A., Trofimova L. S., Yakovleva E. P. Preservation and optimization of the Central Black Earth Region. Proceedings of the Russian Academy of Sciences. 2017. No 1. Pp. 103-109.

Информация об авторах

Беляков Александр Михайлович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, 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, ФНЦ агроэкологии РАН (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, ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, 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: 10.32786/2071-9485-2025-06-06

THE EXTRAPOLATION OF THE WINTER WHEAT YIELDS BASED ON THE ANALYTICAL ALIGNMENT OF A DYNAMIC SERIES¹Kapranov V. N., ^{1,2}Zelenev A. V., ¹Kiselyov E. F., ¹Tegesov D. S., ¹Pleskachyov N. Yu.¹Federal Research Center «Nemchinovka»²Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba
Moscow, Russian Federation

Corresponding author E-mail: zelenev.a@bk.ru

Received 18.04.2025

Submitted 31.07.2025

Summary

The research paper emphasizes the importance of selecting varieties based on their adaptive traits and resistance to changing environmental conditions. The need for further study of the influence of abiotic factors, agricultural cultivation methods and biological characteristics of varieties on their productive potential is indicated.

Abstract

Introduction. The success of modern agriculture depends on the biological characteristics of cultivated crops, including their adaptation to environmental conditions. Analysis of yield dynamics and identification of key yield trends is an important task for forecasting and optimizing production. **Materials and methods.** The least squares method was used to calculate the statistical variability of the yield of two varieties of winter wheat (Moskovskaya 40 and Moskovskaya 27). According to this method, the choice of parameters of the regression function is optimal when the sum of deviations of the empirical values of the actual variable from the theoretical values calculated by the regression function is minimal. **Results and conclusions.** The average yield of winter wheat of the Moskovskaya 40 variety was 6.76 t/ha, while the yield of the Moskovskaya 27 variety was higher – 8.4 t/ha. At the same time, negative productivity dynamics were observed in the Moskovskaya 40 variety with a decrease rate of 0.223 t/ha per year. The Moskovskaya 27 variety showed positive dynamics in yield growth – by 0.214 t/ha per year. The potential yield in 2025 for the Moskovskaya 40 and Moskovskaya 27 varieties will be 4.76 and 9.89 t/ha, respectively, which confirms the pronounced variety specificity. Dynamic analysis showed multidirectional trends: the Moskovskaya 40 variety demonstrated an average annual yield decrease of 3.5 % with a maximum growth in 2017 and a sharp decline in 2024, the Moskovskaya 27 variety was characterized by a stable positive trend (2.5 % per year) with a peak in productivity in 2023. The different yields of the Moskovskaya 40 and Moskovskaya 27 varieties indicate their different adaptive capacity to a range of agroclimatic factors. The strength of the relationship in the linear regression equation is weak ($R^2 \leq 0.3$), which indicates the nonlinear nature of the relationship or the influence of random variables. An experiment designed to reveal statistical patterns involves some form of random error.

Keywords: winter wheat yield, analytical leveling, yield forecasting, patterns of yield changes.

Citation. Kapranov V. N., Zelenev A. V., Kiselyov E. F., Tegesov D. S., Pleskachyov N. Yu. The extrapolation of the winter wheat yields based on the analytical alignment of a dynamic series. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 58-64 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-06.

Author's contribution. All authors were directly involved in the planning, execution or analysis of the study, and also reviewed and approved the final version of the article.

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

УДК 519.22:633.111.1:631.559

**ЭКСТРАПОЛЯЦИЯ УРОЖАЙНОСТИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ОСНОВЕ
АНАЛИТИЧЕСКОГО ВЫРАВНИВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО РЯДА**

¹Капранов В. Н., доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник
^{1,2}Зеленев А. В., доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, профессор
¹Киселев Е. Ф., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
¹Тегесов Д. С., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
¹Плескачев Н. Ю., лаборант-исследователь

¹ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»²ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»
г. Москва, Российская Федерация

Введение. Успех современного сельского хозяйства зависит от биологических особенностей возделываемых культур, в том числе от их адаптации к условиям окружающей среды. Анализ динамики урожайности и выявление основных тенденций урожайности является важной задачей для прогнозирования и оптимизации производства. **Материалы и методы.** Для расчета статистической изменчивости урожайности двух сортов озимой пшеницы (Московская 40 и Московская 27) использовался метод наименьших квадратов. Согласно этому методу, выбор параметров функции регрессии оптимален, когда сумма отклонений эмпирических значений фактической переменной от теоретических значений, рассчитанных функцией регрессии, минимальна. **Результаты и обсуждение.** Средняя урожайность озимой пшеницы сорта Московская 40 составляла 6,76 т/га, в то время как урожайность сорта Московская 27 была выше – 8,4 т/га. В то же время отрицательная динамика продуктивности наблюдалась у сорта Московская 40 со скоростью снижения 0,223 т/га в год. Сорт Московская 27 показал положительную динамику роста урожайности – на 0,214 т/га в год. Возможная урожайность в 2025 году для сортов Московская 40 и Московская 27 будет составлять 4,76 и 9,89 т/га соответственно, что подтверждает выраженную сортоспецифичность. Динамический анализ показал разнонаправленные тенденции – сорт Московская 40 демонстрировал среднегодовое снижение урожайности на 3,5 % с максимальным ростом в 2017 году и резким падением в 2024 году, сорт Московская 27 характеризовался устойчивой положительной тенденцией (2,5 % в год) с пиком продуктивности в 2023 году. Разная урожайность сортов Московская 40 и Московская 27 свидетельствует об их различной адаптивной способности к комплексу агроклиматических факторов. Сила связи в уравнении линейной регрессии слабая ($R^2 \leq 0,3$), что указывает на нелинейный характер зависимости или влияние случайных величин. Эксперимент, призванный выявить статистические закономерности, связан с той или иной формой случайной ошибки.

Ключевые слова: урожайность озимой пшеницы, аналитическое выравнивание, прогнозирование урожайности, закономерности изменения урожайности.

Цитирование. Капранов В. Н., Зеленев А. В., Киселев Е. Ф., Тегесов Д. С., Плескачев Н. Ю. Экстраполяция урожайности озимой пшеницы на основе аналитического выравнивания динамического ряда. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 58–64. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-06.

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. Благополучие современного аграрного сектора зависит от биологических особенностей возделываемых культур, включая их адаптивность к условиям окружающей среды. Одним из ключевых показателей эффективности выращивания зерновых культур является урожайность, которая подвержена влиянию множества факторов. В связи с этим анализ динамики урожайности и выявление основных тенденций ее изменения представляют важную задачу для прогнозирования и оптимизации производства [1–5].

Изучение разных сортов озимой пшеницы может существенно различаться в схожих обстоятельствах выращивания. Для выявления закономерностей изменения урожайности применяется метод аналитического выравнивания, позволяющий определить основную тенденцию (тренд) с использованием математических моделей [6–9].

Аналитическое выравнивание – это один из наиболее точных методов определения основной тенденции в динамических рядах. Его суть заключается в подборе математической функции, которая наилучшим образом описывает изменения данных. Выбор функции зависит от характера динамики: это может быть линейная, квадратичная, экспоненциальная или гиперболическая модель [10–13].

Для нахождения параметров тренда применяют разные подходы: решение систем уравнений, метод средних, анализ разностей или метод наименьших квадратов (МНК). Если данные содержат периодические колебания, дополнительно используют частотные методы анализа, позволяющие выделить циклические компоненты. Это особенно важно для повышения точности прогнозов и изучения сезонных эффектов в динамических рядах [14–17].

Цель исследования – выявить статистическую изменчивость урожайности различных сортов озимой пшеницы на основе аналитического выравнивания динамического ряда.

Материалы и методы. В расчетах статистической изменчивости урожайности озимой пшеницы использовали метод наименьших квадратов. Согласно методу, выбор параметров функции регрессии является оптимальным в случае, когда сумма отклонений эмпирических значений фактической переменной от теоретических значений, рассчитанных по функции регрессии, является минимальной. Математически это выглядит следующим образом:

$$Q(\alpha, \beta) = \sum_{i=1}^n \{y_i - \hat{y}_i(\alpha, \beta)\}^2 \rightarrow \min$$

Метод включает выполнение несколько шагов:

1. Сбор данных для выполнения расчета регрессии;
2. Построение графика для визуальной оценки и выявления тенденции;
3. Построение модели. В случае линейной –

$$y = a_1 t + a_0,$$

где: y – зависимая переменная (урожайность); t – независимая переменная (время, количество лет); a_1 – наклон линии тренда (коэффициент); a_0 – значение « y » при $t=0$ (свободный член).

4. Нахождение коэффициентов « a_1 » и « a_0 » по формулам:

$$a_1 = \frac{N \times \sum(ty) - \sum t \times \sum y}{N \times \sum(t)^2 - (\sum t)^2}$$

$$a_0 = \frac{(\sum y - a_1 \sum t)}{N},$$

где: N – количество наблюдений; $\sum$ – символ суммы; t – значение независимой переменной; y – значение зависимой переменной.

5. Построение линии регрессии.

Итак, для детального объяснения МНК достаточно описать математическую модель объекта, анализируемые параметры которой формализуются в виде некой функциональной зависимости.

Результаты и обсуждение. Для выполнения аналитического выравнивания данных по урожайности озимой пшеницы взята выборка по сорту Московская 40 за период с 2017 по 2024 годы и Московская 27 – с 2018 по 2023 г. В расчетах использовали метод наименьших квадратов и линейную модель тренда: $\hat{y} = a_0 + a_1 \times t$. Параметры линейного тренда представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчет величин для определения прямой линии тренда урожайности сортов озимой пшеницы

Table 1 – Calculation of values for determining the straight trend line of yield of winter wheat varieties

Год / Year	Урожайность зерна (фактическая), т/га / Grain yield (actual), t/ha	Условное время / Conditional time	Квадрат / Square	Произведение / Work	Расчетные значения / Calculated values
	y	t	t^2	$y \times t$	$\hat{y} = a_0 + a_1 \times t$
Московская 40 / Moskovskaya 40					
2017	9,49	-7	49	-66,43	8,30
2018	5,18	-5	25	-25,9	7,86
2019	7,78	-3	9	-23,34	7,42
2020	9,14	-1	1	-9,14	6,98
2021	6,13	1	1	6,13	6,54
2022	4,62	3	9	13,86	6,10
2023	7,44	5	25	37,2	5,66
2024	4,31	7	49	30,17	5,22
Итого / Total	54,09	0	168	-37,45	54,09
Московская 27 / Moskovskaya 27					
2018	4,56	-5	25	-22,8	7,33
2019	7,26	-3	9	-21,78	7,76
2020	8,44	-1	1	-8,44	8,18
2021	7,21	1	1	7,21	8,61
2022	5,91	3	9	17,73	9,04
2023	8,61	5	25	43,05	9,47
Итого / Total	41,99	0	70	14,97	50,39

Анализ данных показал (таблица 2), что за исследуемые периоды средняя урожайность озимой пшеницы сорта Московская 40 составила 6,76 т/га, между тем данная величина у Московской 27 – 8,4 т/га. Однако у Московской 40 прослеживалось минусовое изменение урожайности с интенсивностью убывания 0,223 т/га в год. В свою очередь у сорта Московская 27 зафиксирована положительная тенденция к росту урожайности – на 0,214 т/га в год.

Поэтому, предположительно можно утверждать, что эти сорта озимой пшеницы по-разному адаптируются к условиям выращивания. Это предопределяет дальнейшее изучения факторов, влияющих на их продуктивность.

Таблица 2 – Статистические характеристики трендов урожайности
Table 2 – Statistical characteristics of yield trends

Показатель / Indicator	Московская 40 / Moskovskaya 40	Московская 27 / Moskovskaya 27
Свободный член (a_0) / Free member (a_0)	6,761	8,398
Коэффициент наклона (a_1) / Slope coefficient (a_1)	-0,2229	0,2138
Уравнение линейного тренда / Linear trend equation	$\hat{y} = 6,761 - 0,2229 \times t$	$\hat{y} = 8,398 + 0,2138 \times t$
R^2	0,30	0,27

Для оценки адекватности модели анализ был дополнен верификацией по фактическим данным. Совместная визуализация расчетных значений аналитической модели и фактической динамики урожайности сортов озимой пшеницы представлена на графиках (рисунок 1). Модель демонстрирует удовлетворительное соответствие фактическим данным по динамике урожайности озимой пшеницы. Визуальный анализ графика подтверждает наличие характерных колебаний фактических значений урожайности. Экстраполяция осуществляется путем подстановки значения временного параметра (t) для прогнозируемого периода в уравнение тренда, что позволяет получить точечную оценку будущей величины.

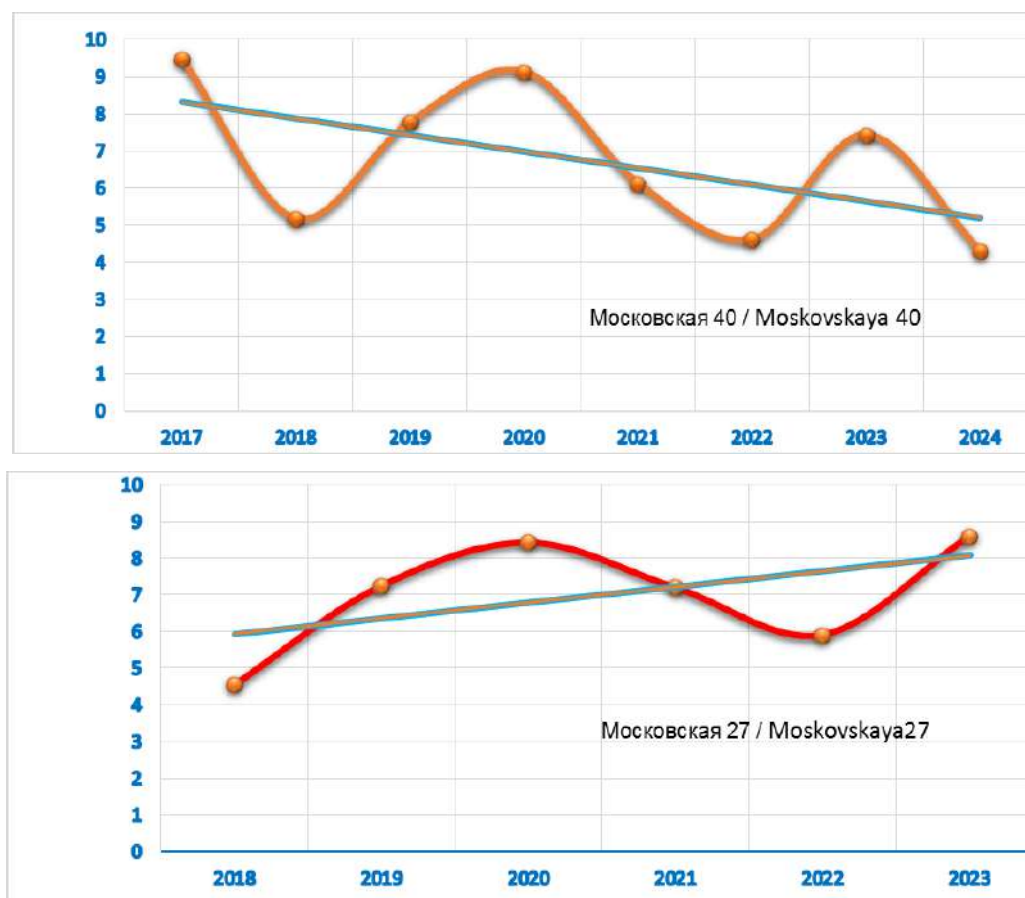


Рисунок 1 – Фактическая и теоретическая модель урожайности
Figure 1 – Actual and theoretical yield model

Прогноз выявил различия в урожайности рассматриваемых сортов озимой пшеницы. У Московской 40 и Московской 27 будущая урожайность может составлять в 2025 году 4,76 и 9,89 т/га соответственно, что подтверждает выраженную сортовую особенность (таблица 3).

Динамический анализ показал разнонаправленные тенденции – выраженное в течение года убывание урожайности у Московской 40 на 3,5 % с предельным сдвигом в 2017 году и резким падением в 2024 году, сорт Московская 27 характеризовался устойчивым положительным трендом (2,5 % в год) с пиком продуктивности в 2023 году. За период исследований средняя урожайность составила 6,76 т/га Московской 40 и 8,40 т/га Московской 27, что свидетельствует о различной адаптивной способности сортов к комплексу агроклиматических факторов.

Таблица 3 – Экстраполяция урожайности сортов озимой пшеницы
Table 3 – Extrapolation of yield of winter wheat varieties

Сорт / Variety	Уравнение прогноза / Forecast equation	Прогнозируемая урожайность, т/га / Predicted yield, t/ha
Московская 40 / Moskovskaya 40	$\hat{y}_{2025} = 6,761 - 0,2229 \times 9$	4,76
Московская 27 / Moskovskaya 27	$\hat{y}_{2025} = 8,398 + 0,2138 \times 7$	9,89

Поэтому, проведенный анализ показал, что сила связи в линейном уравнении регрессии является слабой ($R^2 \leq 0,3$), что свидетельствует о нелинейном характере связи или влиянии случайных шумов. Это предопределяет отклонение предикта. В данном случае мы убеждаемся, что эксперимент, направленный на выявление статистических закономерностей, связан с теми или иными случайными погрешностями.

Заключение. Наши исследования подтверждают значимость выбора сорта с учетом его адаптивных свойств и устойчивости к изменяющимся условиям среды. Результаты подчеркивают необходимость дальнейшего изучения влияния абиотических факторов, агротехнических способов возделывания и биологических особенностей сортов на их продукционный потенциал. Последующая работа в этом направлении позволит оптимизировать продуктивность озимой пшеницы и повысить эффективность производства.

Conclusions. Our research confirms the importance of choosing a variety based on its adaptive properties and resistance to changing environmental conditions. The results highlight the need for further study of the influence of abiotic factors, agronomic cultivation methods and biological characteristics of varieties on their production potential. Further work in this direction will optimize the productivity of winter wheat and increase production efficiency.

Библиографический список

- 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.
- Дубинкина Е. А., Беляев Н. Н. Поиск адаптивных сортов озимой мягкой пшеницы для Центрального Черноземья. Аграрная Россия. 2024. № 9. С. 8-12.
- Курбанов С. А., Магомедов 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.
- 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.
- Плескачев Ю. Н., Борышов Р. Ю., Анишко М. Ю. и др. Совершенствование технологии возделывания озимой пшеницы в Нижнем Поволжье. Аграрная Россия. 2024. № 12. С. 17-20.
- Гладышева О. В., Банникова М. И. Урожайность и оценки адаптивности раннеспелых и позднеспелых сортов озимой мягкой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья. Аграрная наука. 2021. № 344 (1). С. 129-132.
- Ломазов В. А., Товстолуцкий Е. В. Инструментарий анализа и прогнозирования урожайности зерновых культур в крестьянско-фермерском хозяйстве. Вызовы и инновационные решения в аграрной науке: материалы XXVIII Международной молодежной научно-производственной конференции. Майский, 2024. С. 206-207.
- Сандухадзе Б. И., Савинов Е. В., Мамедов Р. З. и др. Отзывчивость сортов и линий озимой мягкой пшеницы немчиновской селекции на внесение азотных удобрений в условиях Московской области. Аграрная Россия. 2024. № 3. С. 18-22.
- Страшная А. И., Павлова А. В., Кулакова Т. В. и др. Агрометеорологические условия и прогнозирование урожайности зерновых и зернобобовых культур в субъектах восточной части Сибирского федерального округа. Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2023. № 4 (390). С. 118-137.
- Воротников И. Л., Розанов А. В., Богатырев С. А. и др. Методологические особенности долгосрочного прогнозирования урожайности зерновых культур. Аграрный научный журнал. 2022. № 11. С. 34-37.
- Кутаев А. А., Нечаева М. Л. Прогнозные параметры стратегического развития зерновой отрасли. Вестник Нижегородского ГИЭИ. 2024. № 6 (157). С. 90-100.
- Товстолуцкий Е. В., Ломазов В. А. Модели и методы многовариантного прогнозирования урожайности зерновых культур. Актуальные проблемы агроинженерии в XXI веке: материалы Национальной науч.-практ. конференции с международным участием. Майский, 2023. С. 269-272.

13. Чешкова А. Ф., Степочкин П. И., Алейников А. Ф. и др. Сравнение статистических методов оценки стабильности урожайности озимой пшеницы. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. Т. 24. № 3. С. 267-275.
14. Буховец А. Г., Семин Е. А., Горностаев А. К. О новых подходах к прогнозированию урожайности зерновых культур. Современная экономика: проблемы и решения. 2023. № 2. С. 8-19.
15. Генералов И. Г. Методический подход краткосрочного прогнозирования производства зерна в регионе. Азимут научных исследований: экономика и управление. 2019. Т. 8. № 4 (29). С. 123-126.
16. Криулина Е. Н., Катков К. А., Оганян Л. Р. Методические подходы к прогнозированию урожайности зерновых культур в Ставропольском крае. Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 5. С. 85-90.
17. Ширнаева С. Ю. Различные подходы к прогнозированию урожайности зерновых культур. Наука XXI века: актуальные направления развития. 2022. № 1-2. С. 129-132.

References

1. Berezneva A. S. Physiological bases of formation of productivity of winter wheat depending on cultivation technologies. Ecological Bulletin of the North Caucasus. 2025. Vol. 21. №. 1. Pp. 18-25.
2. Dubinkina E. A., Belyaev N. N. Search for adaptive varieties of winter soft wheat for the Central Black Earth Region. Agrarian Russia. 2024. №. 9. Pp. 8-12.
3. 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. №. 4. Pp. 16-20.
4. Laptina Yu. A., Naboychenko K. V., Gichenkova O. G. et al. Adaptability parameters of winter wheat varieties in the conditions of the Volgograd region. Agrarian Russia. 2024. №. 1. Pp. 11-18.
5. Pleskachyov Yu. N., Boryshov R. Yu., Anishko M. Yu. et al. Improving the technology of winter wheat cultivation in the Lower Volga region. Agrarian Russia. 2024. №. 12. Pp. 17-20.
6. Gladysheva O. V., Bannikova M. I. Productivity and adaptability assessment of early and late varieties of winter soft wheat in the conditions of the Central Non-Black Earth Region. Agrarian Science. 2021. №. 344 (1). Pp. 129-132.
7. Lomazov V. A., Tovstolutskiy E. V. Tools for analyzing and forecasting the yield of grain crops in a peasant farm. Challenges and innovative solutions in agricultural science: Proceedings of the XXVIII International Youth Scientific and Production Conference. Maysky, 2024. Pp. 206-207.
8. Sandukhadze B. I., Savinov E. V., Mamedov R. Z. et al. Responsiveness of varieties and lines of winter soft wheat of Nemchinovskaya selection to the application of nitrogen fertilizers in the conditions of the Moscow region. Agrarian Russia. 2024. №. 3. Pp. 18-22.
9. Strashnaya A. I., Pavlova A. V., Kulakova T. V. et al. Agrometeorological conditions and forecasting the yield of grain and leguminous crops in the subjects of the eastern part of the Siberian Federal District. Hydrometeorological research and forecasts. 2023. № 4 (390). Pp. 118-137.
10. Vorotnikov I. L., Rozanov A. V., Bogatyrev S. A. et al. Methodological features of long-term forecasting of grain crop yields. Agrarian scientific journal. 2022. №. 11. Pp. 34-37.
11. Kutaev A. A., Nechaeva M. L. Forecast parameters of strategic development of the grain industry. Bulletin of the Nizhny Novgorod State Institute of Economics. 2024. №. 6 (157). Pp. 90-100.
12. Tovstolutskiy E. V., Lomazov V. A. Models and methods of multivariate forecasting of grain crop yields. Actual problems of agricultural engineering in the 21st century: materials of the National scientific and practical conference with international participation. Maysky, 2023. Pp. 269-272.
13. Cheshkova A. F., Stepochkin P. I., Aleinikov A. F. et al. Comparison of statistical methods for assessing the stability of winter wheat yield. Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2020. Vol. 24. №. 3. Pp. 267-275.
14. Bukhovets A. G., Semin E. A., Gornostaev A. K. On new approaches to forecasting the yield of grain crops. Modern Economy: Problems and Solutions. 2023. №. 2. Pp. 8-19.
15. Generalov I. G. Methodological approach to short-term forecasting of grain production in the region. Azimuth of scientific research: economics and management. 2019. Vol. 8. №. 4 (29). Pp. 123-126.
16. Kriulina E. N., Katkov K. A., Oganyan L. R. Methodological approaches to forecasting the yield of grain crops in the Stavropol Territory. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2023. Vol. 37. №. 5. Pp. 85-90.
17. Shirnaeva S. Yu. Various approaches to forecasting the yield of grain crops. Science of the XXI century: current directions of development. 2022. №. 1-2. Pp. 129-132.

Информация об авторах

Капранов Владимир Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, 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/0009-0009-9950-3663>, e-mail: kapr4nov.v@yandex.ru

Зеленев Александр Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук, 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); профессор агробиотехнологического департамента аграрно-технологического института, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», (Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 8/2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9351-9922>, e-mail: zelenev.a@bk.ru

Киселев Евгений Федорович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий 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/0009-0000-5764-4868>, e-mail: para-john-k@yandex.ru

Тегесов Дольган Сергеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий 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/0009-0007-3978-2520>, e-mail: dolgan08@mail.ru

Плескачев Николай Юрьевич, лаборант-исследователь, 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/0009-0000-4835-2812>, e-mail: pleskachev77@yandex.ru

Authors' Information

Kapranov Vladimir Nikolaevich, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Federal Research Center "Nemchinovka" (Russian Federation, 121205, Moscow, territory of the Skolkovo Innovation Center, Bolshoi Boulevard, 30, building 1, office 304), ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9950-3663>, e-mail: kapr4nov.v@yandex.ru

Zelenev Aleksandr Vasilievich, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Federal Research Center "Nemchinovka" (Russian Federation, 121205, Moscow, territory of the Skolkovo Innovation Center, Bolshoi Boulevard, 30, building 1, office 304); Professor of the Agrobiotechnology Department of the Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (Russian Federation, 117198, Moscow, Miklukho-Maklaya str., 8/2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9351-9922>, e-mail: zelenev.a@bk.ru

Kiselyov Evgeny Fedorovich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Federal Research Center "Nemchinovka" (Russian Federation, 121205, Moscow, territory of the Skolkovo Innovation Center, Bolshoi Boulevard, 30, building 1, office 304), ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5764-4868>, e-mail: papa-john-k@yandex.ru

Tegesov Dolgan Sergeevich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Federal Research Center "Nemchinovka" (Russian Federation, 121205, Moscow, territory of the Skolkovo Innovation Center, Bolshoi Boulevard, 30, building 1, office 304), ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3978-2520>, e-mail: dolgan08@mail.ru

Pleskachyov Nikolay Yuryevich, Research Assistant, Federal Research Center "Nemchinovka" (Russian Federation, 121205, Moscow, territory of the Skolkovo Innovation Center, Bolshoi Boulevard, 30, building 1, office 304), ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4835-2812>, e-mail: pleskachev77@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-07

THE REACTION OF THE GRAIN CORN PLANTS TO THE USE OF BIOLOGICAL STIMULANTS IN CULTIVATION IN THE NORTHERN ZONE OF THE KRASNODAR REGION

Novikov A. A., Chugunova E. V., Lysenko I. I.

*All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: komarova62@rambler.ru

Received 11.07.2025

Submitted 29.09.2025

The research was carried out in fulfillment of the State Task FNFR-2025-0001 "To create new highly productive varieties and hybrids of agricultural crops (soybeans, corn) that are responsive to irrigation, possess specified economically valuable characteristics and high potential for adaptation to biotic and abiotic environmental factors".

Summary

The article presents the results of assessing examines the effects of the use of growth regulators and their impact on the growth, development and productivity of grain-based corn hybrids recommended for cultivation in the northern zone of the Krasnodar Territory.

Abstract

Introduction. Increasing corn grain production has been and remains an important agrotechnological task. Currently, as part of the development of technologies for obtaining higher productivity of crop plants, the selection of a hybrid capable of maximizing its production potential in a specific soil and climatic zone is of particular importance. The use of growth regulators can contribute to a more complete realization of the biopotential. The object of research is the reaction of corn plants zoned in the North Caucasus region (region 6) of hybrids to the effects of growth regulators on them. Materials and methods. A field experiment to identify patterns of the effect of growth stimuli on the productivity of corn plants during grain cultivation was studied in 2023-2024 in the production conditions of Zarya LLC in the Krylovsky district of Krasnodar region. When carrying out the observations and analyses provided for in the program, the relevant GOST standards and generally accepted methods were used. Results and conclusions. The article discusses the results of a field experiment dedicated to studying the effect of biological stimulants on the growth, development and productivity of corn plants. In our experiment, it was found that plants of the GS-370 hybrid formed a photosynthetic potential at a maximum level of 2605 thousand m^2 day/ha in the case of the use of the growth stimulator Energiya M. This level turned out to be 735 thousand m^2 day/ha or 39.3 % more than that of the hybrid P 8834 in the control plots. Plants of the GS-370 hybrid in variants using the Energiya M growth stimulator formed a maximum (10.95 t/ha) of dry biomass, which is 2.29 t/ha or 26 % more than the hybrid P 8834 in the plots of the control variant. It was found that, on average, in 2023-2024, in the variants of using the Energiya M stimulator, according to the scheme of use for pre-sowing seed treatment and two leaf top dressing, the maximum grain yield of the GS-370 hybrid was 7.84 t/ha, which is 0.53-0.65 t/ha more than that of the hybrid P 8834 and 0.26-0.40 t/ha is more than that of the hybrid KSS 5291. The receipt of 22,360 rubles/ha of net income was ensured by the use of the growth stimulator Energiya M in the cultivation of the hybrid corn GS-370. With this combination, an increase in net income of 8,200 rubles/ha was obtained from the control variety (hybrid P 8834 without treatments). The level of profitability that allows for extended reproduction (59.8 %) was provided by the same combination of experimental factors.

Keywords: grain corn, hybrids of grain corn, plant growth stimulants, yield of grain corn.

Citation. Novikov A. A., Chugunova E. V., Lysenko I. I. The reaction of the grain corn plants to the use of biological stimulants in cultivation in the northern zone of the Krasnodar region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 64-72 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-07.

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

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

УДК 633.15:631.86

РЕАКЦИЯ РАСТЕНИЙ ЗЕРНОВОЙ КУКУРУЗЫ НА ПРИМЕНЕНИЕ БИОСТИМУЛЯТОРОВ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ В СЕВЕРНОЙ ЗОНЕ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

Новиков А. А., доктор сельскохозяйственных наук

Чугунова Е. В., младший научный сотрудник

Лысенко И. И., старший лаборант-исследователь

*Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал
ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова»
г. Волгоград, Российская Федерация*

НИР проведены при выполнении Государственного задания *FNFR-2025-0001 "Создать новые высокопродуктивные сорта и гибриды сельскохозяйственных культур (соя, кукуруза), отзывчивых на орошение, обладающих заданными хозяйственно-ценными признаками и высоким потенциалом адаптации к биотическим и абиотическим факторам среды"*.

Актуальность. Увеличение производства зерна кукурузы было и остается важной агротехнологической задачей. В настоящее время в рамках разработки технологий получения более высокой продуктивности растений культуры особое значение приобретает подбор гибрида, способного максимально реализовать свой потенциал продуктивности в конкретной почвенно-климатической зоне. Более полной реализации биопотенциала может способствовать применение регуляторов роста. **Объект исследований** – реакция растений кукурузы, районированных в Северо-Кавказском регионе допуска (6 регион) гибридов на воздействие на них регуляторами роста. **Материалы и методы.** Полевой эксперимент по выявлению закономерностей воздействия стимуляторов роста на продуктивность растений кукурузы при возделывании на зерно изучали в 2023-2024 годах в производственных условиях ООО «Заря» Крыловского района Краснодарского края. При проведении предусмотренных программой наблюдений и выполнения анализов применяли соответствующие ГОСТы и общепринятые методики. **Результаты и выводы.** В статье обсуждаются результаты полевого эксперимента, посвященного изучению влияния применения биостимуляторов на рост, развитие и продуктивность растений кукурузы. В нашем эксперименте установлено, что растения гибрида ГС-370 сформировали фотосинтетический потенциал на максимальном уровне 2605 тыс. м² сут./га в случае применения стимулятора роста Энергия М. Такой уровень оказался на 735 тыс. м² сут./га или на 39,3 % больше, чем у гибрида П 8834 на участках контрольного варианта.

Растения гибрида ГС-370 в вариантах с использованием стимулятора роста Энергия М сформировали максимум (10,95 т/га) сухой биомассы, что на 2,29 т/га или на 26 % больше по сравнению с гибридом П 8834 на делянках контрольного варианта. Установлено, что в среднем за 2023-2024 годы в вариантах применения стимулятора Энергия М по схеме использования при предпосевной обработке семян и двух листовых подкормок было обеспечено получение максимального урожая зерна гибрида ГС-370 7,84 т/га что на 0,53-0,65 т/га больше чем у гибрида П 8834 и на 0,26-0,40 т/га больше чем у гибрида КСС 5291.

Получение 22 360 руб./га чистого дохода было обеспечено применением стимулятора роста Энергия М при возделывании гибрида кукурузы ГС-370. При таком сочетании была получена прибавка чистого дохода в 8 200 руб./га от контрольного варианта (гибрид П 8834 без обработок). Уровень рентабельности, позволяющий вести расширенное воспроизводство (59,8 %) был обеспечен тем же сочетанием факторов эксперимента.

Ключевые слова: зерновая кукуруза, гибриды зерновой кукурузы, стимуляторы роста растений, урожайность зерновой кукурузы.

Цитирование. Новиков А. А., Чугунова Е. В., Лысенко И. И. Реакция растений зерновой кукурузы на применение биостимуляторов при возделывании в северной зоне Краснодарского края. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 64-72. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-07.

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. По данным мировой сельскохозяйственной организации ООН (ФАО) к числу трех ведущих зерновых культур мира относится кукуруза (*Zea mays* L.). К тому же эта культура универсальна по направлениям использования и ее можно отнести как к группе зерновых, так и кормовых, технических и лекарственных культур [1, 2, 3].

В настоящее время кукуруза является сырьем не только для пищевой и комбикормовой промышленности, но также для химической, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной и фармацевтической [4, 5, 6].

Зерно кукурузы, ввиду высокой кормовой ценности и концентрации энергии, является важным компонентом в комбикормах для сельскохозяйственных животных и птицы [7, 8, 9].

Известно, что полностью реализовать свой потенциал продуктивности могут только адаптированные к конкретным почвенно-климатическим условиям гибриды [13].

Для производства зерна кукурузы в Северной зоне Краснодарского края селекционно-семеноводческие компании рекомендуют высевать гибриды с вегетационным периодом 105-115 дней. Данная рекомендация ученых основывается на результатах исследований, которые показали преимущество сравнительно позднего срока посева за счет совпадения фазы цветения, опыления и налива зерна с периодом выпадения осадков в удачное время для гибрида данной группы спелости [14].

К другим рискам недобора урожая кукурузы относят заболевания, получившие широкое распространение по причине увеличения доли зерновой кукурузы в структуре посевов, а иногда и возделывания кукурузы в монокультуре в северной зоне Краснодарского края.

Применение большого количества средств защиты растений химической природы приводит к негативной экологической нагрузке на почву и одновременно снижают экологическую ценность сельскохозяйственного сырья.

По мнению ряда ученых и практиков использование препаратов биологического происхождения позволяет избежать вышеуказанных последствий. Активность биологических препаратов позволяет создать более благоприятные условия для роста и развития растения сельскохозяйственных культур, в том числе пропашных. Оптимизируется питание растений, что стимулирует их рост за счет поступления дополнительных микроэлементов усиливает иммунные способности, что повышает устойчивость растений к стрессовым погодным условиям и, в итоге, обеспечивает рост продуктивности [15]. При применении биологических регуляторов роста агроценоз освобождается от негативной пестицидной нагрузки, что улучшает почвенные характеристики, а также позволяет избежать накопления остатков химикатов в сельскохозяйственной продукции и сырье [10, 11, 12].

Цель исследований состояла в установлении нормы реакции перспективных гибридов кукурузы на применение стимуляторов роста при возделывании на зерно в условиях северной зоны Краснодарского края.

Материалы и методы. Исследования проводили в производственных условиях ООО «Заря» Крыловского района Краснодарского края в 2023 и 2024 годах. Почвенный покров экспериментальной делянки – зональный чернозем обыкновенный с малым содержанием гумуса (4,2 %) карбонатный, среднемощный (мощность гумусового горизонта 0,60 м). Общего азота содержится 0,3-0,4 % (по методике ЦИНАО ГОСТ 26107-84), в метровом слое 12-20 т/га, подвижного фосфора 0,16-0,20 % (по методу Чирикова в модификации ЦИНАО ГОСТ 26204-91), обменного калия – 1,5-2,1 % (по методике ЦИНАО ГОСТ 26204-91), pH 7,2 ед.

Опыт двухфакторный. Изучали влияние предпосевной обработки семян и листовых подкормок стимуляторами роста на рост, развитие и урожайность районированных гибридов кукурузы.

Изучаемые факторы:

А. Стимуляторы роста биологического происхождения: «Терразот» – биологический препарат на основе ассоциированных азотфиксирующих бактерий и «Энергия-М» – кремнийорганический биостимулятор на основе синтетического ауксина и биологического кремния.

В. Районированные гибриды кукурузы среднеспелой группы созревания: КСС 5291 (оригинатор ООО «Росагротрейд»), П 8834 (оригинатор Pioneer Hi-Bred International Inc.) и ГС 370 (оригинатор Woodstock Kft.).

Схема опыта включала три варианта применения препаратов: 1 – контроль (намачивание семян и обработки водой); обработки в виде предпосевной обработки семян и двух листовых подкормок: 2 – препаратом Терразот; 3 – обработки препаратом Энергия М. Обработки посевов кукурузы препаратами Терразот и Энергия М проводили в период вегетации дозой 2 л/га с расходом рабочего раствора 100 л/га в фазу 3-5 листьев.

Площадь учетной делянки в опыте составляла 252 м² (30 м x 8,4 м = 252 м²). Сев проводился двенадцатирядковой пропашной сеялкой Gaspardo с шириной захвата 8,4 метра. Междурядье 0,7 м (0,7 м x 12 = 8,4 м). Норма высева из расчёта 70 тысяч штук всхожих семян на гектар.

Повторность трехкратная, размещение рендомизированное (по Б. А. Доспехову, 1985). Все предусмотренные программой наблюдения и анализы выполнены по соответствующим ГОСТам и принятым методикам.

В эксперименте применяли зональную технологию возделывания кукурузы.

Погодные условия были близки к среднесезонным значениям. ГТК вегетационного периода кукурузы в 2023 году равнялся 0,6 ед., в 2024 году – 0,7 ед. что характеризовало годы исследований как засушливые.

Под предпосевную культивацию вносилась аммофоска дозой N₉₀P₉₀K₉₀ [16].

Результаты и обсуждение. Установлено, что изучаемые факторы оказали влияние на рост, развитие и продуктивность растений кукурузы, возделываемой на зерно.

Для всех гибридов применение стимуляторов роста привело к увеличению продолжительности вегетационного периода, площади листовой поверхности и росту фотосинтетического потенциала (таблица 1). Наибольший рост значений изучаемых показателей наблюдался при применении стимулятора «Энергия М».

Минимальная величина фотосинтетического потенциала в среднем за 2023-2024 годы формировалась у гибрида П 8834 на делянках контрольного варианта и равнялась 1 870 тыс. м² сутки/га. Использование стимулятора Терразот у этого же гибрида позволило повысить фотосинтетический потенциал, который был сформирован на 62 тыс. м² сутки/га больше. В вариантах с использованием стимулятора Энергия М был сформирован максимальный фотосинтетический потенциал растений гибрида П 8834 – 1 995 тыс. м² сутки/га что больше контроля на 125 тыс. м² сутки/га.

Таблица 1 – Фотосинтетический потенциал, среднее за 2023-2024 гг.

Table 1 – Photosynthetic potential, average for 2023-2024

Гибриды / Hybrids	Стимуляторы роста / Growth stimulants	Продолжительность периода всходы-созревание, сутки / Duration of the germination-ripening period, days	Максимальная площадь листьев, тыс. м ² /га / Maximum leaf area, thousand m ² /ha	ФСП, тыс. м ² сутки/га / FSP, thousand m ² per day/ha
П 8834 / P 8834	Контроль / Control	136	27,5	1 870
	Терразот / Terrazot	138	28,0	1 932
	Энергия М / Energia M	141	28,3	1 995
КСС 5291 / KSS 5291	Контроль / Control	142	29,3	2 080
	Терразот / Terrazot	146	29,9	2 183
	Энергия М / Energia M	148	30,2	2 235
ГС 370 / GS 370	Контроль / Control	150	32,5	2 437
	Терразот / Terrazot	154	33,0	2 541
	Энергия М / Energia M	156	33,4	2 605

Максимальная величина фотосинтетического потенциала была сформирована растениями гибрида ГС 370 в сочетании с применением препарата Энергия М и составила 2 605 тыс. м² сутки/га. Применение препарата Терразот обеспечило рост фотосинтетического потенциала растений, однако этот рост был меньшим в сравнении с лучшим вариантом. Наибольшая реакция на применение стимуляторов роста была проявлена гибридом ГС 370. При применении обоих стимуляторов роста растения этого гибрида сформировали и наибольший по площади ассимиляционный аппарат, и большую продолжительность вегетационного периода.

Гибрид КСС 5291 также среагировал на применение стимуляторов роста, но в меньшей, по сравнению с гибридом ГС 370, степени. При этом значения показателей продолжительности вегетационного периода, площади листовой поверхности и в целом, фотосинтетического потенциала оказались выше контроля.

Действие стимуляторов роста оказало аналогичное влияние и на размер початков (таблица 2). Початки наибольшей длины были сформированы у гибрида ГС 370 как при применении стимуляторов роста, так и на контроле. У растений всех гибридов отмечается наибольшая длина початка при применении стимулятора Энергия М.

Таблица 2 – Длина початков кукурузы в зависимости от применения стимуляторов роста, среднее за 2023-2024 годы, м

Table 2 – Size of corn cobs with or without growth stimulants, average for 2023-2024, m

Гибриды / Hybrids	Стимуляторы роста / Growth stimulants	Годы / Years		Среднее / Average
		2023	2024	
П 8834 / P8834	Контроль / Control	0,26	0,23	0,24
	Терразот / Terrazot	0,28	0,23	0,25
	Энергия М / Energia M	0,28	0,23	0,25
КСС 5291 / KSS 5291	Контроль / Control	0,27	0,25	0,26
	Терразот / Terrazot	0,29	0,27	0,28
	Энергия М / Energia M	0,30	0,28	0,29
ГС 370 / GS 370	Контроль / Control	0,29	0,27	0,28
	Терразот / Terrazot	0,32	0,28	0,30
	Энергия М / Energia M	0,33	0,29	0,31

В начальные фазы роста и развития зерновой кукурузы наблюдается медленное нарастание биомассы, но после появления девятого листа прирост биомассы кукурузы происходит значительно быстрее. Во второй половине вегетационного периода кукурузы, площадь листьев начинает снижаться, и поэтому суточные приросты биомассы также становятся меньше. В этот период происходит перераспределение пластичных веществ из репродуктивных в генеративные органы.

В наших исследованиях применение стимуляторов роста позволило сформировать большую в сравнении с контролем биомассу растений всех гибридов (рисунок 1).

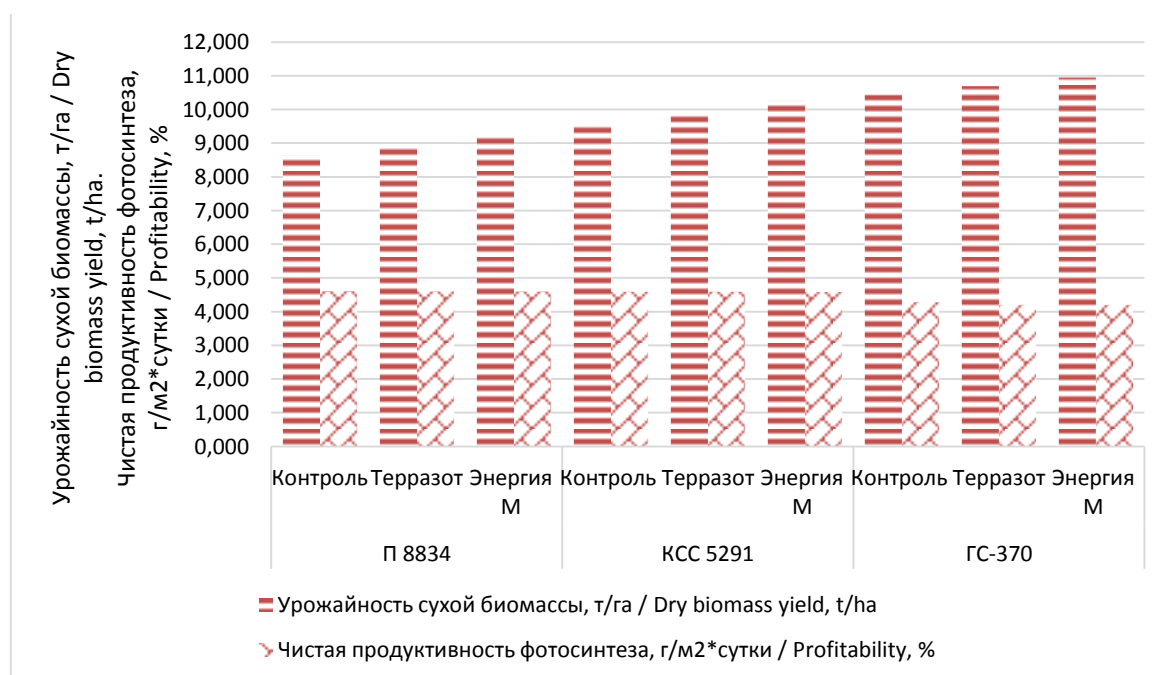


Рисунок 1 – Урожайность сухой биомассы и чистая продуктивность фотосинтеза, среднее за 2023-2024 гг.

Figure 1 – Dry biomass yield and net photosynthesis productivity, average for 2023-2024

Минимальная урожайность сухой биомассы формировалась у гибрида П 8834 на делянках без использования стимуляторов роста. В этом сочетании было сформировано 8,632 тонн сухой биомассы с 1 гектара. На делянках с использованием стимулятора Терразот у этого гибрида сухой биомассы формировалось на 0,269 т/га больше. Применение стимулятора Энергия М позволило растениям гибрида П 8834 сформировать сухой биомассы на 0,557 т/га больше чем на контроле.

Аналогичное действие оказало применение регуляторов роста на растения гибрида КСС 5291. Однако сухая биомасса растений гибрида КСС 5291 в сравнении с гибридом П 8834 формировалась на 0,924-1,027 т/га больше. На наш взгляд данное обстоятельство может быть объяснено биологическими особенностями гибрида.

В опыте наибольшую биомассу сформировали растения гибрида ГС 370. Превышение составило в сравнении с гибридом П 8834 1,73-1,82 т/га, а в сравнении с гибридом КСС 5291 – 0,66-0,89 т/га.

Во всех вариантах применение стимуляторов роста способствовало росту биомассы. Применение стимулятора роста Энергия М привело к наибольшему росту сухой биомассы растений всех изучаемых гибридов. Максимальное количество сухой биомассы было сформировано растениями кукурузы гибрида ГС 370 при применении регулятора роста Энергия М и составило 10,95 т/га, что на 2,291 т/га или на 26 % больше по сравнению с минимальным значением у гибрида П 8834 на делянках без применения препаратов. Применение препарата Терразот позволяло растениям всех гибридов формировать биомассу в количестве, превышающем значения показателя на контрольном варианте.

При анализе интенсивности фотосинтеза – продуктивности единицы листовой поверхности за сутки мы наблюдаем обратную ситуацию. В нашем опыте растения гибрида ГС 370 на делянках с использованием стимулятора Энергия М показали наименьшую ЧПФ, которая оказалась равна 4,203 г/м² сутки. И в целом растения гибрида ГС 370 в сутки синтезировали меньше биомассы, чем растения других исследуемых гибридов.

Обработки регуляторами роста приводили к различным эффектам. Так, применение препарата Терразот приводило к большей суточной продуктивности ассимиляционного аппарата растений гибрида ГС 370, гибрида П 8834 – на уровне, а гибрида КСС 5291 – меньше, чем при применении препарата Энергия М.

Самая высокая продуктивность листового аппарата (ЧПФ) кукурузы в нашем опыте формировалась у гибрида П 8834 на делянках без использования стимуляторов роста и равнялась 4,616 г/м² сутки, то есть, на 413 г/м² сутки или на 9,8 % больше минимального значения.

Урожайность – интегральный показатель эффектов от применения различных технологических приемов возделывания сельскохозяйственных культур.

В наших исследованиях на урожайность кукурузы оказали существенное влияние оба изучаемых фактора (таблица 3).

Таблица 3 – Урожайность кукурузы, т/га
Table 3 – Corn yield, t/ha

Гибриды / Hybrids	Стимуляторы роста / Growth stimulants	Годы / Years		Среднее / Average
		2023	2024	
П 8834 / P8834	Контроль / Control	6,27	6,83	6,55
	Терразот / Terrazot	6,54	7,23	6,88
	Энергия М / Energia M	6,95	7,56	7,25
КСС 5291 / KSS 5291	Контроль / Control	6,45	7,19	6,82
	Терразот / Terrazot	6,70	7,64	7,17
	Энергия М / Energia M	7,11	7,78	7,44
ГС 370 / GS 370	Контроль / Control	6,76	7,41	7,08
	Терразот / Terrazot	7,09	7,97	7,53
	Энергия М / Energia M	7,47	8,22	7,84
HCP ₀₅ (A)		0,16	0,18	
HCP ₀₅ (B)		0,12	0,14	
HCP ₀₅ (AB)		0,14	0,16	

В равных условиях – как без применения, так и с применением регуляторов роста – максимальная урожайность была получена в посевах гибрида ГС 370. Наименьшая – на посевах гибрида П 8834. Гибрид КСС 5291 сформировал достоверно большую урожайность в сравнении с гибридом П 8834.

Применение регулятора роста Терразот также оказало существенное влияние на продуктивность изучаемых гибридов. В среднем за годы исследований минимальный уровень урожайности оказался у гибрида П 8834 – 6,88 т/га, на посевах гибрида КСС 5291 был получен достоверно больший урожай – 7,17 т/га. Максимальное количество зерна – 7,53 т/га было получено на посевах гибрида ГС 370.

Применение регулятора роста Энергия М обеспечило достоверно больший уровень продуктивности растений всех изучаемых гибридов. В среднем за 2023-2024 гг. минимальный урожай получен на посевах гибрида П 8834 – 7,25 т/га. Растения гибрида КС 5291 сформировали 7,44 т/га зерна, а максимальная урожайность зерна – 7,84 т/га – была получена на посевах гибрида ГС 370 в сочетании с применением регулятора роста Энергия М.

По результатам проведенного эксперимента была проведена оценка экономической эффективности применения лучших агротехнологических приемов (рисунок 2).

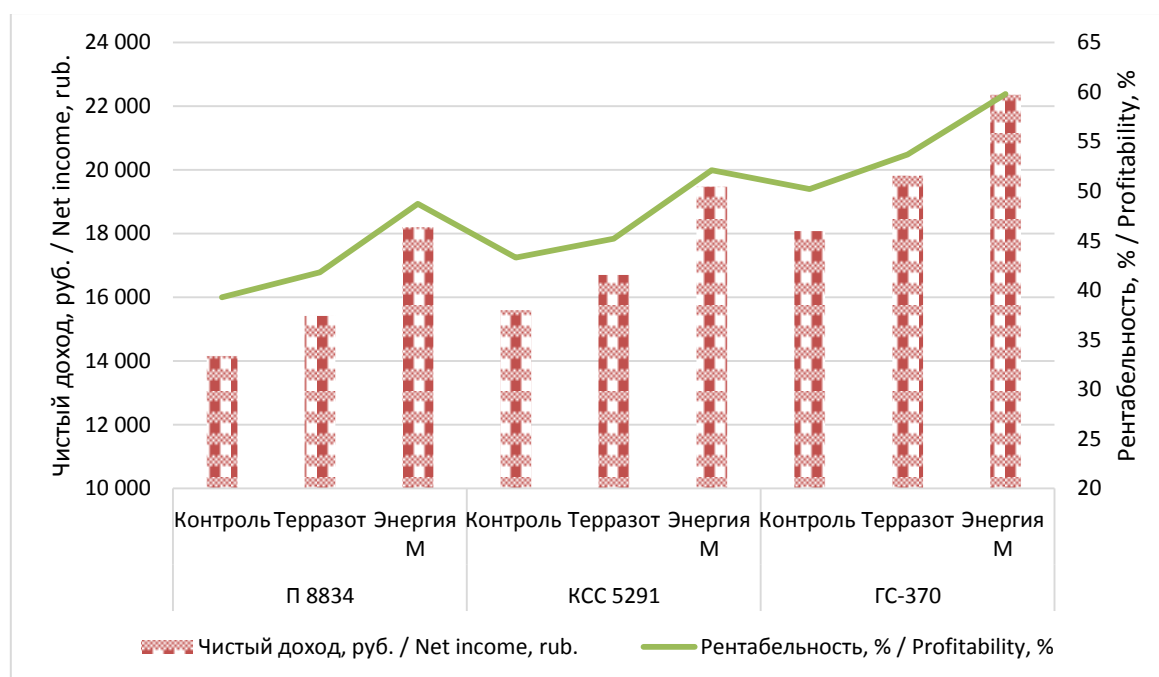


Рисунок 2 – Чистый доход и рентабельность возделывания зерновой кукурузы, среднее за 2023-2024 гг.

Figure 2 – Net income and profitability of grain corn cultivation, average for 2023-2024

Влияние изучаемых факторов привело к различным уровням доходности применения инновационных приемов. Применение регуляторов роста по всем трем изучаемым гибридам привело к опережающему росту выручки над ростом затрат, вследствие чего был обеспечен рост уровня рентабельности.

Наилучшие показатели экономической эффективности сложились при возделывании гибрида ГС 370. Эффективность возделывания гибридов КСС 5291 и П 8834 была ниже и убывала в порядке упоминания.

Самый низкий чистый доход был получен от выращивания гибрида П 8834 без использования стимуляторов роста и составил 14 160 рублей на гектар. В случае с применением стимулятора Терразот при выращивании этого же гибрида чистый доход вырос на 1260 рублей относительно минимального значения и принес 15 420 рублей, а при применении стимулятора роста Энергия М – 18 200 при уровне рентабельности 48,7 % (рисунок 2).

У гибрида КСС 5291 без применения стимуляторов роста чистый доход составил 15 600 рублей, что выше, чем у гибрида П 8834. Дополнительный чистый доход от применения стимулятора Терразот при выращивании данного гибрида увеличился на 2 540 рублей и составил 16 700 рублей. Обработки растений гибрида КСС 5291 регулятором Энергия М позволили повысить доход до 19 480 рублей на 1 гектар. Уровень рентабельности при этом достиг 52,1 %.

Наилучшие показатели экономической эффективности установлены при возделывании гибрида ГС 370 в сочетании с обработкой препаратом Энергия М. В этом случае чистый доход был максимальным среди изучаемых вариантов и равнялся 22 360 рублей. При таком же сочетании изучаемых факторов была установлена и наибольшая расчетная рентабельность, которая равнялась 59,8 %. Применение регулятора роста Терразот позволило обеспечить чистый доход на уровне 19 820, а без применения препаратов – 18 080 рублей с 1 гектара.

Заключение. По результатам проведенных исследований установлено что, при возделывании зерновой кукурузы в Северной зоне Краснодарского края:

1. применение регуляторов роста Терразот и Энергия М обеспечивает более высокие показатели работы фотосинтетического аппарата среднеспелых гибридов кукурузы, что позволяет формировать урожай зерна на уровне 6,88-7,84 т/га и обеспечивать рентабельность на уровнях достаточных для расширенного воспроизводства;

2. использование регулятора роста Энергия М при возделывании гибрида кукурузы ГС 370 позволяет получать до 7,84 т/га зерна.

Conclusions. As a result of the conducted research, it was found that, when cultivating grain in the Northern zone of the Krasnodar region:

1. The use of growth regulators Terrazot and Energy M ensures higher performance of the photosynthetic apparatus of mid-season corn hybrids, which allows for grain yields to be formed at a level of 6.88-7.84 t/ha and ensures profitability at levels sufficient for expanded reproduction.

2. The use of the growth regulator Energy M when cultivating the GS 370 corn hybrid allows obtaining up to 7.84 t/ha of corn grain.

Библиографический список

1. Багринцева В. Н. Кукуруза на Ставрополье. Технология возделывания и урожайность: монография. Ставрополь: Агрус, 2021. 256 с.
2. Багринцева В. Н., Ивашенко И. Н. Влияние погодных условий на эффективность применения азотного удобрения под кукурузу на зелёную массу. Кормопроизводство и корма. 2019. Т. 102. № 3. С. 126-134.
3. Багринцева В. Н., Ивашенко И. Н. Эффективность азотного удобрения на гибридах кукурузы в зоне достаточного увлажнения Ставропольского края. Агрохимия. 2018. № 1. С. 72-76.
4. Багринцева В. Н., Шмалько И. А. Оптимальная густота растений раннеспелых гибридов кукурузы. Кукуруза и сорго. 2018. № 4. С. 27-31.
5. Багринцева В. Н., Ивашенко В. В., Каримов Г. Ю., Шарафутдинов М. Х. Эффективность применения удобрений БАТР 40 азот и Батр макс на кукурузе. Кукуруза и сорго. 2019. № 2. С. 9-13.
6. Новиков А. А., Лысенко И. И. Влияние стимуляторов роста на продуктивность зерновой кукурузы. Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2024. № 3 (61). С. 24-28.
7. Васин В. Г., Кошелева И. К. Урожайность гибридов кукурузы на зерно при внесении минеральных удобрений и биопрепаратов. Вестник Ульяновской ГСХА. 2018. № 2. С. 45-53.
8. Волков А. И., Кириллов Н. А., Прохорова Л. Н. Ресурсосберегающее производство кукурузного зерна. Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2018. № 2. С. 425-428.
9. Воронин А. Н., Соловichenko В. Д., Навольнева В. Д., Дмитриенко С. А. Влияние агротехнических факторов на плодородие почвы и урожайность зерна кукурузы. Кукуруза и сорго. 2015. № 1. С. 9-14.
10. Воскобулова Н. И., Неверов А. А., Верещагин А. С. Экономическая эффективность применения регуляторов роста в технологии возделывания кукурузы на зерно. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 3 (65). С. 44-46.
11. Кагермазов А. М., Хачидогов А. В. Влияние внекорневых подкормок на урожайные качества зерна кукурузы. Аграрная Россия. 2019. № 6. С. 13-17.
12. Моисеев А. Н., Власов П. Н., Ивойлов А. В. Влияние удобрений на формирование урожайности зерна гибридов кукурузы на чернозёме выщелоченном. Аграрный научный журнал. 2016. № 4. С. 24-28.
13. Сотченко В. С. и др. Урожай и уборочная влажность зерна гибридов кукурузы в разных экологических условиях в зависимости от сроков посева. Кормопроизводство. 2019. № 4. С. 26-31.
14. Кирячек С. А. и др. Урожайность кукурузы разных групп скороспелости в зависимости от сроков посева и густоты растений в северной зоне Краснодарского края. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 168. С. 96-108.
15. Белик М. А. и др. Внекорневое питание кукурузы на зерно комплексом биопрепаратов. Техника и оборудование для села. 2023. № 7 (313). С. 18-21.
16. Чугунова Е. В., Буравлев А. П. Нормы внесения удобрений под кукурузу на богаре. Орошаемое земледелие. 2023. № 1 (40). С. 25-28.

References

1. Bagrintseva V. N. Corn in the Stavropol Territory. Cultivation Technology and Yield: Monograph. Stavropol: Agrus, 2021. 256 p.
2. Bagrintseva V. N., Ivashenko I. N. The influence of weather conditions on the effectiveness of applying nitrogen fertilizer for corn on the green mass. Feed production and feed. 2019. Vol. 102. No. 3. Pp. 126-134.
3. Bagrintseva V. N., Ivashenko I. N. Efficiency nitrogen fertilizers on corn hybrids in the zone of sufficient moisture in the Stavropol Territory. Agrarian chemistry. 2018. No. 1. Pp. 72-76.
4. Bagrintseva, V. N., Shmalko I. A. Optimal Plant Density of Early-Maturing Corn Hybrids. Corn and Sorghum. 2018. No. 4. Pp. 27-31.

5. Bagrintseva V. N., Ivashenko V. V., Karimov G. Yu., Sharafutdinov M. Kh. Effectiveness of using fertilizers BATR 40 nitrogen and BATR max on corn. Corn and Sorghum. 2019. No. 2. Pp. 9-13.
6. Novikov A. A., Lysenko I. I. Influence of growth stimulants on the productivity of grain corn. Theoretical and applied problems of the agro-industrial complex. 2024. No. 3 (61). Pp. 24-28.
7. Vasin V. G., Kosheleva I. K. Yield of Corn Hybrids for Grain when Applying Mineral Fertilizers and Biopreparations. Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2018. No. 2. Pp. 45-53.
8. Volkov A. I., Kirillov N. A., Prokhorova L. N. Resource-Saving Production of Corn Grain. Actual Issues of Improving the Technology of Production and Processing of Agricultural Products. 2018. No. 2. Pp. 425-428.
9. Voronin A. N., Solovichenko V. D., Navolneva V. D., Dmitrienko S. A. Influence of agrotechnical factors on soil fertility and grain yield of corn. Corn and sorghum. 2015. No. 1. Pp. 9-14.
10. Voskobulova N. I., Neverov A. A., Vereshchagin A. S. Economic Efficiency of Using Growth Regulators in Corn Cultivation Technology. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2017. No. 3 (65). Pp. 44-46.
11. Kagermazov A. M., Khachidogov A. V. Influence of foliar fertilization on the yield quality of corn grain. Agrarian Russia. 2019. No. 6. Pp. 13-17.
12. Moiseev A. N., Vlasov P. N., Ivoilov A. V. Influence of fertilizers on the formation of grain yield of corn hybrids on leached chernozem. Agrarian Scientific Journal. 2016. No. 4. Pp. 24-28.
13. Sotchenko V. S. et al. Yield and Harvest Moisture Content of Corn Hybrid Grains in Different Environmental Conditions Depending on the Sowing Time. Fodder Production. 2019. No. 4. Pp. 26-31.
14. Kiryachek S. A. et al. Yield of corn of different early maturity groups depending on the sowing time and plant density in the northern zone of the Krasnodar region. Polytematic Network Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University. 2021. No. 168. Pp. 96-108.
15. Belik M. A. et al. Foliar feeding of corn for grain with a complex of biological products. Technique and Equipment for the Countryside. 2023. No. 7 (313). Pp. 18-21.
16. Chugunova E. V., Buravlev A. P. Fertilizer application rates for corn in rainfed areas. Irrigated Agriculture. 2023. No. 1 (40). Pp. 25-28.

Информация об авторах

Новиков Алексей Андреевич, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, Волгоград, ул. им. Тимирязева, 9), ORCID: 0000-0002-7698-8268, e-mail: alexeynovikov@inbox.ru

Чугунова Елена Васильевна, младший научный сотрудник, ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, Волгоград, ул. им. Тимирязева, 9), ORCID: 0009-0008-0396-8988.

Лысенко Иван Игоревич, старший лаборант-исследователь, ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, Волгоград, ул. им. Тимирязева, 9), ORCID: 0009-0008-6130-0695.

Authors' Information

Novikov Aleksey Andreevich, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev str., 9), ORCID: 0000-0002-7698-8268, e-mail: alexeynovikov@inbox.ru

Chugunova Elena Vasilevna, Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev str., 9),

Lysenko Ivan Igorevich, Senior Laboratory Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev str., 9), ORCID: 0000-0001-9129-6932.

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-08

THE INFLUENCE OF THE WATER REGIME ON THE YIELD OF CARROTS IN THE SOUTHERN REGION

¹Petrov N. Yu., ²Denisov K. E., ²Solodovnikov A. P., ¹Kuznetsova E. A., ³Petrov Yu. N.,
¹Eremenko V. D., ¹Nekrasova T. N., ⁴Arylov Yu. N., ⁴Bolaev B. K., ⁴Okonov M. M.

¹Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

²Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov
Saratov, Russian Federation

³Federal Research Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences"
Volgograd, Russian Federation

⁴Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov
Elista, Russian Federation

Corresponding author E-mail: npetrov60@list.ru

Received 15.10.2025

Submitted 19.11.2025

The study was conducted within the framework of the State Task: "Digital Technologies for Managing Agroforestry Systems Based on Mathematical Modeling, Dynamic Characteristics of Biological productivity in Forest Belts and Agricultural phytocenoses in the Changing Climate of Southern Russia".

Abstract

Introduction. At the current stage of vegetable growing development, characterized by the widespread adoption of modern technologies, particularly drip irrigation, the introduction and acclimatization of modern (usually foreign) table carrot hybrids, optimization of water and nutrient management systems, plant protec-

tion programs against diseases and pests, sufficient energy supply for vegetable growers, and the development of modern market relations, comprehensive scientific support is required for all vegetable crop cultivation processes, including high-tech crops such as onions and table carrots. **Object.** Three table carrot hybrids were studied: Cordoba (control), Kaspiy, and Kontor. The application rates of mineral fertilizers for yields of 80, 100, and 120 t/ha were studied under drip irrigation (80-80-70 % of the required fertilizer capacity). **Materials and methods.** The field experiment was conducted in the fields of the individual entrepreneur "Neshpor A. A.", located in the Nikolaevsky district of the Volgograd region. **Results and conclusions.** A two-year experiment conducted in the Volgograd Trans-Volga region revealed that drip irrigation had a significant impact on the yield of table carrots when applied at the calculated rates of mineral nutrition. The maximum yield of the studied crop was found on the Kontor hybrid with the application of $N_{300}P_{150}K_{550}$. While yields in the variants without mineral fertilizers ranged from 79.35 t/ha (Cordoba hybrid, yield level 80 t/ha) to 95.74 t/ha (Kontor hybrid, yield level 100 t/ha), with the application of $N_{300}P_{150}K_{550}$, yields increased accordingly, from 110.67 t/ha (Cordoba hybrid, yield level 100 t/ha) to 124.77 t/ha (Kontor hybrid, yield level 100 t/ha).

Keywords: carrot watering modes, carrot hybrids, carrot water consumption, carrot yield.

Citation. Petrov N. Yu., Denisov K. E., Solodovnikov A. P., Kuznetsova E. A., Petrov Yu. N., Eremenko V. D., Nekrasova T. N., Arylov Yu. N., Bolaev B. K., Okonov M. M. The influence of the water regime on the yield of carrots in the southern region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 72-78 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-08.

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

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

УДК 635.132:631.671

ВЛИЯНИЕ ВОДНОГО РЕЖИМА НА УРОЖАЙНОСТЬ СТОЛОВОЙ МОРКОВИ В ЮЖНОМ РЕГИОНЕ

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

²Денисов К. Е., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

²Солодовников А. П., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹Кузнецова Е. А., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

³Петров Ю. Н., кандидат сельскохозяйственных наук

¹Еременко В. Д., аспирант

¹Некрасова Т. Н., соискатель

⁴Арылов Ю. Н., доктор биологических наук, профессор

⁴Болаев Б. К., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

⁴Оконов М. М., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии
им. Н. И. Вавилова»

г. Саратов, Российская Федерация

³ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН»

г. Волгоград, Российская Федерация

⁴ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова»

г. Элиста, Российская Федерация

Исследование выполнено в рамках Гос. задания «Цифровые технологии управления агролесосистемами на основе математического моделирования, динамических характеристик продуктивности лесных полос и агрофитоценозов в условиях изменяющегося климата Юга России».

Актуальность. На настоящем этапе развития овощеводства, для которого характерно повсеместное внедрение современных технологий, в частности капельного полива, интродукции и акклиматизации современных (чаще зарубежных) гибридов столовой моркови, оптимизации системы водного и питательного режимов, программы защиты растений от болезней и вредителей, достаточным обеспечением энерговооруженностью овощеводов и построением современных рыночных отношений, требуется всеобъемлющее научное сопровождение всех без исключения процессов возделывания всех овощных культур и такой высокотехнологичной культуры как столовая морковь. **Объект.** В качестве объекта изучались 3 гибрида столовой моркови: Кордоба (контроль), Каспий и Контор. Изучались дозы внесения минеральных удобрений под урожайности: 80, 100 и 120 т/га в условиях капельного полива (80-80-70 % НВ). **Материалы и методы.** Полевой эксперимент проводился на полях ИП «Нешпор А. А.», расположенного на территории Николаевского района Волго-

градской области. **Результаты и выводы.** Проведенный эксперимент в течение двух лет в Волгоградском Заволжье позволил установить, что капельный полив оказал существенное влияние на формирование урожайности столовой моркови на фоне внесения расчетных доз минерального питания. Было установлено, что максимальная урожайность изучаемой культуры была получена на гибриде Контор при внесении $N_{300}P_{150}K_{550}$. Если на вариантах без применения минеральных удобрений урожайность формировалась в пределах от 79,35 т/га (гибрид Кордоба, уровень урожайности 80 т/га) до 95,74 т/га (гибрид Контор, уровень урожайности 100 т/га), то при внесении $N_{300}P_{150}K_{550}$ урожайность соответствующим образом возрастала от 110,67 т/га (гибрид Кордоба, уровень урожайности 100 т/га) до 124,77 т/га (гибрид Контор, уровень урожайности 100 т/га).

Ключевые слова: режимы полива моркови столовой, гибриды моркови столовой, водопотребление моркови столовой, урожайность моркови столовой.

Цитирование. Петров Н. Ю., Денисов К. Е., Солодовников А. П., Кузнецова Е. А., Петров Ю. Н., Еременко В. Д., Некрасова Т. Н., Арылов Ю. Н., Болаев Б. К., Оконов М. М. Влияние водного режима на урожайность столовой моркови в южном регионе. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 72-78. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-08.

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. По мнению Дубенок Н. Н. (2023) «...в число самых распространенных овощных культур, после лука репчатого и капусты белокочанной, входит морковь столовая. Ее популярность обусловлена особыми вкусовыми и питательными свойствами корнеплода, витаминным составом, а также универсальностью использования. На сегодняшний день урожайность моркови не превышает 50 т/га, при потенциально возможной, в зависимости от сорта, 90-100 т/га» [3, 4].

Данными, полученными Беляевым А. И. (2022) и другими указывается, что «... фактически получаемые значения урожайности крайне малы, а так как именно количество произведенной продукции напрямую влияет на рыночное ценообразование, тем самым обеспечивая высокую себестоимость овоща, то и, как следствие, это и является одним из факторов, препятствующих эффективной конкуренции отечественного продукта с импортируемыми из-за рубежа. Территориальным базисом для решения этой задачи могут быть использованы орошаемые земли Нижнего Поволжья. В условиях юга России интенсификация невозможна без орошения, а в условиях дефицита водных ресурсов внедрение ресурсосберегающих технологий становится просто необходимым. Их применение позволяет не просто увеличить выход продукта, но и существенно снизить количество затрачиваемых на его производство ресурсов (поливная вода, минеральные удобрения, электроэнергия и др.), способствует получению более ранних урожаев, предотвращению эрозии почвы, снижению вероятности распространения болезней растений. Одной из таких технологий является капельное орошение» [1, 5, 10].

Результатами исследований Кизяева Б. М., Бородычева В. В. (2020) и других было установлено, что «... в засушливых условиях региона исследований стремление к бережливому потреблению имеющихся водных ресурсов должно являться первоочередной задачей любого хозяйствующего предприятия, а так как хозяйства, расположенные на территории Нижней Волги, являются основными производителями моркови столовой в России, то проведение исследований по изучению влияния различных агротехнических приемов в сочетании с водосберегающим капельным способом полива на урожайность моркови и их совершенствование является актуальными. Результаты подобного рода изысканий представляют, как научный, так и практический интерес, так как могут способствовать усилению продовольственной безопасности страны в области овощеводства, а также приблизиться к решению известной проблемы рационального использования водных ресурсов, что особенно важно при их ощутимой нехватке в условиях Нижнего Поволжья» [5, 6, 7, 9].

Материалы и методы. Опытный эксперимент проводился на полях ИП «Нешпор А. А.», находящегося на территории Николаевского района Волгоградского региона. Почвы опытного участка 19,2 мг/экв. на 100 г почвы, содержание (по Керсанову) $NO_3 - 0,53$, $P_2O_5 - 2,78$, $K_2O - 31,14$ мг/100 г почвы.

Расчет применения минеральных удобрений осуществлялся на планируемые урожайности 80,0; 100,0 и 1320,0 т/га, по методике, разработанной на Опытной станции по программированию урожая Волгоградского СХИ.

Опыты проводились в 2023-2024 годах.

Способ посева моркови – ленточный, четырех строчный. Норма посева составляла 850 тыс. растений на гектар, что отвечала весовой норме высева 4 кг/га.

Варианты опыта: фактор А – гибриды.

A₁ – Кордоба (контроль);

A₂ – Каспий;

A₃ – Контор.

Фактор В – дозы удобрений, рассчитанные на получение:

B₁ – 80 т/га – N₂₄₀P₁₂₀K₄₄₀;

B₂ – 100 т/га – N₃₀₀P₁₅₀K₅₅₀;

B₃ – 120 т/га – N₃₆₀P₈₂₀K₆₆₀.

Удобрения были внесены следующим образом: вся доза фосфорно-калийного питания была внесена под основную обработку почвы. Азот был внесен: 50 % под вспашку и две подкормки по 25 % по вегетации моркови.

Способ полива – капельный. В зависимости от погодных условий года проведения исследований, проводилось от 27 (2023 год) до 34 поливов (2024 год) за сезон.

Результаты и обсуждение. По мнению Калмыковой Е. В. (2020) и других «...глобальной проблемой сельскохозяйственного производства выступает такая категория как правильное использование орошаемых площадей. К таковым относятся земли, которые используются для производства овощной продукции. Причин, которые неблагоприятно влияют на качество орошаемых площадей, много – это засоление почв по итогам хозяйственной деятельности человека, эрозионные процессы, опустынивание, бесконтрольное или неправильное использование удобрений, истощение почв и потеря органики – гумуса и другие. Решение их возможно с внедрением ресурсосберегающих технологий в овощеводстве открытого грунта, восполнением и сохранением плодородия и физико-химических свойств орошаемых площадей при эффективном производстве овощных культур, конкретно, высокоадаптивных гибридов столовой моркови» [7]. Материалы полученных изысканий определены в таблицах 1-2.

Таблица 1 – Режим орошения в посевах столовой моркови, м³/га

Table 1 – Irrigation regime in table carrot crops, m³/ha

Период развития / Period of development	Год исследования / Year of research		Среднее / Average
	2023	2024	
Посев / Sowing	232	284	258
Посев – 1-й лист / Sowing – 1st leaf	1129	1253	1191
1-й лист – формирование / 1st sheet – formation	1607	1831	1719
Формирование корнеплода – полегание / Root crop formation – lodging	3476	3828	3652
Оросительная норма / Irrigation rate	6444	7196	6820

Результаты проведенного опыта показали, что наибольший процент потребления воды растениями моркови отмечался по всем гибридам в период формирования корнеплода, и оно достигало 3476 м³/га в 2023 году и 3828 м³/га в более засушливом 2024 году. Менее всего потребление воды наблюдалось на первоначальных этапах развития моркови, диапазон колебаний по годам варьировал от 1129 до 1253 м³/га.

Результатирующим показателем экономической целесообразности возделывания сортовой моркови – является ее урожайность.

Обзор полученного материала свидетельствует, что на контрольных делянках урожайность моркови строилась только за счет поливной воды и, частично, за счет естественного плодородия. В результате на этих вариантах была сформирована наименьшая урожайность, находящаяся в пределах от 81,54 т/га (гибрид Кордоба) до 91,15 т/га (гибрид Контор). Применение минеральных удобрений существенным образом отразилось на ее урожайности. От применения N₂₄₀P₁₂₀K₄₄₀ урожайность возрастала от 99,62 т/га (гибрид Кордоба) до 113,93 т/га (гибрид Контор). Практически была выполнена программа на получение планируемой урожайности 80 т/га. От применения N₃₀₀P₁₅₀K₅₅₀ происходил дальнейший рост урожайности, в результате она равнялась 107,36 (гибрид Кордоба) и 120,75 т/га

(гибрид Контор). Была выполнена программа получения урожайности 120 т/га на гибриде Контор. Дальнейшее повышение доз вносимых удобрений до $N_{360}P_{820}K_{660}$ не приводил к повышению урожайности.

Таблица 2 – Урожайность столовой моркови, т/га (среднее за 2023-2024 гг.)

Table 2 – Yield of table carrots, t/ha (average for 2023-2024)

Вариант опыта / Experiment option	Уровень урожайности / Yield level			Среднее / Average
	80	100	120	
Гибрид Кордоба / Cordoba Hybrid				
Контроль / Control	79,35	84,02	81,26	81,54
N ₂₄₀ P ₁₂₀ K ₄₄₀	96,38	102,93	99,54	99,62
N ₃₀₀ P ₁₅₀ K ₅₅₀	103,72	110,67	107,69	107,36
N ₃₆₀ P ₈₂₀ K ₆₆₀	98,26	106,53	104,81	103,20
Гибрид Каспий / Caspii Hybrid				
Контроль / Control	83,27	90,32	85,80	86,46
N ₂₄₀ P ₁₂₀ K ₄₄₀	105,62	112,38	109,41	109,13
N ₃₀₀ P ₁₅₀ K ₅₅₀	112,63	119,72	115,61	115,96
N ₃₆₀ P ₈₂₀ K ₆₆₀	108,34	116,78	113,65	112,92
Гибрид Контор / Kontor Hybrid				
Контроль / Control	86,34	95,74	91,83	91,15
N ₂₄₀ P ₁₂₀ K ₄₄₀	109,86	118,58	113,37	113,93
N ₃₀₀ P ₁₅₀ K ₅₅₀	115,85	124,77	121,63	120,75
N ₃₆₀ P ₈₂₀ K ₆₆₀	112,50	121,95	118,76	117,72

НСР₀₅ 2023 год – 0,28 т/га, 2024 год – 0,19 т.

Закключение. С целью получения урожайности столовой моркови на уровне 120 т/га, необходимо применять минеральные удобрения в дозе $N_{300}P_{150}K_{550}$. Использование его на гибриде Контор позволяет достичь урожайности 120,75 т/га.

Conclusions. In order to obtain a yield of table carrots at the level of 120 t/ha, it is necessary to apply mineral fertilizers at a dose of $N_{300}P_{150}K_{550}$. Using it on a hybrid of Offices allows you to achieve a yield of 120.75 t/ha.

Библиографический список

1. Беляев А. И., Петров Н. Ю., Пугачева А. М., Петров Ю. Н., Зволинский С. В. Актуальное выращивание столовой моркови на юге России. Теоретические и прикладные проблемы. АПК. 2022. № 3 (53). С. 36-40.
2. Бебрис А. Р., Янченко Е. В., Масловский С. А. Урожайность сортов и гибридов моркови столовой в зависимости от фонов питания. Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 135-летию со дня рождения А. Н. Костякова: сборник статей. Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2022. Т. 2. С. 177-180.
3. Дубенок Н. Н., Пенькова Р. И. Влияние водного и питательного режимов на продуктивность моркови столовой при капельном орошении в условиях Нижнего Поволжья. Мелиорация и водное хозяйство. 2023. № 3. С. 10-16.
4. Дубенок Н. Н., Пенькова Р. И. Факторы эффективного использования водных ресурсов при капельном орошении моркови в условиях Нижнего Поволжья. Природообустройство. 2023. № 3. С. 23-30.
5. Кизяев Б. М., Бородычев В. В., Мартынова А. А. Совершенствование агротехники возделывания моркови столовой в условиях Волгоградской области. Овощи России. 2020. № 3. С. 51-56.
6. Петров Н. Ю., Калмыкова Е. В., Аксенов М. П., Зволинский С. В. Особенности возделывания столовой моркови в Волго-Донском междуречье. Аграрная Россия. 2022. № 5. С. 32-37.
7. Петров Н. Ю., Калмыкова Е. В., Аксенов М. П., Зволинский С. В. Влияние агротехнических приемов на структуру урожая столовой моркови в Волго-Донском междуречье. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 1 (65). С. 71-78.
8. Заичкина М. А. и др. Предпосевная обработка почвы методом фиторекультивации при возделывании моркови. Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в современных экономических условиях: материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2021. Т. 3. С. 165-170.
9. Шатилов М. В., Разин А. Ф., Разин О. А., Иванова М. И. Производство моркови столовой в России. Аграрная Россия. 2020. № 1. С. 21-30.
10. Carvalho D. F., Gomes D. P., Neto D. H. D., Guerra J. G. M., Rouws J. R. C., de Oliveira P. L. Carrot yield and water-use efficiency under different mulching, organic fertilization and irrigation levels. Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental. 2018. V. 22. № 7. Pp. 445-450.
11. Hossain M. A., Islam M. S. Effect of different levels of nitrogen on the growth and yield of carrot (*Daucus carota* L.). Journal of Agriculture and Rural Development. 2020. No 18 (1). Pp. 27-34.
12. Carvalho D. F. Yield, water use efficiency and yield coefficient of carrot harvest at different irrigation depths. Ciencia Rual. 2016. V. 46. N. 7. Pp. 1145-1150.
13. Pérez-López J. M., Hernández L., Viuda-Martos M., Fernández-López J. A., Pérez-Álvarez J. A. Effect of cultivation conditions on the chemical 164 composition and antioxidant properties of carrots. Journal of Food Science and Technology. 2017. No 54 (2). Pp. 406-414.

References

1. Belyaev A. I., Petrov N. Yu., Pugacheva A. M., Peitrov Yu. N., Zvolinsky S. V. Current cultivation of table carrots in the south of Russia. Theoretical and applied problems of the agro-industrial complex. 2022. No 3 (53). Pp. 36-40.
2. Bebris A. R., Yanchenko E. V., Maslovsky S. A. Yield of table carrot varieties and hybrids depending on nutritional backgrounds. Proceedings of the International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists dedicated to the 135th anniversary of A. N. Kostyakov's birthday: the collection of articles. Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazeva, 2022. V. 2. Pp. 177-180.
3. Dubenok N. N., Penkova R. I. Influence of water and nutrient regimes on the productivity of table carrots with drip irrigation in the Lower Volga region. Land Reclamation and Water Management. 2023. No 3. Pp. 10-16.
4. Dubenok N. N., Penkova R. I. Factors of efficient use of water resources under drip irrigation of carrots in the Lower Volga region. Nature Management. 2023. No 3. Pp. 23-30.
5. Kizyaev B. M., Borodychev V. V., Martynova A. A. Improving the agricultural technology of cultivating table carrots in the Volgograd region. Vegetables of Russia. 2020. No 3. Pp. 51-56.
6. Petrov N. Yu., Kalmykova E. V., Aksyonov M. P., Zvolinsky S. V. Features of cultivating table carrots in the Volga-Don interfluvium. Agrarian Russia. 2022. No 5. Pp. 32-37.
7. Petrov N. Yu., Kalmykova E. V., Aksyonov M. P., Zvolinsky S. V. The influence of agricultural practices on the structure of the table carrot yield in the Volga-Don interfluvium. News of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2022. No 1 (65). Pp. 71-78.
8. Zaichkina M. A. et al. Pre-sowing soil treatment by phytoreclamation in carrot cultivation. Innovative technologies in the agro-industrial complex in modern economic conditions: Proceedings of the International Scientific-Practical Conference. Volgograd: Volgograd State Agrarian University, 2021. V. 3. Pp. 165-170.
9. Shatilov M. V., Razin A. F., Razin O. A., Ivanova M. I. Table carrot production in Russia. Agrarian Russia. 2020. No 1. Pp. 21-30.
10. Carvalho D. F., Gomes D. P., Neto D. H. D., Guerra J. G. M., Rouws J. R. C., de Oliveira P. L. Carrot yield and water-use efficiency under different mulching, organic fertilization and irrigation levels. Revista Brasileira De Engenharia Agricola E Ambiental. 2018. V. 22. No 7. Pp. 445-450.
11. Hossain M. A., Islam M. S. Effect of different levels of nitrogen on the growth and yield of carrot (*Daucus carota* L.). Journal of Agriculture and Rural Development. 2020. No 18 (1). Pp. 27-34.
12. Carvalho D. F. Yield, water use efficiency and yield coefficient of carrot harvest at different irrigation depths. Ciencia Rural. 2016. V. 46. N. 7. Pp. 1145-1150.
13. Pérez-López J. M., Hernández L., Viuda-Martos M., Fernández-López J. A., Pérez-Álvarez J. A. Effect of cultivation conditions on the chemical 164 composition and antioxidant properties of carrots. Journal of Food Science and Technology. 2017. No 54 (2). Pp. 406-414.

Информация об авторах

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

Денисов Константин Евгеньевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, проректор по науке, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, Пр. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3), e-mail: k.denisov@inbox.ru

Солодовников Анатолий Петрович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, проректор по науке, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, Пр. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3).

Кузнецова Елена Андреевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующая кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26).

Петров Юрий Николаевич, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН).

Еременко Вадим Дмитриевич, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26).

Некрасова Татьяна Николаевна, соискатель, кандидат филологических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26), e-mail: tnnekrasova@inbox.ru

Арылов Юрий Нимеевич, доктор биологических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), РИНЦ: SPIN-код: 9337-6150, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6490-3837>, e-mail: kalmsaiga@mail.ru

Болаев Баатр Канурович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), РИНЦ: SPIN-код: 6070-2540. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8210-9971>, e-mail: kanur64@mail.ru

Оконов Мутул Максимович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрономии ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), РИНЦ: SPIN-код: 2653-3704, e-mail: okonov.51@mail.ru

Authors' Information

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

Denisov Konstantin Evgenievich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Vice-Rector for Research, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov. (Russian Federation, 410012, Saratov, Petr Stolypin Ave., 4/3), e-mail: k.denisov@inbox.ru

Solodovnikov Anatoly Petrovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Vice-Rector for Research, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov. (Russian Federation, 410012, Saratov, Petr Stolypin Ave., 4/3).

Kuznetsova Elena Andreevna, Candidate of the Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26).

Petrov Yuri Nikolaevich, Senior Researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation, and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (FSC Agroecology RAS).

Eremenko Vadim Dmitrievich, Postgraduate Student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26).

Nekrasova Tatyana Nikolaevna, Applicant, Candidate of Philological Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: tnekrasova@inbox.ru

Arylov Yuri Nimeevich, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, Kalmykia, Elista, Pushkin Street, 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6490-3837>, e-mail: kalsmaiga@mail.ru

Bolaev Baatr Kanurovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, Kalmykia, Elista, Pushkin Street, 11), e-mail: kanur64@mail.ru, RSCI: SPIN-code: 6070-2540, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8210-9971>

Okonov Mutul Maksimovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov (Russian Federation, Kalmykia, Elista, Pushkin Street, 11), e-mail: okonov.51@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-09

THE ANALYSIS OF THE BIOLOGICAL ACTIVITY AND THE LEVEL OF TOXICOLOGICAL ACTION OF NANOPARTICLES

¹Polishchuk S. D., ¹Kutyraev A. A., ¹Fadkin G. N., ¹Yukhin I. A., ²Churilov G. I., ¹Uspensky I. A.

¹ Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev,

²Ryazan State Medical University named after Academician I. P. Pavlov
Ryazan, Russian Federation

Corresponding author E-mail: kutyraev@bk.ru

Received 26.08.2025

Submitted 28.10.2025

Abstract

Introduction. The agricultural sector today faces critical challenges due to limited natural resources and the need to increase production efficiency. The introduction of nanotechnology, including the use of nanoparticles of metals such as copper, copper oxide and silver, provides innovative opportunities for activating biochemical processes in plants. Conducting research to assess the effect of various concentrations and compositions of these nanoparticles on the activity of vital enzymes, which in turn affects the growth and evolution of agricultural crops, is a key step in the development of efficient and environmentally friendly agricultural technologies. The data obtained can modernize the agro-industrial sector, significantly improve the yield and quality of agricultural products. **Object.** The objects of the research were: the spring barley variety "Sunshine" and spring wheat. **Materials and methods.** Field experiments on studying nanoparticles on spring barley and wheat crops were carried out in 2022-2024. The technology of growing spring barley and wheat met the agrotechnical requirements for the crop in the Non-Chernozem zone of the Russian Federation. The assessment of crop infestation, crop structure and yield, and chemical composition of grain was carried out using standard methods. Studies of the effect of nanoparticles on grain crops were carried out using precision equipment, combining standard and innovative laboratory research methods to assess the effects of various types of nanoparticles on the growth and development of grain crops. This made it possible to determine the responses of grain crops associated with the biological activity of nanoparticles, which depends on their size, structure, concentration, and chemical composition. **Results and conclusion.** In the course of scientific experiments conducted at the agro-technological base of RSATU using the barley variety "Sunshine", it was revealed that the use of nanotechnology, especially metal-based nanoparticles, in the agricultural technology of growing this grain crop, significantly increased both the productivity and the quality of the harvested crop. A comparative analysis showed that the yield rate in the control group was 18.9 c/ha; the use of silver nanoparticles increased the yield by 18 %, copper nanoparticles – by 36.5 %, and copper oxide – by 20 %. Also, the treatment of barley seeds with a solution of copper nanoparticles and copper oxide at a concentration of 8 mg/l significantly stimulated an increase in the number of roots, thereby demonstrating the effectiveness of using nanotechnology to create a strong root system.

Keywords: metal nanoparticles, enzymes, plant growth stimulants, technologies for cultivating grain crops, increasing grain yields.

Citation. Polishchuk S. D., Kutyraev A. A., Fadkin G. N., Yukhin I. A., Churilov G. I., Uspensky I. A. The analysis of the biological activity and the level of toxicological action of nanoparticles. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 78-87 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-09.

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 631.81.036:60

**АНАЛИЗ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И УРОВНЯ ТОКСИКОЛОГИЧЕСКОГО
ДЕЙСТВИЯ НАНОЧАСТИЦ**¹Полищук С. Д., доктор технических наук, профессор¹Кутыраев А. А., аспирант¹Фадькин Г. Н., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент¹Юхин И. А., доктор технических наук, профессор²Чурилов Г. И., доктор биологических наук, профессор¹Успенский И. А., доктор технических наук, профессор¹Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева²Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова
г. Рязань, Российская Федерация

Актуальность. Аграрная отрасль сегодня сталкивается с критическими проблемами, обусловленными ограниченными природными ресурсами и необходимостью увеличения производственной эффективности. Внедрение нанотехнологий, включая применение наночастиц таких металлов, как медь, оксид меди и серебро, предоставляет инновационные возможности для активизации биохимических процессов в растениях. Проведение исследований по оценке влияния различных концентраций и композиций данных наночастиц на активность жизненно важных ферментов, что в свою очередь, оказывает эффект на рост и эволюцию сельскохозяйственных культур, представляет собой ключевой этап в разработке эффективных и безопасных для окружающей среды сельскохозяйственных технологий. Полученные данные могут модернизировать агропромышленный сектор, значительно улучшить урожайность и качество сельскохозяйственной продукции. **Объект.** Объектом исследований являлись: сорт ярового ячменя «Саншайн» и яровая пшеница. В опыте изучались наночастицы на основе серебра, меди и оксида меди. **Материалы и методы.** Полевые опыты по изучению наночастиц на посевах ярового ячменя и пшеницы проводились в 2022-2024 годах. Технология выращивания ярового ячменя и пшеницы соответствовала агротехническим требованиям для культуры в Нечерноземной зоне Российской Федерации. Оценку засоренности посевов, структуры урожая и урожайности, химического состава зерна проводили по стандартным методикам. Исследования влияния наночастиц на зерновые культуры были выполнены с использованием прецизионного оборудования, сочетая стандартные и новаторские методики лабораторных исследований для оценки эффектов различных видов наночастиц на рост и развитие зерновых культур. Это дало возможность определить ответные реакции зерновых культур, связанные с биологической активностью наночастиц, которая зависит от их размера, структуры, концентрации и химического состава. **Результаты и выводы.** В рамках научных экспериментов, проведенных на агротехнологической базе РГАТУ с использованием ячменя сорта «Саншайн», было выявлено, что применение нанотехнологий, особенно наночастиц на основе металлов, в сельскохозяйственной технологии выращивания этой зерновой культуры, значимо повысило как производительность, так и качество собранного урожая. Сравнительный анализ показал: норма урожайности в контрольной группе составила 18,9 ц/га; применение наночастиц серебра увеличило урожайность на 18 %, наночастиц меди – на 36,5 %, и оксида меди – на 20 %. Также, обработка семян ячменя раствором с наночастицами меди и оксида меди в концентрации 8 мг/л значительно стимулировала увеличение числа корней, продемонстрировав тем самым эффективность применения нанотехнологий для создания сильной корневой системы.

Ключевые слова: наночастицы металлов, энзимы, стимуляторы роста растений, технологии возделывания зерновых культур, повышение урожайности зерновых культур.

Цитирование. Полищук С. Д., Кутыраев А. А., Фадькин Г. Н., Юхин И. А., Чурилов Г. И., Успенский И. А. Анализ биологической активности и уровня токсикологического действия наночастиц. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 78-87. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-09.

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. За последние десять лет мы фиксируем определённые биологические эффекты: изменения в морфологических и физиологических атрибутах роста растений, вариации в активности энзимов и уровнях фитогормонов; а также в параметрах окислительной модификации белков. Эти изменения вызваны наночастицами, различающимися по размеру удельной поверхности и физико-химическим характеристикам. Основой данных изменений являются процессы, связанные с воздействием определённых регуляторных

сигналов в биологических системах. Организмы имеют унифицированную систему, отвечающую за приём, обработку, распространение и уничтожение внешней информации. Следовательно, биологический эффект напрямую коррелирует с передачей информации, являющейся важной для всех биологических субъектов. Эта передача эффективно функционирует в системе, где агент (вещество) взаимодействует с клеткой и её компонентами через мембрану и связанную с ней надмолекулярную структуру окружения клетки.

В диапазон малых и сверхмалых доз попадают те, чья активность выходит за рамки объяснений стандартных научных концепций. К этой категории относятся наночастицы металлов и их соединений, обладающие уникальными квантово-механическими характеристиками. Одной из заметных особенностей наночастиц является МД-колебательная дозозависимость реакций, проявляемая через специфическое изменение биологической активности при различных концентрациях, включая фазу "мертвой зоны" – интервал между двумя активными точками, где биологическое воздействие отсутствует. Это явление предположительно связано с волновым эффектом, влияющим на проницаемость мембран и структурный состав молекул под действием наночастиц, что в итоге приводит к изменению концентрации протонов.

В контексте изучения эффектов крайне низких концентраций биотически активных агентов значительный интерес представляет концепция параметрического резонанса. Эта концепция, подтвержденная в наших исследованиях, предлагает объяснение механизма воздействия наночастиц на клеточном и молекулярном уровне. Параметрический резонанс возникает, когда временные характеристики процессов в клетке, инициированные биоактивными молекулами, совпадают со временем, необходимым молекуле для достижения своей цели. Это совпадение ведет к связыванию активного агента с его мишенью, например ферментом или рецептором, вызывая переход в конформационное состояние, наиболее благоприятное для его активации. В рамках данной теории также объясняется наблюдаемое нами снижение активности фермента при увеличении дозы вещества, действующего на систему.

Функциональность наночастиц связана с различными аспектами, включая их размер и способность к агрегации или биосовместимости. Исследования охватывали эффекты наночастиц металлов, таких как медь (Cu), кобальт (Co), железо (Fe), цинк (Zn), а также их оксидные формы (таблица 1).

Таблица 1 – Физико-химические характеристики наночастиц
Table 1 – Physical and chemical characteristics of nanoparticles

НЧ	Уд. пов., м ² /г	Фаз. состав, % / Phases structure, %	Остаточное сод. O ₂ 800 °С, % / Residual sod. O ₂ 800 °С, %
Fe	45.7	Fe (6), Fe ₃ O ₄ (94)	12.6
Co	52.1	Co (12), Co ₃ O ₄ (67), CoO (21)	11,6
Cu	6.5	Cu (58), Cu ₂ O (36), CuO (6)	16.2
Zn	13,6	Zn (74), ZnO (26)	13,5

Исследования в области нанотехнологий демонстрируют, что физические свойства частиц, в частности их размер, играют критическую роль в определении свойств материи на микроскопическом уровне. Наночастицы с меньшими размерами обладают увеличенной площадью поверхности на единицу объема, что обеспечивает им более высокую химическую реактивность и физическую активность. В контексте агрохимических приложений, такие как стимуляция прорастания семян, использование наночастиц показывает обещающие результаты. Опыты с семенами раскрывают, что наночастицы в малых дозировках оказывают более выраженное стимулирующее воздействие на рост и развитие семян, вероятно из-за отсутствия в организмах эффективных механизмов их нейтрализации. Так, при использовании наночастиц в низких концентрациях наблюдается значительное улучшение морфологических характеристик прорастающих семян по сравнению с их ростом при воздействии более высоких доз. Однако существует пороговый уровень концентрации, превышение которого не влечет за собой дальнейшего усиления положительного эффекта, подчеркивая нелинейность зависимости реакции растений на наночастицы от их концентрации.

Материалы и методы. В лабораторных условиях были определены наилучшие параметры размеров металлических наночастиц (НЧ), демонстрирующих биологическую активность (рисунок 1). Биологическая активность наночастиц металлов не только зависит от условий их синтеза, но она обусловлена размером этих частиц. Стабильность суспензий, созданных методом ультразвуковой дисперсии, определяется величиной электрокинетического потенциала [5, 6]. Анализ дзета-потенциала является ключевым для оценки стабильности синтезированных гидрозолей.

В данном исследовании использовались наноразмерные частицы оксида меди(II) и чистой меди с размером в диапазоне 20-80 нм и площадью поверхности 35 м². Медь является критически важным микроэлементом, необходимым для нормального роста и развития растений. Для анализа структуры наночастиц был применен метод трансмиссионной электронной микроскопии на устройстве Omega производства Германии. Рассмотрение процесса биоаккумуляции частиц Cu и CuO в растительных организмах осуществлялось с помощью сканирующей электронной микроскопии на аппарате JEOL JCM-7000, изготовленном в Японии [7, 8]. Благодаря сканирующей электронной микроскопии удалось установить, что частицы оксида меди создают агломераты с закругленными краями, в то время как частицы чистой меди демонстрируют сферическую форму, что подтверждается иллюстрациями на рисунке 1.

Токсичность наночастиц сильно варьируется в зависимости от pH почвы, где они подвергаются трансформации, что охватывает агрегацию, диссоциацию, адсорбцию (концентрационное насыщение) и окислительно-восстановительные реакции.

Эффект наночастиц (НЧ) на разнообразные растения определяется размерами частиц, их содержанием, временем воздействия, генотипами растений, параметрами проведения исследования и методикой получения НЧ.

Исследование токсического действия наноматериалов с концентрацией 8 мг/л осуществлялось через анализ их влияния на патогенные микроорганизмы, ответственные за развитие растительных заболеваний, в частности на грибы *Fusarium oxysporum*, *Fusarium avenaceum* и *Alternaria alternata*. Помимо этого, анализировалось действие на бактерии, играющие ключевую роль в поддержании здоровья почвенной экосистемы, в том числе на *Bacillus sp.* и *Bacillus mycoides*.

Проведение экспериментальных исследований осуществлялось с использованием трехкратной биологической и аналитической повторяемости экспериментов в строго контролируемых условиях лаборатории. Специализированные программные инструменты Microsoft Excel 2010 и StatTech применялись для анализа и статистической обработки собранных данных, включая реализацию t-критерия Стьюдента и точного критерия Фишера.

Полевые эксперименты проводили на агротехнологической станции РГАУ (п. Стенькино, Рязанская область), почва – светло-серая лесная. Агротехника соответствовала областным рекомендациям. Опыт мелко деляночный, однофакторный. Посевная площадь делянки составляла 84 м², уборочная – 64 м². Повторность трехкратная. Норма высева семян соответствовала средней рекомендованной – 200 кг на 1 га.

На протяжении вегетационного периода анализировались следующие параметры:

- фенологический мониторинг развития растений осуществляли по всему спектру экспериментальных условий. Переход в новую фазу развития фиксировали, когда в неё входило от 10 до 15 % растений, а завершение фазы определяли, когда этап достигался не менее чем 75 %;

- на седьмой день после посева измеряли уровень всходов в полевых условиях;

- определение плотности распределения растений осуществляли на стадии развития четырех–пяти листов и непосредственно перед сбором урожая;

- мониторинг биометрических параметров (роста и веса) растений, как в контрольных, так и в экспериментальных группах, сбор вегетативных и репродуктивных органов, а также корней для биохимического анализа осуществляли на протяжении всех этапов вегетационного периода изучаемых растений;

- урожайность зерна определяли путем сбора и обмолота колосков с последующим пересчетом на кондиционную влажность и 100 %-ную чистоту;

- проведение дисперсионного анализа данных эксперимента было осуществлено согласно методике, разработанной Б. А. Доспеховым.

Результаты и обсуждение. Исследование воздействия наночастиц оксида меди на патогенные бактерии и грибы выявило, что применение дозы в 5 мг/л приводит к подавлению роста определенного грибка на 19 мм и оказывает сдерживающее действие на *Alternaria alternata*, сокращая его распространение на 12 мм.

Аналогичное исследование показало влияние частиц Cu на *Fusarium oxysporum* и *Alternaria alternata*, создавая зону подавления на 10 и 11 мм соответственно. При более высокой концентрации в 8 мг/л, наночастицы оксида меди усилили значительно воздействие на развитие колоний патогенных для растений микроорганизмов, при этом наночастицы чистой меди оказывали менее выраженный эффект.

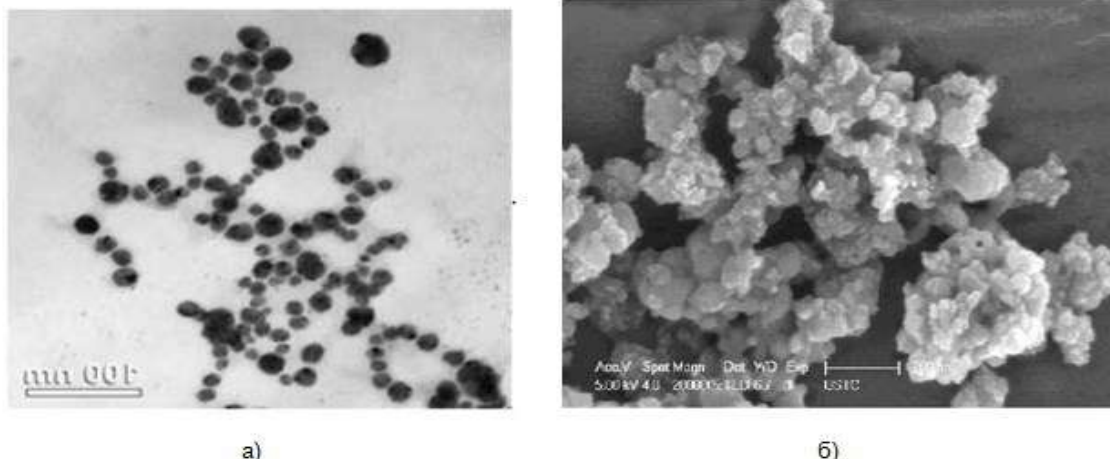


Рисунок 1 – Электронно-микроскопическое исследование наночастиц Cu (а) и CuO (б)
Figure 1 – Electron microscopic study of Cu (a) and CuO (b) nanoparticles

В биологических исследованиях используются различные микроорганизмы, поэтому в дальнейшем изучено влияние наночастиц было на устойчивость микроорганизмов *Bacillus cereus* которые положительно влияют на развитие растений и одновременно подавляют патогенные микроорганизмы. Бактерия способна выживать в самых разных условиях.

В качестве контроля использовали суспензии культуры в дистиллированной воде, в концентрации 1 ед. По Макфарленду, что соответствует числу клеток 3×10^7 КОЕ / см^3 . Далее смешивая данную суспензию с 1 мл воды, получали концентрации суспензии 5×10^6 КОЕ / см^3 и т.д. Для эксперимента смешивали суспензии 3×10^8 КОЕ / см^3 *B. cereus* 1,0 см^3 с растворами НЧ меди и оксида меди в концентрациях 0,1 г / мл, 1 г / мл и 10 г / мл, 100 г / мл, размером 40-60 нм. Подсчетом по стандартной таблице рассчитывали количество клеток *B. cereus*. Негативный эффект в отношении бактерий *B. cereus* проявлялся при концентрации наночастиц 10 г / мл для НЧ оксида меди. Для НЧ Cu он только начинает проявляться при 100 г / мл, где содержание клеток *B. cereus* с НЧ Cu 5×10^5 КОЕ / см^3 , для НЧ CuO 1×10^5 КОЕ / см^3 за этим следует нелинейное изменение токсичности наночастиц. Максимум достигается при концентрации выше 100 г/га. Было показано, что безопасные концентрации наночастиц меди и оксида меди для бактерий в водной среде лежат в пределах не более 100 г / га.

В ходе исследования была выявлена способность бактерии *Bacillus cereus* усиливать и стабилизировать биохимический эффект наночастиц в период прорастания семян, что представляет практический интерес. Опыты продолжаются.

Препараты, содержащие одновременно и НЧ штаммы *Bacillus*, проявляют стимулирующий эффект роста растений и повышают их иммунитет. Кроме того, выделяя антибиотики, они уничтожают болезнетворные микроорганизмы, защищая почву и предотвращая действие возбудителей некоторых заболеваний. Они защищают овощи от корневой гнили.

Фитотоксичность для видов растений недавно была исследована в тестах на прорастание семян и удлинение корней, чтобы пропагандировать их использование в сельском хозяйстве [13].

Современные исследования выявили, что воздействие наночастиц серебра (AgNP) на растительные организмы зависит от их концентрации. Оптимальные дозы могут способствовать росту, в то время как крайне низкие или высокие концентрации могут оказывать

подавляющее действие. Особенно эффективными оказались специфически подготовленные серии AgNP, которые стимулируют рост растений значительно лучше, по сравнению с растениями без обработки. Научные работы подчеркивают, что аккуратный подбор концентраций AgNP критичен для улучшения не только роста и прорастания семян, но и для повышения содержания хлорофилла, эффективности фотосинтеза, а также усиления способности растений к ассимиляции удобрений и влаги [14].

Исследовательские данные подчеркивают необходимость дальнейшей разработки научно обоснованных методик для определения эффективных концентраций наночастиц и их внесение в почву. Цель такой разработки заключается в уменьшении уровня зараженности растений фитопатогенами при одновременном сохранении полезной микрофлоры ризосферы. Положительное воздействие наночастиц и их композитов на биологические функции растений, в том числе и на процессы роста и развития, подтверждается соответствующими данными (см. таблицу 2). В частности, наблюдается улучшение качества всходов пшеницы (см. рисунок 2).



Рисунок 2 – Опытное поле (14 дней после посева)
Figure 2 – Experimental field (14 days after sowing)

Таблица 2 – Внешний вид, развитость стебля и листьев
Table 2 – Appearance, development of stem and leaves

Тип наночастиц / Type of nanoparticles	Концентрация наночастиц, мг/л / Concentration of nanoparticles, mg/l	Высота стебля, см / Stem height, cm	Прирост в высоту, см / Height gain, cm	Число листьев в фазу кущения, шт. / Number of leaves in the tillering phase, pcs.
Cu	8	11,6±1,2*	+3,0*	6,6±0,7
CuO		13,7±0,3*	+2,6*	4,6±0,2*
Контроль / Control	нет	9,3±2,6		3,1±0,5

*Значения, достоверно отличные от контроля (n=90, p<0,05).

*Values significantly different from the control (n=90, p<0.05)

Исследование выявило, что обогащение почвы, используемой для проращивания семян, частицами меди (Cu) и её оксидом (CuO), положительно влияет на развитие корневой системы растений, приводя к увеличению объема корней и значительному расширению числа боковых корней по сравнению с контрольными образцами, корни которых были тонкие и нитевидные [9, 10]. Корневая система, формирующаяся в начальный период прорастания семени, служит основным показателем здорового развития растений. У полностью здорового зерна пшеницы, как правило, развивается четыре основных корня.

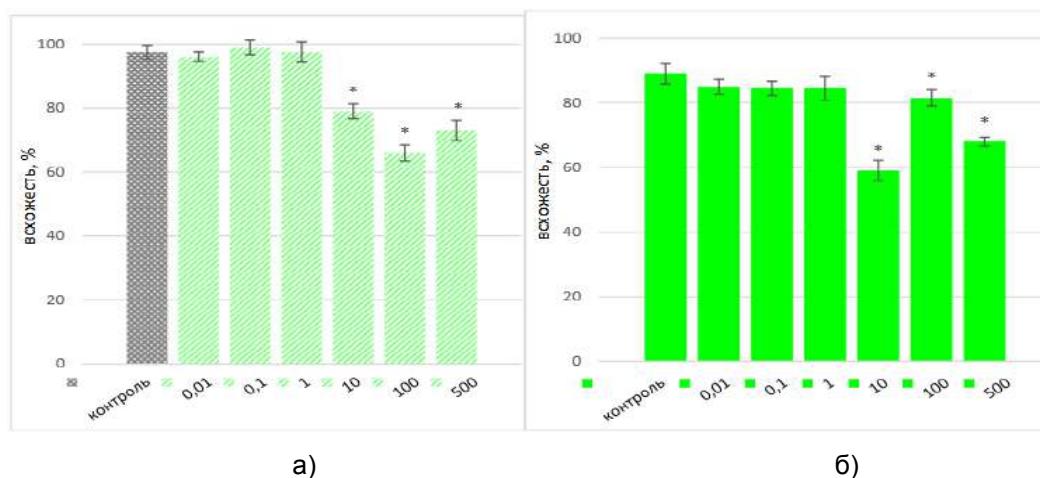


Рисунок 3 – Корневая система пшеницы: а) контроль; б) после обработки семян НЧ Cu; в) НЧ CuO
Figure 3 – Root system of wheat: a) control; b) after seed treatment with Cu NPs; c) CuO NPs

Масса сухого вещества экспериментальных образцов растительного происхождения существенно превышала аналогичный показатель у контрольной группы. Конкретно, обработка наночастицами меди (Cu) и оксида меди (CuO) привела к увеличению сухой массы в 1,8 и 1,6 раза соответственно.

При воздействии наночастиц на растения было зарегистрировано усиление роста биомассы, преимущественно благодаря увеличению объёма надземной части. В ходе исследований растения, подвергшиеся воздействию наночастиц, показывали ограниченное увеличение числа листьев по сравнению с контрольной группой. Тем не менее, размеры листьев и общая эффективная площадь для фотосинтеза в результате применения наночастиц меди (Cu) и её оксида (CuO) выросли в 1,8-1,9 и 1,6 раз соответственно.

Эксперименты с ячменем сорта «Саншайн» на агротехнологической базе РГАУ выявили, что применение наноматериалов на основе металлов в агрономии этой культуры привело к существенному улучшению как объемных, так и субъективных параметров урожайности. При сравнении результатов выяснилось, что урожаи ячменя после обработки наночастицами серебра показали значительный рост: со среднего уровня в контрольной группе – 18,9 центнеров с гектара до 25,8 центнеров с гектара на обработанных участках, что указывает на прирост продуктивности культуры (согласно рисунку 4).



Примечание: * – достоверные различия по сравнению с контролем ($p < 0,05$).
Note: * – significant differences compared to the control ($p < 0.05$).

Рисунок 4 – Всхожесть семян ячменя а) с наночастицами меди, б) наночастицами серебра
Figure 4 – Germination of barley seeds a) with copper nanoparticles, b) with silver nanoparticles

Интенсивность формирования АФК (активные формы кислорода) под воздействием наночастиц определяется рядом параметров: размером, формой, характеристиками поверхности, химическим составом, способностью к растворению, склонностью к агрегации или агломерации, а также присутствием мутагенных веществ и переходных металлов, ассоциированных с данными нанообъектами [11]. Количество АФК определяет степень угнетения добавок на развитие живого организма. Исходя из анализа экспериментальных данных, можно констатировать разнообразие биоактивности наночастиц разного состава на клеточные линии эмбриональной почки человека НЕК 293 и карциномы предстательной железы человека РС3. Изучение показывает, что наночастицы серебра значительно увеличивают производство активных форм кислорода на 499 % в клетках НЕК 293 и на 810 % в клетках РС3 по сравнению с контрольными значениями. В то же время, наночастицы меди показывают относительно меньшую способность к индукции прооксидантного эффекта, с увеличением активных форм кислорода на 350 % в клетках НЕК 293 и на 326 % в клетках РС3. Эти данные выделяют разницу в биологической активности между медью и серебром, подчеркивая более сильное прооксидантное воздействие последнего.

Заключение. 1. Исследование показало, что наночастицы меди (Cu) и оксида меди (CuO), применяемые в концентрации 8 мг/л, обладают сильными антифунгальными эффектами, эффективно подавляя развитие вредоносных грибов, при этом, не нанося вреда полезной микрофлоре почвы. 2. Обработка семян ячменя наночастицами меди и ее оксида (Cu и CuO) в дозировке 8 мг/л существенно улучшила формирование корневой системы, демонстрируя возможности нанотехнологий в стимуляции корневого роста растений. 3. В ходе исследования применения нанотехнологий в агрокультуре, конкретно на примере яровой пшеницы, было обнаружено, что применение препаратов, содержащих наночастицы (НЧ) меди, в различных концентрациях способствует значительному увеличению урожайности. Конкретно, на почвах без добавления удобрений урожай зерна увеличивается на 18,4 %, тогда как на удобренных почвах наблюдается увеличение на 26,0 %. Такое увеличение объясняется не только повышенной способностью к выживанию и сохранности растений, но и более эффективной фотосинтетической активностью благодаря обработке семян наночастицами серебра.

Conclusions. 1. The study showed that copper (Cu) and copper oxide (CuO) nanoparticles used at a concentration of 8 mg / l have strong antifungal effects, effectively suppressing the development of harmful fungi, while not harming the beneficial microflora of the soil. 2. Treatment of barley seeds with copper and copper oxide (Cu and CuO) nanoparticles at a dosage of 8 mg / l significantly improved the formation of the root system, demonstrating the capabilities of nanotechnology in stimulating plant root growth. 3. During the study of the use of nanotechnology in agriculture, specifically on the example of spring wheat, it was found that the use of preparations containing copper nanoparticles (NPs) in various concentrations contributes to a significant increase in yield. Specifically, on soils without the addition of fertilizers, the grain yield increases by 18.4 %, while on fertilized soils an increase of 26.0 % is observed. This increase is explained not only by the increased ability of plants to survive and survive, but also by more efficient photosynthetic activity due to the treatment of seeds with silver nanoparticles.

Библиографический список

1. Чурилов Г. И., Обидина И. В., Чурилов Д. Г., Полищук С. Д. Влияние размера и концентрации наночастиц металлов на их биологическую активность. Современная наука: актуальные вопросы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки». 2020. № 3. С. 62-69.
2. Churilov G. I. et al. Agroecological grounding for the application of metal nanopowders in agriculture. International Journal of Nanotechnology. 2018. Vol. 15. No 4-5. Pp. 258-279.
3. Степанова И. А. и др. Биологическая активность наночастиц кобальта и оксида цинка и их биоаккумуляция на примере вики. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2019. № 1 (41). С. 62-68.
4. Churilova V. V. et al. Effect of metal nanoparticles on the accumulation and structure of rapeseed carbohydrates. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6-th International Conference on Agriproducts Processing and Farming. 2020. 012089.
5. Polischuk S. D., Nazarova A. A., Churilov G. I., Borychev S. N., Byshov N. V. Nanopowders of cuprum, cobalt and their oxides used in the intensive technology for growing cucumbers. International Journal of Nanotechnology. 2018. V. 15. № 4-5. Pp. 352-369.
6. Чурилов Д. Г. и др. Оценка фитостимулирующего потенциала нового агропрепарата состава высокодисперсный металлургический шлам-гуминовые кислоты на примере пшеницы. Российские нанотехнологии. 2023. Т. 18. № 3. С. 356-367.
7. Чурилов В. В. и др. Ответные реакции растений на воздействия высокодисперсных компонентов отходов металлургического производства разного состава. Российские нанотехнологии. 2024. Т. 19. № 6. С. 844-854.
8. Назарова А. А. и др. Нанотехнологии работают на урожай. Картофель и овощи. 2017. № 2. С. 28-30.

9. Polischuk S. D., et al. Biologically active nanomaterials in production and storage of arable crops. International Journal of Nanotechnology. 2019. Vol. 16. No. 1-3. Pp. 133-146.
10. Churilov D. G. et al. Investigation of the long-term toxic effect of nanoparticles of different physical-chemical characteristics. Agronomy Research. 2020. Vol. 18. No. 3. Pp. 1973-1991.
11. Churilov D. G. et al. Biocompatibility conditions and biological activity of cobalt nanoparticles, depending on the size and concentration. International Journal of Nanotechnology. 2019. Vol. 16. No. 6-10. Pp. 522-539.
12. Назарова А. А., Полищук С. Д., Чурилова В. В. Физиологические, биохимические и продуктивные показатели пивоваренного ячменя при использовании биологически активных наноматериалов. Сахар. 2017. № 1. С. 22-25.
13. Arnott A. et al. The potential of rock dust nanoparticles to improve seed germination and seedling vigor of native species: A review. Science of the Total Environment. 2021. V. 775. 145139.

References

1. Churilov G. I., Obidina I. V., Churilov D. G., Polishchuk S. D. Influence of the size and concentration of metal nanoparticles on their biological activity. Modern science: current issues of theory and practice. The series "Natural and technical Sciences". 2020. No. 3. Pp. 62-69.
2. Churilov G. I. et al. Agroecological grounding for the application of metal nanopowders in agriculture. International Journal of Nanotechnology. 2018. Vol. 15. No 4-5. Pp. 258-279.
3. Stepanova I. A. et al. Biological activity of cobalt and zinc oxide nanoparticles and their bioaccumulation on the example of wicki. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2019. No. 1 (41). Pp. 62-68.
4. Churilova V. V. et al. Effect of metal nanoparticles on the accumulation and structure of rapeseed carbohydrates. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6-th International Conference on Agriproducts Processing and Farming. 2020. 012089.
5. Polischuk S. D., Nazarova A. A., Churilov G. I., Borychev S. N., Byshov N. V. Nanopowders of cuprum, cobalt and their oxides used in the intensive technology for growing cucumbers. International Journal of Nanotechnology. 2018. V. 15. № 4-5. Pp. 352-369.
6. Churilov D. G. et al. Assessment of the phytostimulating potential of a new agro-preparation of the composition highly dispersed metallurgical sludge-humic acids using the example of wheat. Russian nanotechnology. 2023. Vol. 18. No 3. Pp. 356-367.
7. Churilov V. V. et al. Plant responses to the effects of highly dispersed components of metallurgical waste of various compositions. Russian nanotechnology. 2024. Vol. 19. No 6. Pp. 844-854.
8. Nazarova A. A. et al. Nanotechnology works for crops. Potatoes and vegetables. 2017. No. 2. Pp. 28-30.
9. Polischuk S. D., et al. Biologically active nanomaterials in production and storage of arable crops. International Journal of Nanotechnology. 2019. Vol. 16. No. 1-3. Pp. 133-146.
10. Churilov D. G. et al. Investigation of the long-term toxic effect of nanoparticles of different physical-chemical characteristics. Agronomy Research. 2020. Vol. 18. No. 3. Pp. 1973-1991.
11. Churilov D. G. et al. Biocompatibility conditions and biological activity of cobalt nanoparticles, depending on the size and concentration. International Journal of Nanotechnology. 2019. Vol. 16. No. 6-10. Pp. 522-539.
12. Nazarova A. A., Polishchuk S. D., Churilova V. V. Physiological, biochemical and productive parameters of malting barley using biologically active nanomaterials. Sugar. 2017. No 1. Pp. 22-25.
13. Arnott A. et al. The potential of rock dust nanoparticles to improve seed germination and seedling vigor of native species: A review. Science of the Total Environment. 2021. V. 775. 145139.

Информация об авторах

Полищук Светлана Дмитриевна, доктор технических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: svpolishuk@mail.ru

Кутыраев Александр Андреевич, аспирант, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: kutyraev@bk.ru

Фадькин Геннадий Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: e-mail g-fadkin@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

Чурилов Геннадий Иванович, доктор биологических наук, профессор кафедры, Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова, e-mail: genchurilov@yandex.ru

Успенский Иван Алексеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техническая эксплуатация транспорта», ФГБНУ Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева (РФ, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1), e-mail: ivan.uspenckij@yandex.ru

Authors' Information

Polischuk Svetlana Dmitrievna, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Forestry and Horticulture, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva st.1), e-mail: svpolishuk@mail.ru

Kutyraev Aleksandr Andreevich, Postgraduate Student, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva st.1), e-mail: kutyraev@bk.ru

Fadkin Gennady Nikolaevich, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva st.1), e-mail g-fadkin@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 st.1), e-mail: yuival@rambler.ru

Churilov Gennady Ivanovich, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of General Chemistry, Ryazan State Medical University named after Academician I. P. Pavlov, e-mail: genchurilov@yandex.ru

Uspensky Ivan Alekseevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technical Operation of Transport, Federal State Budgetary Scientific Institution Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev Street, Bldg. 1), e-mail: ivan.uspenckij@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-10

MULTI-CRITERIA CHOICE IN THE AGROECOLOGY ON THE EXAMPLE OF PROTECTIVE AFFORESTATION

Salugin A. N., Machulin D. L.

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

Corresponding author E-mail: dmachulin@yandex.ru

Received 02.05.2025

Submitted 17.09.2025

The work was performed within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (topic No. FNFE-2024-0007).

Abstract

Introduction. Intensive soil deflation in the arid dry-steppe zone of Russia contributes to a decrease in the fertile soil layer, which leads to vegetation degradation. To restore soil fertility, forest reclamation is carried out in the form of protective forest plantations. The process of soil restoration depends on the effectiveness of the protective properties of the soil. The effectiveness of forest reclamation depends on the choice of tree species that dominate the design of protective plantations. For the successful functioning of a forest protection zone, they must have certain forest protection properties suitable for these natural conditions. **Object.** The object of the study is the wood species of the Volga region. **Materials and methods.** HAM is an approach that removes uncertainty when choosing a variety of options that arise due to conflicting criteria for achieving a given goal. This method provides the researcher with the opportunity to make informed choices using both formal and informal strategies. **Results and conclusion.** The components of the global vector turned out to be close to each other. Nevertheless, the choice has been made, and it accurately determines that the lhm, as a component of the global vector, is higher than the rest and must be taken into account. The decisive advantage of the presented approach over most of the available methods of evaluating tree species is a systematic analysis of the problem and clear expert judgments.

Keywords: simulation modeling, systems of differential equations, succession dynamics, extreme points, management of biological resources.

Citation. Salugin A. N., Machulin D. L. Multi-criteria choice in the agroecology on the example of protective afforestation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 87-94 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-10.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the execution of this study.

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

УДК 630*116.64

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ВЫБОР В АГРОЭКОЛОГИИ НА ПРИМЕРЕ ЗАЩИТНОГО ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЯ

**Салугин А. Н., доктор сельскохозяйственных наук
Мачулин Д. Л., аспирант**

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

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FNFE-2024-0007).

Актуальность. Интенсивная дефляция почвы в засушливой сухостепной зоне России способствует уменьшению плодородного слоя почвы, что приводит к деградации растительности. Для восстановления плодородия почв проводится лесомелиорация в виде защитных лесонасаждений (ЗЛН). Процесс восстановления почвы зависит от эффективности защитных свойств ЗЛН. Эффективность лесомелиорации зависит от выбора древесных пород, доминирующих в проектировании защитных лесонасаждений. Для успешного функционирования ЗЛН должны обладать определенными лесозащитными свойствами, подходящими для данных природных условий. **Объект.** Объектом исследования являются древесные породы Приволжья. **Материалы и методы.** МАИ представляет собой подход, который снимает неопределенность при выборе множества вариантов, возникающих из-за конфликтующих критериев достижения заданной цели. Данный метод представляет исследователю возможность осуществить осознанный выбор, используя как формальные, так и неформальные стратегии. **Результаты и выводы.** Компоненты глобального вектора получились близкими друг

к другу. Тем не менее, выбор сделан, и он точно определяет, что ильм, как компонента глобального вектора, находится выше остальных и его необходимо принять во внимание. Решающим преимуществом представленного подхода перед большей частью имеющихся способов оценивания древесных пород является системный анализ проблемы и отчетливые экспертные суждения.

Ключевые слова: имитационное моделирование, системы дифференциальных уравнений, динамика сукцессий, экстремальные точки, управление биоресурсами, защитное лесоразведение.

Цитирование. Салугин А. Н., Мачулин Д. Л. Многокритериальный выбор в агроэкологии на примере защитного лесоразведения. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 87-94. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-10.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в выполнении данного исследования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Интенсивная дефляция почвы в засушливой сухостепной зоне России способствует уменьшению плодородного слоя почвы, что приводит к деградации растительности. Для восстановления плодородия почв проводится лесомелиорация в виде защитных лесонасаждений (ЗЛН). Процесс восстановления почвы зависит от эффективности защитных свойств ЗЛН [1].

Эффективность лесомелиорации зависит от выбора древесных пород, доминирующих в проектировании защитных лесонасаждений [2, 3]. Для успешного функционирования ЗЛН должны обладать определенными лесозащитными свойствами, подходящими для данных природных условий. В лесостепной зоне Приволжья ЗЛН характеризуются разнообразием как хвойных, так и лиственных деревьев, которые обеспечивают достаточную продуктивность и способны прижиться в данной экосистеме [4]. Неблагоприятные климатические условия оказывают отрицательное воздействие на берёзовые, дубовые и еловые защитные леса. В то время как санитарное состояние лесонасаждений из сосны обыкновенной и мелколистной липы демонстрирует более высокую устойчивость. В защитном лесоразведении должны преобладать деревья без характеристик ослабления, отмеченных в работе [5].

Таким образом, при проектировании ЗЛН исследователю необходимо осуществлять каждый раз оптимальный выбор пород деревьев с необходимым комплексом свойств для обеспечения ими длительной противозерозионной и противодефляционной защиты с сохранением экологического равновесия.

Целью данного исследования является разработка процедуры выбора древесных пород, подходящих для проектирования ЗЛН, с помощью метода анализа иерархий (МАИ) – выбора наилучшего варианта с учетом множества критериев.

В процессе исследования были поставлены следующие задачи: применение МАИ для защитного лесоразведения; решение практической задачи выбора наилучшей древесной породы для ЗЛН; учёт различных критериев проектирования для климатических зон Российской Федерации.

В статье приведен пример для Волгоградской области. МАИ можно использовать и в иных климатических зонах. Метод в этом смысле безотносителен. Матрицы суждений будут изменяться, приводя к другим результатам.

Материалы и методы. Решение сложных задач оптимального выбора вариантов, связано с тем, что приходится учитывать несколько критериев достижения цели. Исследователю часто приходится осуществлять поиск наилучшего решения в задачах, не поддающихся математической формализации [6]. Существующие к настоящему времени разработки теории систем не приспособлены к решению подобных задач [7]. Системный анализ разбивает сложную систему на подсистемы в иерархическом порядке. В современной системной теории преобладает формальное описание, но не хватает практической методологии. Создание методологии, позволяющей рассматривать экосистему как множество взаимодействующих объектов и иерархически структурированную целостность, основано на принципах общей теории систем [7]. Данные принципы являются основой методологии системного анализа, предлагающей способы распределения приоритетов и оценки интенсивности взаимодействия элементов в системе [8]. Метод иерархического анализа представляет собой пример методологии, которая эффективно применяется для решения задач выбора, касающихся принятия решений [7].

МАИ представляет собой подход, который снимает неопределенность при выборе множества вариантов, возникающих из-за конфликтующих критериев достижения заданной цели. Данный метод представляет исследователю возможность осуществить осознанный выбор, используя как формальные, так и неформальные стратегии. Основная идея МАИ состоит в разбиении задач выбора на меньшие компоненты. Привлечение экспертов и анализ их мнений при помощи специально разработанного программного алгоритма для ПК позволяет сделать научно обоснованный выбор с учетом нескольких критериев. Процесс выбора оптимального варианта представляет собой поэтапное определение приоритетных задач. Сначала необходимо выделить наиболее значимые составляющие проблемы, а затем установить их функциональные взаимосвязи, а также связи с нижележащими элементами по иерархии. Поиск наилучшего варианта осуществляется иерархическим способом, то есть результаты, полученные на текущем уровне решения задач, являются исходными данными для следующего. Данный подход лежит в основе МАИ. Благодаря ему, исходная комплексная проблема становится более прозрачной и предстает перед специалистом в виде многоступенчатой упрощенной задачи.

Сначала ставится цель, определяющая проблему. Затем производится ее разложение – разбиение на несколько мелких задач, чьи решения очевидны [9]. В нашей задаче требуется выбрать древесные породы для защитных лесонасаждений с целью получения максимального защитного эффекта. Пусть, имеется определенный некоторый список пород деревьев в качестве доступных вариантов.

На втором этапе зададим критерии, по которым будет найден наилучший вариант.

1. Приживаемость.
2. Стоимость.
3. Динамика роста.

На третьем этапе определим набор возможных вариантов из заданного списка. Заведомо проигрышные варианты (в нашем случае, саженцев) нужно сразу же отбросить. Вариантов должно быть достаточно много, так как лучший из них может оказаться вне предлагаемого списка. Пусть в списке оказалось пять пород древесных саженцев (*A, B, C, D, E*): *A* – дуб черешчатый (*Quercus robur*), *B* – ясень зеленый (*Fraxinus pennsylvanica*), *C* – ильм мелколистный (*Ulmus parvifolia*), *D* – робиния лжеакация (*Robinia pseudoacacia*), *E* – сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*). Таким образом, процесс выбора был разделен на три уровня иерархии (рисунок 1).

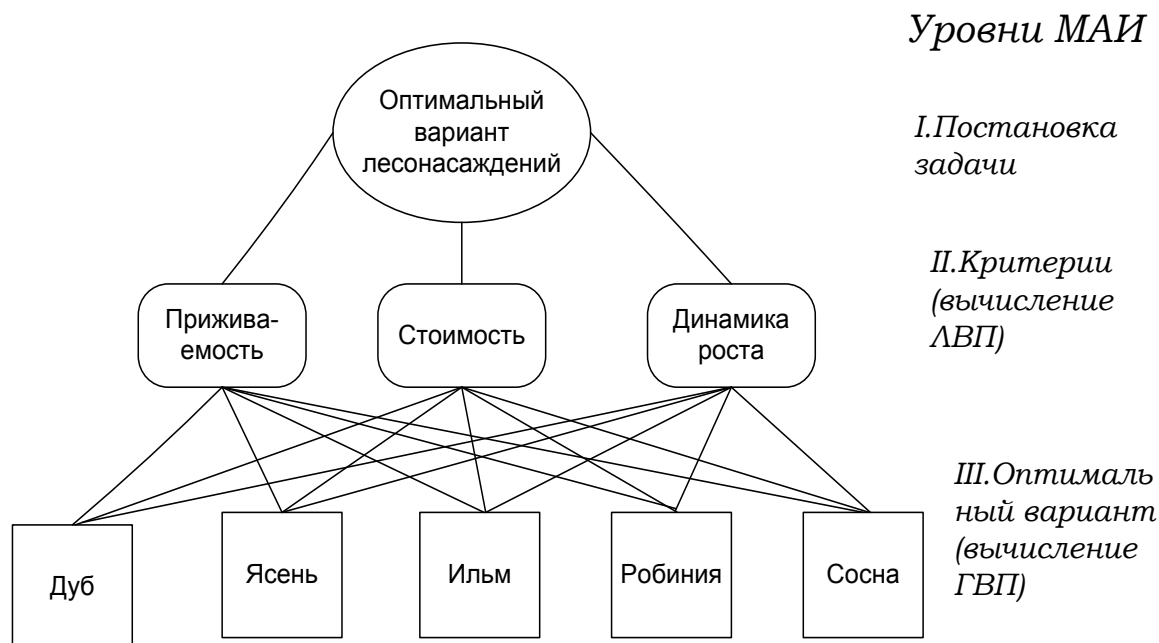


Рисунок 1 – Иерархическое разбиение проблемы на уровни поэтапного принятия решений
Figure 1 – Hierarchical division of the problem into levels of step-by-step decision-making

Выбор представлен в виде графа, который моделирует последовательность действий над элементами, организованными по принципу иерархии. Эти элементы взаимодействуют на логическом уровне. Иерархия визуализируется (рисунок 1) как дерево целей, где основание представляет главную цель проблемы. Исследователь, преодолевая промежуточные уровни с критериями, влияющими на последующие, приходит к уровню, на котором находятся альтернативы для выбора. Если каждый элемент на этом уровне соединен со всеми нижележащими элементами, иерархия считается полной. В данном случае мы имеем дело с системой, обладающей полной иерархической структурой. Если же иерархия оказывается неполной, необходимо дополнить её данными от других специалистов или искать информацию в других источниках.

После создания структурной схемы или графа необходимо определить приоритеты критериев и затем оценить приоритеты вариантов, принимая во внимание приоритеты критериев.

В МАИ проводятся парные сравнения, учитывая их влияние друг на друга, на каждом уровне декомпозиции. Сравнение элементов отражается квадратной матрицей бинарных отношений вида:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & 1 & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Каждый элемент матрицы A – отношение одного критерия (w_i) к другому (w_j): $a_{ij}=w_i/w_j$. Номер строки соответствует номеру критерия, относительно которого вычисляются приоритеты остальных (i – номер строки, j – столбца). В первой строке, например, сравнивается первый критерий с другими, номера которых определены номером столбца. Число, характеризующее сравниваемый критерий, стоит сверху (числитель), а внизу (знаменатель) – число (вес) критерия, с которыми происходит сравнение.

После создания матрицы сравнений, для критериев составляются аналогичные матрицы парного сопоставления для вариантов. Количество этих матриц будет равно числу критериев.

На втором уровне модели формируется матрица размером 3x3, содержащая важности критериев, а на третьем уровне – три матрицы размером 5x5, которые должны ранжировать варианты деревьев по каждому критерию.

В контексте парных сравнений необходимо оценивать, в чем именно и насколько различаются варианты. Часто приходится использовать качественные оценки для критериев. При этом качество определяется через количественное сопоставление с другими критериями, также имеющими числовые значения. Относительная важность в оценке качества представлена в виде девятибалльной шкалы [7].

Таблица 1 – Шкала относительной важности для оценки качества критериев
Table 1 – Relative importance scale for evaluating the criteria quality

Интенсивность важности / Intensity of Importance	Определение / Definition
1	Равная важность / Equal importance
3	Умеренное превосходство / Moderate superiority
5	Существенное превосходство / Significant superiority
7	Значительное превосходство / Значительное превосходство
9	Очень сильное превосходство / Very strong superiority
2, 4, 6, 8	Промежуточное значение / Intermediate value
Обратные величины / Inverse values	Если при сравнении одного критерия с другим получим, например, 3, то сравнение второго и первого даст обратную величину (1/3) / If, when comparing one criterion with another, we get, for example, 3, then the comparison of the second and the first will give the inverse value (1/3)

91

адекватность бинарной матрицы. Ошибки при построении матрицы мы называем «плохим суждением». При большом количестве сравниваемых объектов можно легко ошибиться. Индекс согласованности, определяющий качество суждений, не должен превышать 0,1. Таким образом, парные оценки необходимы для дальнейшей реализации алгоритма оптимального выбора.

Аналогично вычисляются приоритеты для альтернатив (вариантов). Варианты пород деревьев оцениваются по всем критериям. Для каждого критерия формируется матрица, в которой сопоставляются альтернативы. Матрица сравнений вариантов древесных пород для критерия «приживаемость» имеет такой вид:

Таблица 3 – Приживаемость
Table 3 – Survival rate

	Дуб (А) / Oak (A)	Ясень (В) / Ash (B)	Ильм (С) / Ilm (C)	Робиния (D) / Robinia (D)	Сосна (Е) / Pine (E)	Вектор приоритетов / Vector of priorities
Дуб (А) / Oak (A)	1	1	5/2	1	2	0,3051
Ясень (В) / Ash (B)		1	4/3	1	2	0,235
Ильм (С) / Ilm (C)			1	3/4	3/2	0,177
Робиния (D) / Robinia (D)				1	2	0,235
Сосна (Е) / Pine (E)					1	0,207

По критерию «приживаемость» в первой строке сравнивается дуб с ясенем, ильмом, робинией и сосной. Рассуждения эксперта были такими: для ясеня отношение превосходства равно единице, т. е. дуб А и ясень В имеют одинаковую приживаемость. Сравнивая ясень с ильмом, отмечается некоторое превосходство над ним – элемент матрицы сравнения равен 4/3 (Манаенков А. С. Основа устойчивости культур сосны при неустойчивом увлажнении // Лесное хоз-во. – 2002. – № 4. – С. 35-38) [10-12].

Сравнение вариантов формируются для других критериев. В результате получены три матрицы, в которых сравнены варианты для каждого критерия.

Таблица 4 – Стоимость саженцев
Table 4 – The cost of seedlings

	Дуб (А) / Oak (A)	Ясень (В) / Ash (B)	Ильм (С) / Ilm (C)	Робиния (D) / Robinia (D)	Сосна (Е) / Pine (E)	Вектор приоритетов / Vector of priorities
Дуб (А) / Oak (A)	1	3/2	1	3/4	3/2	0,219
Ясень (В) / Ash (B)		1	2/3	2	1	0,193
Ильм (С) / Ilm (C)			1	3/4	3/2	0,220
Робиния (D) / Robinia (D)				1	2	0,222
Сосна (Е) / Pine (E)					1	0,146

Таблица 5 – Динамика роста
Table 5 – Growth dynamics

	Дуб (А) / Oak (A)	Ясень (В) / Ash (B)	Ильм (С) / Ilm (C)	Робиния (D) / Robinia (D)	Сосна (Е) / Pine (E)	Вектор приоритетов / Vector of priorities
Дуб (А) / Oak (A)	1	2/3	1/2	1/2	2	0,139
Ясень (В) / Ash (B)		1	3/4	3/4	3	0,214
Ильм (С) / Ilm (C)			1	1	4	0,278
Робиния (D) / Robinia (D)				1	4	0,278
Сосна (Е) / Pine (E)					1	0,091

Может оказаться так, что вариант А ниже по своей значимости, чем Е, если сравнивать по критерию «стоимость», но выше по критерию «приживаемость». Это обычная ситуация при многовариантном выборе вариантов по нескольким критериям. Одновременный учет множества критериев в нашей задаче является следующим шагом к достижению поставленной цели. В то же время решается проблема неопределенности, часто возникающая в подобных задачах. Противоречия, появляющиеся на разных уровнях МАИ, устраняются при помощи вычисления глобального вектора приоритетов.

ЛВП не дают ответа на вопрос, что лучше: по критерию «стоимость саженцев» первое место заняла робиния, а по «приживаемости» – дуб. Каждый вид занял свою нишу в поле критериев. Для окончательного выбора, необходимо учесть все критерии и вычислить глобальный

вектор приоритетов (ГВП). Вычислительная процедура сводится к следующему: каждый компонент ЛВП умножить на соответствующий элемент вектора критериев и просуммировать произведения. Эта сумма определяет ГВП (5):

- каждая компонента ЛВП вариантов умножается на соответствующую компоненту вектора критериев;
- вычисляется сумма из полученных произведений, которая определяет компоненту ГВП (5):

$$\begin{pmatrix} x_1^1 \\ x_2^1 \\ \dots \\ x_n^1 \end{pmatrix} \cdot X_1 + \begin{pmatrix} x_1^2 \\ x_2^2 \\ \dots \\ x_n^2 \end{pmatrix} \cdot X_2 + \dots + \begin{pmatrix} x_1^n \\ x_2^n \\ \dots \\ x_n^n \end{pmatrix} \cdot X_n = \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \dots \\ Y_n \end{pmatrix} \quad (5)$$

Верхний индекс в формуле (5) – номер критерия; нижний — номер варианта породы дерева. Значения Y_i — итоговые веса вариантов с учетом всех критериев. Величины Y_i определяют искомую породу дерева:

$$\begin{pmatrix} 0.23 \\ 0.23 \\ 0.18 \\ 1.24 \\ 0.12 \end{pmatrix} \cdot 0.31 + \begin{pmatrix} 0.13 \\ 0.23 \\ 0.23 \\ 0.13 \\ 0.27 \end{pmatrix} \cdot 0.16 + \begin{pmatrix} 0.22 \\ 0.19 \\ 0.22 \\ 0.22 \\ 0.15 \end{pmatrix} \cdot 0.31 + \begin{pmatrix} 0.14 \\ 0.21 \\ 0.28 \\ 0.28 \\ 0.10 \end{pmatrix} \cdot 0.06 + \begin{pmatrix} 0.22 \\ 0.11 \\ 0.22 \\ 0.11 \\ 0.37 \end{pmatrix} \cdot 0.16 = \begin{pmatrix} 0.206 \\ 0.200 \\ 0.212 \\ 0.198 \\ 0.182 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Компоненты глобального вектора (6) получились близкими друг к другу. Тем не менее, выбор сделан, и он точно определяет, что Y_3 (ильм), как компонента глобального вектора, находится выше остальных и его необходимо принять во внимание.

Заключение. Отметим в заключение, что МАИ стоит того, чтобы затратить на него время для его освоения. Авторы статьи убеждены, что экономический эффект от правильного решения в подобных задачах непременно проявится, улучшая вместе с тем экологию территории. В представленном демонстрационном примере по выбору оптимальной древесной породы для ЗЛН методом парных сравнений был выбран ильм. Решающим преимуществом представленного подхода перед большей частью имеющихся способов оценивания древесных пород является системный анализ проблемы и отчетливые экспертные суждения. При декомпозиции задач выбора специалист в области лесного хозяйства должен глубоко разобраться в проблеме выбора. Это необходимо для успешного применения данного метода. Специалист, занимающийся этой проблемой, должен иметь четкое представление о декомпозиции и создания иерархий. Если исследователь освоил метод декомпозиции, он сможет получить важный опыт практического применения МАИ. Идея анализа иерархий активно эволюционирует и становится более совершенной. В настоящее время разрабатываются новые программные продукты для принятия оптимальных решений в управлении экологическим состоянием территории. В агроэкологии, как видно из приведенного примера, эффективность использования МАИ несомненна.

Conclusions. Let us note in conclusion that HAM is worth spending time on it to master it. The authors of the article are convinced that the economic effect of the correct solution in such tasks will certainly manifest itself, at the same time improving the ecology of the territory. In the presented example, ilm was selected by the method of paired comparisons to select the optimal tree species for the protective plantations. The decisive advantage of the presented approach over most of the available methods of evaluating tree species is a systematic analysis of the problem and clear expert judgments. When decomposing the selection tasks, a specialist in the field of forestry must deeply understand the choice problem, which is necessary for the successful application of this method. A specialist dealing with this problem should have a clear understanding of the decomposition and creation of hierarchies. If the researcher has mastered the decomposition method, he will be able to gain important experience of the practical HAM application. The idea of hierarchy analysis is actively evolving and becoming more sophisticated. Currently, new software products are being developed to make optimal decisions in managing the environmental condition of the territory. As the example shows, the efficiency of HAM in agroecology is undeniable.

Библиографический список

1. Барабанов А. Т. Роль и место агролесомелиорации в адаптивно-ландшафтном земледелии. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2015. № 2 (38). С. 22-31.
2. Манаенков А. С. Условия произрастания и выращивание дубрав на плакорах и склонах Приволжской и Ергенинской возвышенностей и равнинах Сало-Маньчского междуречья. Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2024. Т. 79. № 3. С. 53-63.
3. Барабанов А. Т. Принципы адаптивно-ландшафтного обустройства территории и разработки почвозащитных систем земледелия. География и природные ресурсы. 2016. № 2. С. 19-26.
4. Иозус А. П., Завьялов А. А., Крючков С. Н. Биоэкологическая характеристика древесных видов в условиях выращивания в сухой степи. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 10. С. 131-134.
5. Жданов Ю. М., Барабанов А. Т., Балычев Р. Д. Создание конструкции лесополос, обеспечивающих оптимальное снегоотложение в них и на полях. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2015. № 1 (37). С. 29-34.
6. Салугин А. Н., Кулик К. Н. Математические модели и прогноз деградации аридных почвенно-растительных систем. Аридные экосистемы. 2024. Т. 30. № 3 (100). С. 28-36.
7. Салугин А. Н. К вопросу о математическом моделировании процесса испарения. Аридные экосистемы. 2023. Т. 29. № 2 (95). С. 12-19.
8. Кулик К. Н. и др. Глобальные проекты агролесомелиорации и их реализация. Вестник Российской академии наук. 2024. Т. 94. № 1. С. 55-65.
9. Салугин А. Н., Кулик А. В., Узолин А. И. Стохастическое моделирование влияния защитных лесных насаждений. Распределение Коши. Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 3. С. 7-10.
10. Манаенков А. С. О возможности лесоразведения на песках полупустыни. Лесное хозяйство. 2012. № 5. С. 31-33.
11. Егоров С. А. и др. Подбор основных древесных видов для создания объектов постоянной лесосеменной базы в засушливой зоне. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. № 252. С. 6-21.
12. Манаенков А. С., Сурхаев Г. А., Сурхаев И. Г. Особенности облесения песчаных земель Терско-Кумского междуречья культурами сосны. Лесное хозяйство. 2010. № 5. С. 36-38.

References

1. Barabanov A. T. Role and Place of Agroforestry in Adaptive-Landscape Agriculture. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2015. № 2 (38). Pp. 22-31.
2. Manaenkov A. S. Conditions of Growth and Cultivation of Oak Groves on the Plakors and Slopes of the Volga and Ergeninskaya Uplands and Plains of the Salo-Manych Interfluvium. Proceedings of Moscow University. Series 5: Geography. 2024. V. 79. № 3. Pp. 53-63.
3. Barabanov A. T. Principles of adaptive-landscape arrangement of the territory and the development of soil-protective systems of agriculture. Geography and Natural Resources. 2016. № 2. Pp. 19-26.
4. Iosus A. P., Zavyalov A. A., Kryuchkov S. N. Bioecological Characteristics of Tree Species in Growing Conditions in Dry Steppe. International Journal of Applied and Basic Research. 2018. № 10. Pp. 131-134.
5. Zhdanov Y. M., Barabanov A. T., Balychev R. D. Creation of the Structure of Forest Belts Providing Optimal Snow Deposition in Them and in the Fields. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2015. № 1 (37). Pp. 29-34.
6. Salugin A. N., Kulik K. N. Mathematical models and forecast of degradation of arid soil and plant systems. Arid ecosystems. 2024. V. 30. № 3 (100). Pp. 28-36.
7. Salugin A. N. On the Issue of Mathematical Modeling of the Evaporation Process. Arid ecosystems. 2023. V. 29. № 2 (95). Pp. 12-19.
8. Kulik K. N. et al. Global agroforestry projects and their implementation. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2024. V. 94. № 1. Pp. 55-65.
9. Salugin A. N., Kulik A. V., Uzolin A. I. Stochastic Modeling of the Influence of Protective Forest Plantations. Cauchy distribution. Russian Agricultural Science. 2021. № 3. Pp. 7-10.
10. Manaenkov A. S. On the Possibility of Forest Breeding on the Sands of Semi-Deserts. Forestry. 2012. № 5. Pp. 31-33.
11. Egorov S. A. et al. Selection of the Main Tree Species for the Creation of Objects of a Permanent Forest Seed Base in the Arid Zone. Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy. 2025. № 252. Pp. 6-21.
12. Manaenkov A. S., Surkhaev G. A., Surkhaev I. G. Features of afforestation of sandy lands of the Terek-Kum interfluvium with pine cultures. Forestry. 2010. № 5. Pp. 36-38.

Информация об авторах

Салугин Александр Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, ФБГНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97), ORCID 0000-0002-5443-7326, e-mail: saluginan@mail.ru

Мачулин Дмитрий Львович, аспирант, инженер-исследователь, ФБГНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97), ORCID 0009-0009-1013-4233, e-mail: dmachulin@yandex.ru

Authors' Information

Salugin Aleksander Nikolaevich, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), ORCID 0000-0002-5443-7326, e-mail: saluginan@mail.ru

Machulin Dmitry Lvovich, postgraduate student, Research Engineer, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), ORCID 0009-0009-1013-4233, e-mail: dmachulin@yandex.ru

**THE SAMPLE SIZE FOR DETERMINING THE ARITHMETIC MEAN HEIGHT OF THE TREES
IN THE FIELD-PROTECTIVE FOREST BELTS**

Sukhorukikh Yu. I., Biganova S. G., Kiyashkina E. O.

Maikop State Technological University
Maikop, Russian Federation

Corresponding author e-mail: drsuchor@rambler.ru

Received 24.07.2025

Submitted 04.09.2025

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project no. FZRG-2024-0012 Fundamental patterns of phytodiversity and ecological features of mountain forests of southern Russia.

Abstract

Introduction. Forest shelterbelts perform diverse functions in agricultural landscapes. One of the main parameters of these plantings is the average height of the trees growing in them. Determining this indicator with varying error values is related to the sample size. At present there are no systematized tabular data for assessing the indicator with varying error and the number of trees. The goal of the research is to establish the sample size for determining the average height of trees in forest shelterbelts with different error values and numbers of individuals. **The materials and methods.** The object of the research was the author's data on 10 calibration test plots of 5 tree species – English oak (*Quercus robur* L.), black locust (*Robinia pseudoacacia* L.), lanceolate ash (*Fraxinus lanceolata* B.), common ash (*Fraxinus excelsior* L.), honey locust (*Gleditschia triacanthos* L.) and 3 test plots – English oak and walnut (*Juglans regia* L.), laid in the middle and outer rows of forest shelterbelts in the North-West Caucasus. The heights were measured using an altimeter, the sample size was calculated using the standard method for an array of 30 to 5000 individuals with errors of 0.25, 0.5, 0.75, 1 m and a significance of $\alpha = 0.05$. **The results and conclusions.** With an increase in the number of plants in the forest shelterbelt, the sample size for establishing the average height of trees increases in numerical terms, but decreases in percentage terms. A decrease in the accuracy of height determination from 0.25 to 1 m leads to a decrease in the number of individuals in the sample with the same number of plants. The sample size has been determined for errors of 0.25, 0.5, 0.75 and 1 m. Random and uniform selection of trees for height measurements demonstrated close height values, and the errors in absolute terms do not exceed the target indicators. The recommended sample sizes adequately provide the required accuracy and can be used in studies to determine the average height of trees in forest shelterbelts.

Keywords: field-protective forest belts, sample size, measurement error, experimental reliability, random sample, uniform sample.

Citation. Sukhorukikh Yu. I., Biganova S. G., Kiyashkina E. O. The sample size for determining the arithmetic mean height of the trees in the field-protective forest belts. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 95-104 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-11.

The authors' contribution. All authors of the research were directly involved in the planning, implementation, or analysis of the research. All authors of the article have read and approved the presented final version.

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

УДК 630*266

**ОБЪЕМ ВЫБОРКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕАРИФМЕТИЧЕСКОЙ ВЫСОТЫ
ДЕРЕВЬЕВ В ПОЛЕЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОСАХ**

Сухоруких Ю. И., ведущий научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Биганова С. Г., доцент, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Кияшкина Е. О., младший научный сотрудник

ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет»
г. Майкоп, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FZRG-2024-0012 Фундаментальные закономерности фиторазнообразия и экологических особенностей горных лесов юга России).

Актуальность. Полезащитные лесные полосы выполняют разносторонние функции на аграрных ландшафтах. Одним из основных параметров этих насаждений является среднеарифметическая высота произрастающих в них деревьев. Определение этого показателя с различной величиной ошибки связано с объемом выборки. К настоящему времени систематизированные табличные данные для оценки показателя с различной ошибкой и численностью деревьев отсутствуют. Цель иссле-

дования – установить объем выборки для определения среднеарифметической высоты деревьев в полегающих лесных полосах при различной величине ошибки и численности особей. **Материалы и методы.** Объектом исследований являлись авторские данные о 10 калибровочных пробных площадях 5 древесных видов – дуба черешчатого (*Quercus robur* L.), робинии псевдоакалии (акация белая) (*Robinia pseudoacacia* L.), ясеня ланцетного (*Fraxinus lanceolata* B.), ясеня обыкновенного (*Fraxinus excelsior* L.), гледичии трёхколючковой (*Gleditschia triacanthos* L.) и 3 пробных площадях (тестирующих) – дуба черешчатого и ореха грецкого (*Juglans regia* L.), заложенных в срединных и крайних рядах полегающих лесных полос на Северо-Западном Кавказе. Измерения высот производились вышестоящим, расчет численности выборки стандартным методом для массива от 30 до 5000 особей при ошибках 0,25, 0,5, 0,75, 1 м и значимости $\alpha = 0,05$. **Результаты и выводы.** При увеличении количества растений в полегающей лесной полосе численность выборки для установления среднеарифметической высоты деревьев возрастает в численном, но уменьшается в процентном выражении. Снижение точности определения высоты с 0,25 до 1 м ведет к уменьшению количества особей в выборке при одинаковой численности растений. Определена численность выборки для ошибок 0,25, 0,5, 0,75 и 1 м. Отбор деревьев для измерения высот случайным и равномерным способом продемонстрировал близкие значения высот, а ошибки в абсолютном выражении не превышали целевых показателей. Рекомендуемые объемы выборок адекватно обеспечивают требуемую точность и могут быть использованы в исследованиях по определению среднеарифметической высоты деревьев в полегающих лесных полосах.

Ключевые слова: полегающие лесные полосы, численность выборки, ошибка измерения, достоверность опыта, выборка случайная, выборка равномерная.

Цитирование. Сухоруких Ю. И., Биганова С. Г., Кияшкина Е. О. Объем выборки для определения среднеарифметической высоты деревьев в полегающих лесных полосах. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 95-104. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-11.

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. Полегающие лесные полосы играют важную роль на агроландшафтах, повышая их устойчивость и продуктивность, увеличивая урожайность сельскохозяйственных культур, являясь источником древесины, технического и пищевого сырья, эффективно депонируют углерод и выполняют другие важные для человека и окружающей среды функции [1, 2, 3].

Одним из основных показателей этих объектов является высота растений, из которых создана полегающая лесная полоса [4, 5]. В исследованиях обычно используют среднеарифметическое значение этого показателя [6]. Его определение необходимо для различных целей, включая селекцию, оценку состояния, эффективность влияния на прилегающие территории ландшафтов, планирование системы защитных лесных насаждений и др. [2, 4]. Определение этого показателя связано с некоторыми особенностями, поскольку его величина может существенно отличаться во внутренних и внешних рядах полосных насаждений [7]. В зависимости от целей средние высоты вычисляются различными методами и могут различаться [8]. При этом нахождение значения среднеарифметической высоты деревьев с определенной погрешностью по ограниченной выборке от всей совокупности изучаемых особей используется во многих случаях [7-9]. Проблема установления объема выборки для получения достоверных результатов является основополагающей при проведении различных исследований [10], требует своего отдельного рассмотрения для конкретных объектов [11], не так проста, как может быть представлена на первый взгляд [12], а от ее адекватности зависит итог и достоверность всей работы [13, 14].

Несмотря на многочисленные разработки по оптимизации объема выборки для установления среднеарифметического значения изучаемых объектов в различных областях [10, 11, 15] однозначного ответа не получено [12]. Применяемые для этих целей статистические методы в основном ориентированы на значения дисперсии [13, 14], а в отдельных случаях коэффициента вариации [16] изучаемого показателя и заданной ошибки (погрешности). Также для получения адекватных результатов рекомендуется учитывать общую численность изучаемого показателя [13, 14, 16]. Не рассматривая все аспекты проблемы с позиций математической статистики, что является отдельным исследованием, выходящим за рамки данной работы, следует отметить общую закономерность, которая связана с необходимостью проведения работ по вычислению среднестатистических значений объема выборки для конкретных объектов [8, 12, 14]. В этих исследованиях рекомендуется исполь-

зовать отдельно калибровочные (используемые для разработки) и тестируемые (проверочные) выборки [17], а также минимизировать объем выборки без значимого снижения точности опыта [12, 14].

При вычислении математическим способом среднеарифметической высоты деревьев необходимо учитывать целевое назначение работ и сложившуюся практику [8]. Исходя из многолетних исследований нами рекомендуется для научных и практических целей использовать ошибки в абсолютных показателях со значением 0,25, 0,5, 0,75, 1 м при значимости $\alpha = 0,05$ и численности деревьев 30-5000 особей. В отношении полегающих лесных полос к настоящему времени отсутствуют специально разработанные систематизированные данные по установлению численности выборок для определения среднеарифметических высот в таких параметрах.

Цель исследования – вычисление значений объема выборки для определения среднеарифметической высоты деревьев в полегающих лесных полосах с ошибками 0,25-1 м при значимости $\alpha = 0,05$. Для решения поставленной цели осуществляли измерение высот на 10 калибровочных и 3 тестируемых пробных площадях в различных рядах полегающих полос 6 древесных пород в регионе Северо-Западного Кавказа, которые обрабатывались современными статистическими методами и программой Microsoft Excel.

Объекты и методика. Для определения объема выборки высот деревьев в качестве калибровочных использовались авторские литературные данные о 10 пробных площадях (ПП 1-ПП 10) 5 основных древесных видов (*Quercus robur* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Fraxinus lanceolata* B., *Fraxinus excelsior* L., *Gleditschia triacanthos* L) произрастающих в полегающих лесных полосах на Северо-Западном Кавказе. Указанные насаждения имеют хорошее состояние и нормальное статистическое распределение высот растений во внутренних и внешних рядах [7]. Для проверки метода заложено дополнительно 3 тестируемых пробных площади из дуба черешчатого (ПП 11 – 50 особей) и ореха грецкого (*Juglans regia* L.) – (ПП 12 – внутренний ряд, 100 особей, ПП 13 – внешний ряд, 200 особей). Высота растений определялась высоотомером отдельно в крайних и срединных рядах лесополос у каждого дерева. Вычисление табличного объема выборки установлено как среднее по калибровочным ПП с учетом погрешности 0,25, 0,5, 0,75 и 1 м для значимости $\alpha = 0,05$ известным широко применяемым методом [13, 14, 16], учитывающим погрешность, дисперсию и численность массива данных в пределах 30-5000 особей. Для опытной проверки из массивов тестируемых пробных площадей генерировались выборки в четырехкратной повторности. Обработку данных осуществляли с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение. Статистические показатели высот растений различных видов в крайних и срединных рядах полегающих лесных полос представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Статистические показатели высот деревьев в различных рядах полегающих лесных полос
Table 1 – Statistical indicators of tree heights in different rows of forest shelterbelts

№ ПП / № SP	Порода / Species	Ряд / Row	Высота, м / Height, m	Среднеквадратичное отклонение / Standard deviation	Объем выборки, шт. / Sample size, pcs.	Точность опыта, % / Experiment accuracy, %	Коэффициент вариации, % / Coefficient of variation, %
1	2	3	4	5	6	7	8
Калибровочные ПП							
ПП 1 / SP1	Гледичия трехколючковая / Honey locust	Внутренний / Inner	18,91	2,20	141	0,98	11,62
ПП 2 / SP2	Гледичия трехколючковая / Honey locust	Внешний / Outer	19,57	2,16	120	1,01	11,03
ПП 3 / SP3	Ясень обыкновенный / European ash	Внутренний / Inner	21,95	2,48	116	1,05	11,32
ПП 4 / SP4	Ясень обыкновенный / European ash	Внешний / Outer	20,08	2,57	132	1,12	12,82
ПП 5 / SP5	Акация белая / Acacia	Внутренний / Inner	15,21	2,16	120	1,30	14,22
ПП 6 / SP6	Акация белая / Acacia	Внешний / Outer	13,36	1,53	106	1,11	11,47

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
ПП 7 / SP7	Ясень зеленый / Green ash	Внутренний / Inner	17,17	1,67	124	0,88	9,75
ПП 8 / SP8	Ясень зеленый / Green ash	Внешний / Outer	17,12	2,28	121	1,21	13,32
ПП 9 / SP9	Дуб черешчатый / Common oak	Внутренний / Inner	17,44	1,95	122	1,01	11,18
ПП 10 / SP10	Дуб черешчатый / Common oak	Внешний / Outer	15,81	2,18	109	1,32	13,82
Тестируемые ПП / Tested FS							
ПП 11 / SP11	Орех грецкий / Walnut	Внутренний / Inner	9,92	1,39	100	1,25	14,01
ПП 12 / SP12	Орех грецкий / Walnut	Внешний / Outer	9,73	1,11	200	1,13	11,41
ПП 13 / SP13	Дуб черешчатый / Common oak	Внутренний / Inner	16,69	1,70	50	1,44	10,21

Примечание. ПП 1 – ПП 10 по Сухоруких и др., 2023 с добавлениями данных гр. 6, 7.

Note. SP 1 – SP 10 according to Sukhorukikh, et al., 2023 with the addition of data from columns 6, 7.

Из данных таблицы 1 следует, что средние высоты растений на калибровочных ПП 1 – 10 изменяются от 13,36 до 21,95 м, объемы выборки от 106 до 142 наблюдений, средняя точность опыта – 1,01 %. Это указывает на достаточный спектр изучаемых показателей для установления табличных значений объема выборки.

Таблица 2 – Средний объем выборки для определения среднеарифметической высоты деревьев в позахщитных лесных полосах при ошибке до 0,25 м

Table 2 – Average sample size for determining the average height of trees in forest shelterbelts with an error of up to 0.25 m

Пробная площадь / Sample plot	Численность выборки при количестве изучаемых особей, шт. / Sample size for the number of studied individuals studied, pcs.											
	30	50	100	150	200	300	500	1000	2000	3000	4000	5000
ПП 1 / SP1	27,44	43,10	75,19	100,34	120,00	150,00	186,31	228,97	258,57	270,21	276,44	280,31
ПП 2 / SP2	27,36	42,89	74,52	99,15	118,29	147,33	182,17	222,75	250,66	261,59	267,42	271,05
ПП 3 / SP3	27,96	44,43	79,47	108,10	131,40	168,25	215,66	274,96	318,79	336,68	346,40	352,50
ПП 4 / SP4	28,09	44,78	80,61	110,24	134,60	173,53	224,51	289,51	338,51	358,75	369,81	376,78
ПП 5 / SP5	27,37	42,91	74,59	99,27	118,46	147,60	182,59	223,38	251,46	262,46	268,33	271,98
ПП 6 / SP6	25,17	37,61	59,56	74,31	84,32	98,11	111,99	126,11	134,60	137,69	139,29	140,26
ПП 7 / SP7	25,85	39,19	63,76	80,97	93,10	110,20	128,21	147,06	158,73	163,04	165,29	166,67
ПП 8 / SP8	27,61	43,53	76,53	102,75	123,50	155,51	194,97	242,19	275,56	288,82	295,95	300,39
ПП 9 / SP9	26,82	41,54	70,43	92,04	108,22	132,03	159,13	189,25	209,03	216,58	220,56	223,02
ПП 10 / SP10	27,41	43,02	74,95	99,92	119,40	149,06	184,85	226,76	255,76	267,15	273,23	277,02
Среднее по ПП 1-ПП 10 / The average over SP1-SP10	27,11	42,30	72,96	96,71	115,13	143,16	177,04	217,09	245,17	256,30	262,27	266,00
Табличное значение (с округлением) / Table value (rounded)	28	43	73	97	116	144	178	218	246	257	263	266

На основе значений среднеквадратического отклонения, вычисленного для высот у различных видов и рядов определен расчетный объем выборки для погрешности 0,25-1 м на ПП 1 – ПП 10 (таблица 2-5). Поскольку численность деревьев является натуральным числом, то их среднеарифметическое количество округляется до целых в сторону увеличения и принимается в качестве табличного.

Из данных таблицы 2 следует, что доля требуемых для обследования растений при увеличении численности деревьев снижается и при количестве 30 особей составляет в среднем 93,33 %, а при численности 5000 деревьев – 4,12 %.

Расчетная численность выборок и их среднее значение для ошибки 0,5 м в различных рядах лесополос представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Средний объем выборки для определения среднеарифметической высоты деревьев в позахитных лесных полосах при ошибке до 0,5 м

Table 3 – Average sample size for determining the average height of trees in forest shelterbelts with an error of up to 0.5 m

Пробная площадь / Sample plot	Численность выборки при количестве изучаемых особей, шт. / Sample size for the number of studied individuals studied, pcs.											
	30	50	100	150	200	300	500	1000	2000	3000	4000	5000
ПП 1 / SP1	21,85	30,48	43,11	50,34	54,55	60,00	64,64	69,11	71,58	72,45	72,89	73,15
ПП 2 / SP2	21,64	30,06	42,23	49,16	53,15	58,31	62,67	66,86	69,17	69,97	70,38	70,63
ПП 3 / SP3	23,22	33,30	49,18	58,82	64,76	72,60	79,70	86,60	90,52	91,91	92,62	93,05
ПП 4 / SP4	23,59	34,09	50,97	61,40	67,95	76,63	84,63	92,45	96,93	98,52	99,34	99,84
ПП 5 / SP5	21,66	30,10	42,32	49,28	53,29	58,48	62,87	67,08	69,41	70,22	70,64	70,89
ПП 6 / SP6	16,97	21,57	26,91	29,56	30,83	32,50	33,65	34,82	35,44	35,65	35,76	35,82
ПП 7 / SP7	18,27	23,78	30,55	34,01	35,76	38,03	39,68	41,32	42,19	42,49	42,64	42,74
ПП 8 / SP8	22,28	31,35	44,91	52,82	57,51	63,60	68,89	73,99	76,83	77,82	78,33	78,64
ПП 9 / SP9	20,35	27,55	37,33	42,63	45,53	49,27	52,26	55,14	56,70	57,24	57,52	57,68
ПП 10 / SP10	21,78	30,33	42,80	49,92	54,05	59,40	63,94	68,31	70,72	71,57	72,00	72,26
Среднее по ПП 1- ПП 10 / The average over SP1-SP10	21,16	29,26	41,03	47,79	51,74	56,88	61,29	65,57	67,95	68,79	69,21	69,47
Табличное значение (с округлением) / Table value (rounded)	22	30	42	48	52	57	62	66	68	69	70	70

Согласно результатам, представленным в таблице 3, при ошибке до 0,5 м при возрастании численности деревьев в полосе количество особей, необходимых для измерения составляет при численности 30 растений – 73,33 %, 5000 растений – 1,4 %. При численности растений в полосе от 2000 до 5000 штук количество наблюдений возрастает незначительно – всего на 2 измерения.

Среднее количество растений в объеме выборки для определения высоты растений с ошибкой 0,75 м представлено в таблице 4.

По результатам таблицы 4 возможно отметить, что доля измеряемых высот деревьев при их численности в полосе 30 шт. составляет 53,33 %, а при 5000 – 0,64 %. При численности 150 растений и 5000 растений объем выборки возрастает незначительно – всего на 5 растений.

Таблица 4 – Средний объем выборки для определения среднеарифметической высоты деревьев в защитных лесных полосах при ошибке до 0,75 м

Table 4 – Average sample size for determining the average height of trees in forest shelterbelts with an error of up to 0.75 m

Пробная площадь / Sample plot	Численность выборки при количестве изучаемых особей, шт. / Sample size for the number of studied individuals studied, pcs.											
	30	50	100	150	200	300	500	1000	2000	3000	4000	5000
ПП 1 / SP1	16,31	20,48	25,19	27,50	28,57	30,00	30,95	31,94	32,46	32,64	32,73	32,78
ПП 2 / SP2	16,05	20,06	24,53	26,71	27,71	29,05	29,94	30,26	31,34	31,51	31,59	31,64
ПП 3 / SP3	18,10	23,49	30,07	33,42	35,10	37,28	38,86	40,43	41,27	41,55	41,70	41,79
ПП 4 / SP4	18,61	24,39	31,60	35,32	37,23	39,69	41,52	43,31	44,27	44,60	44,74	44,87
ПП 5 / SP5	16,07	20,10	24,59	26,79	27,80	29,15	30,04	30,97	31,46	31,62	31,71	31,76
ПП 6 / SP6	11,00	12,61	14,06	14,75	14,98	15,37	15,54	15,70	15,91	15,95	15,97	15,98
ПП 7 / SP7	12,27	14,36	16,35	17,30	17,65	18,18	18,45	18,80	18,98	19,04	19,07	19,08
ПП 8 / SP8	16,86	21,38	26,60	29,19	30,42	32,04	33,16	34,29	34,89	35,09	35,20	35,26
ПП 9 / SP9	14,51	17,65	20,93	22,50	23,17	24,10	24,66	25,28	25,60	25,71	25,77	25,80
ПП 10 / SP10	16,22	20,33	24,96	27,22	28,27	29,66	30,59	31,56	32,06	32,23	32,32	32,37
Среднее по ПП 1-ПП 10 / The average over SP1-SP10	15,60	19,49	23,89	26,07	27,09	28,45	29,37	30,32	30,82	31,00	31,08	31,13
Табличное значение (с округлением) / Table value (rounded)	16	20	24	27	28	29	30	31	31	31	32	32

Численность объема выборки по пробным площадям и среднее при ошибке 1 м представлено в таблице 5.

Таблица 5 – Средние объем выборки для определения среднеарифметической высоты деревьев в защитных лесных полосах при ошибке до 1 м

Table 5 – Average sample size for determining the average height of trees in forest shelterbelts with an error of up to 1 m

Пробная площадь / Sample plot	Численность выборки при количестве изучаемых особей, шт. / Sample size for the number of studied individuals studied, pcs.											
	30	50	100	150	200	300	500	1000	2000	3000	4000	5000
ПП 1 / SP1	12,04	14,04	15,92	16,82	17,14	17,65	17,90	18,22	18,39	18,45	18,47	18,49
ПП 2 / SP2	11,78	13,68	15,45	16,29	16,59	17,07	17,29	17,60	17,75	17,81	17,83	17,85
ПП 3 / SP3	13,84	16,63	19,48	20,83	21,38	22,18	22,63	23,15	23,42	23,52	23,56	23,59
ПП 4 / SP4	14,37	17,44	20,63	22,15	22,80	23,70	24,23	24,84	25,15	25,25	25,31	25,34
ПП 5 / SP5	11,81	13,72	15,50	16,35	16,65	17,12	17,35	17,66	17,82	17,87	17,90	17,91
ПП 6 / SP6	7,37	7,97	8,43	8,67	8,71	8,84	8,86	8,94	8,98	8,99	9,00	9,00
ПП 7 / SP7	8,40	9,24	9,91	10,25	10,32	10,50	10,55	10,66	10,72	10,74	10,75	10,75
ПП 8 / SP8	12,57	14,79	16,93	17,95	18,33	18,91	19,21	19,58	19,78	19,84	19,88	19,89
ПП 9 / SP9	10,35	11,74	12,96	13,54	13,73	14,05	14,18	14,38	14,48	14,52	14,54	14,55
ПП 10 / SP10	11,95	13,91	15,76	16,63	16,95	17,44	17,68	18,00	18,16	18,22	18,25	18,26
Среднее по ПП 1-ПП 10 / The average over SP1- SP10	11,45	13,32	15,10	15,95	16,26	16,75	16,99	17,30	17,47	17,52	17,55	17,56
Табличное значение (с округлением) / Table value (rounded)	12	14	16	16	17	17	17	18	18	18	18	18

Как следует из данных таблицы 5 доля выборки для ошибки 1 м составляет 40 % при изучении 30 деревьев и 0,36 % при 5000 особей. Отличие в численности массивов данных в изучаемых пределах составляет 1,67 раз, а в размере выборки для планируемой ошибки в 1 м всего на 4 растения.

При исследовании показателя могут применяться методы случайной и равномерной выборки [14, 16]. Величина ошибок для данных методов при установлении средней высоты деревьев в полевых полосах на основе табличных значений численности выборки (таблица 2-5) по сравнению со среднеарифметической высотой, определенной при учете для всех особей, представлена на рисунке.

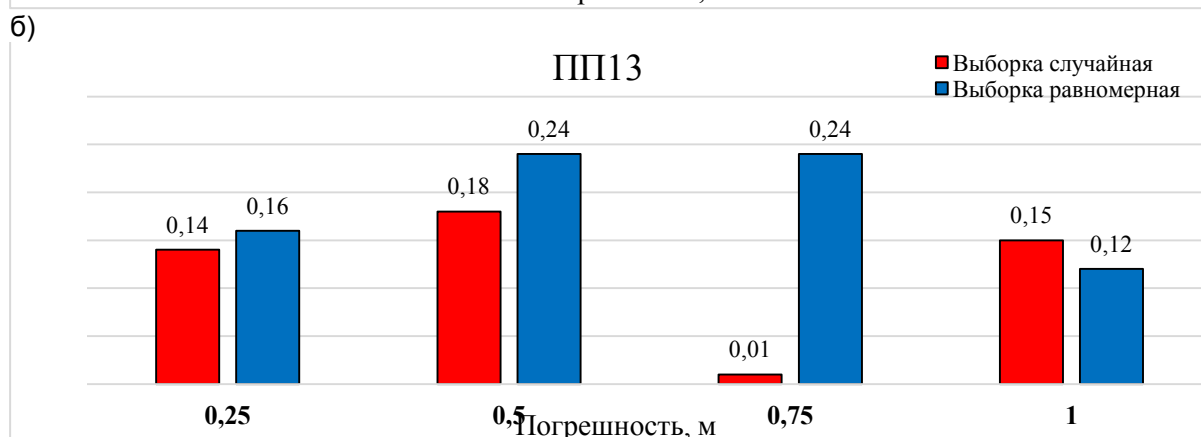
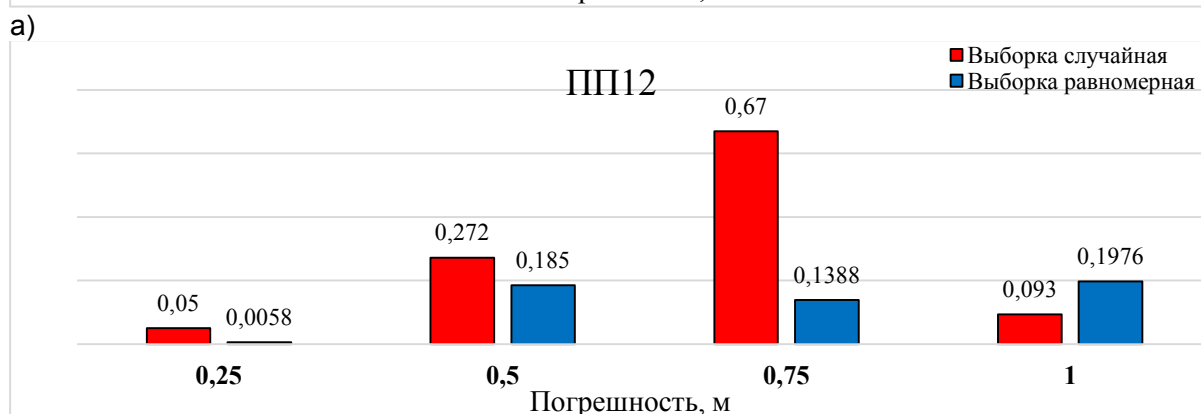
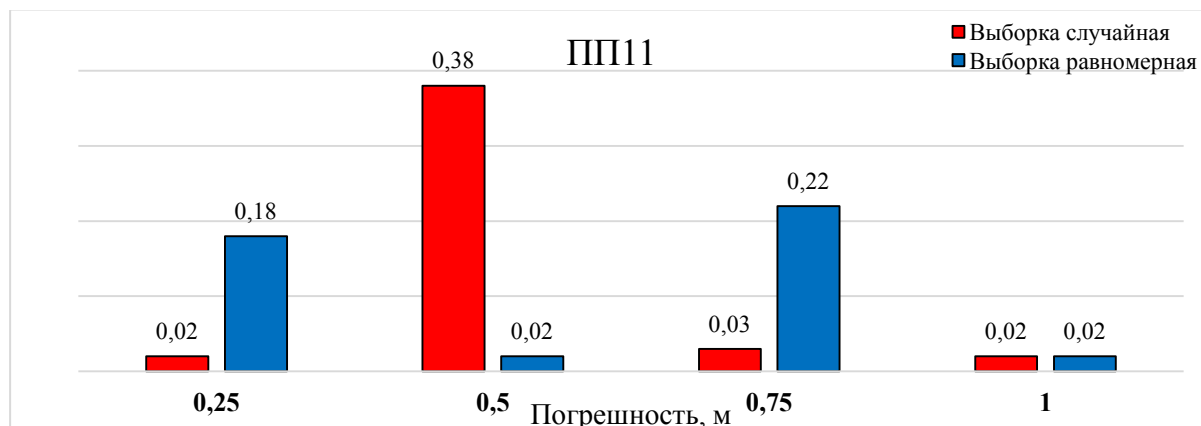


Рисунок – Величина ошибок высот, определяемых по табличной численности выборки и учеты всех деревьев при равномерной и случайной выборке:

а) численность 50 особей; б) численность 100 особей; в) численность 200 особей
Figure – The magnitude of height errors determined by the tabular sample size and the count of all trees with uniform and random sampling:
a) a population of 50 individuals; b) a population of 100 individuals; c) a population of 200 individuals

Как следует из рисунка, использование обоих методов определения среднеарифметических высот деревьев в полегающих лесных полосах дают близкие значения, которые не превышают планируемую погрешность 0,25-1 м.

Дополнительно для проверки объективности табличных значений численности выборок (таблица 2-5) на калибровочных ПП11-ПП13 в четырехкратной повторности осуществлены вычисления погрешностей при нахождении высот при ошибках 0,25-1 м. Полученные результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Отклонения высот деревьев в полегающих лесных полосах, вычисленных по табличным значениям численности измерений от результатов учета всех особей
Table 6 – Deviations in tree heights in forest shelterbelts calculated using tabular values of the number of measurements from the results of the count of all individuals

Величина погрешности, м / Magnitude of error, m	Пробная площадь, численность / Sample plot, population	Отклонения высот, м / % по выборкам / Height deviations, m / % by samples				
		1	2	3	4	Среднее / Arithmetic mean
0,25	ПП 11, 50 шт. / SP11, 50 pcs.	0,11 / 0,66	0,0007 / 0,0	0,24 / 1,44	0,11 / 0,66	0,12 / 0,69
	ПП 12, 100 шт. / SP12, 100 pcs.	0,09 / 0,76	0,09 / 0,79	0,28 / 2,39	0,11 / 0,94	0,14 / 1,22
	ПП 13, 200 шт. / SP13, 200 pcs	0,25 / 2,13	0,10 / 0,86	0,13 / 1,11	0,09 / 0,82	0,14 / 1,23
0,5	ПП 11, 50 шт. / SP11, 50 pcs.	0,04 / 0,26	0,25 / 1,50	0,14 / 0,82	0,48 / 2,90	0,23 / 1,37
	ПП 12, 100 шт. / SP12, 100 pcs.	0,12 / 1,08	0,08 / 0,73	0,33 / 2,88	0,22 / 1,91	0,19 / 1,65
	ПП 13, 200 шт. / SP13, 200 pcs	0,14 / 1,19	0,20 / 1,74	0,21 / 1,81	0,23 / 2,02	0,20 / 1,69
0,75	ПП 11, 50 шт. / SP11, 50 pcs.	0,14 / 0,81	0,17 / 1,02	0,19 / 1,17	0,09 / 0,57	0,15 / 0,89
	ПП 12, 100 шт. / SP12, 100 pcs.	0,14 / 1,18	0,14 / 1,18	0,64 / 5,52	0,32 / 2,73	0,31 / 2,65
	ПП 13, 200 шт. / SP13, 200 pcs	0,39 / 3,36	0,03 / 0,29	0,39 / 3,39	0,39 / 3,39	0,30 / 2,61
1	ПП 11, 50 шт. / SP11, 50 pcs.	0,87 / 5,20	0,37 / 2,21	0,98 / 5,87	0,17 / 1,00	0,60 / 3,57
	ПП 12, 100 шт. / SP12, 100 pcs.	0,50 / 4,31	0,17 / 1,47	0,37 / 3,23	0,64 / 5,55	0,42 / 3,64
	ПП 13, 200 шт. / SP13, 200 pcs	0,31 / 2,71	0,32 / 2,76	0,17 / 1,47	0,13 / 1,17	0,23 / 2,03

Результаты таблицы 6 показывают, что при определении высот растений в полегающих лесных полосах по предлагаемым объемам выборки (таблица 2-5) отличия показателей изменяются в пределах расчетных ошибок. Это свидетельствует об адекватности предлагаемой численности выборок при определении среднеарифметической высоты деревьев в полегающих лесных полосах.

Заключение. На основе проведенных исследований установлено, что при количестве растений в полегающих лесных полосах от 30 до 5000 особей с возрастанием ошибок вычисляемая от 0,25 до 1 м доля выборки деревьев для установления среднеарифметической высоты деревьев уменьшается в 2,33-14,78 раз. Предлагаемые объемы выборок адекватны при равномерном и случайном способе отбора и обеспечивают нахождение средних высот деревьев в полегающих лесных полосах в пределах расчетных ошибок.

Conclusions. Based on the conducted studies, it has been established that with the number of plants in forest shelterbelts from 30 to 5000 individuals with an increase in calculation errors from 0.25 to 1 m, the proportion of tree sampling for establishing the average height of trees decreases by 2.33-14.78 times. The proposed sample sizes are adequate for uniform and random sampling and ensure that the average heights of trees in forest shelterbelts are within the limits of calculation errors.

Библиографический список

1. Кулик К. Н. и др. Глобальные проекты агролесомелиорации и их реализация. Вестник Российской академии наук. 2024. Т. 94. № 1. С. 55-65.
2. Михин В. И., Михина Е. А. Лесоводственно-мелиоративные особенности полезащитных насаждений Краснодарского края. Успехи современного естествознания. 2021. № 12. С. 218-222.
3. Kulik K. N., Belyaev A. I., Pugacheva A. M. The Role of Protective Afforestation in Drought and Desertification Control in Agro-Landscapes. Arid Ecosystems. 2023. Vol. 13. No. 1. Pp. 1-10.
4. Беляков А. М., Кошелев А. В., Назарова М. В. Обоснование сбалансированной модели агролесомелиоративного комплекса сухостепной зоны каштановых почв юга Российской Федерации. Известия НВ АУК. 2025. № 2 (80). С. 20-27.
5. Liulchik V. et al. Scientific and methodological approaches to the development of land management working projects connected with the creation field protective forest strips. Environmental sciences. 2020. Vol. 31. No. 4.
6. Сауткина М. Ю., Кузнецова Н. Ф., Тунякин В. Д. Современное состояние полезащитных лесных полос с преобладанием дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в Каменной Степи. Лесохозяйственная информация. 2018. № 1. С. 78-89.
7. Сухоруких Ю. И. и др. Критерии отбора плюсовых деревьев для защитного лесоразведения. Новые технологии. 2023. Т. 19. № 1. С. 69-79.
8. Анучин Н. П. Лесная таксация. Лесная промышленность, 1971. 512 с.
9. Тахмазов Т. М. Исследование общего количества надземной биомассы в лесах в зависимости от взаимосвязи высоты и диаметра ствола деревьев. Природные системы и ресурсы. 2023. Т. 13. № 1. С. 17-23.
10. Nelson M. S., Wooditch A., Dario L. M. Sample size, effect size, and statistical power: a replication study of Weisburd's paradox. Journal of Experimental Criminology. 2015. Vol. 11. No. 1. Pp. 141-163.
11. Alves S. R. M. et al. Morpho-Agronomic Characterization, Sample Size, and Plot Size for the Evaluation of Capsicum chinense Genotypes. Horticulturae. 2022. Vol. 8. No. 9. P. 785.
12. Орлов А. И. Какой объем выборки целесообразно использовать? Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2024. № 197. С. 123-149.
13. Биганова С. Г. Биометрия. Санкт-Петербург: Лань, 2024. 132 с.
14. Шмойлова Р. А., Минашкин В. Г., Садовникова Н. А., Шувалова Е. Б. Теория статистики. М.: Финансы и статистика, 2004. 656 с.
15. Коденко М. Р. и др. Эмпирический метод расчета размера выборки для тестирования алгоритмов искусственного интеллекта. Доклады Российской академии наук. Математика, информатика, процессы управления. 2024. Т. 520. № S2. С. 71-84.
16. Елисеева И. И., Юзбашев М. М. Общая теория статистики. Москва: Финансы и статистика, 2006.
17. Homeyer A. et al. Recommendations on compiling test datasets for evaluating artificial intelligence solutions in pathology. Modern Pathology. 2022. V. 35. № 12. Pp. 1759-1769.
18. Dal Canton L. E. et al. Reduction of Sample Size in the Soil Physical-Chemical Attributes Using the Multivariate Effective Sample Size. Journal of Agricultural Studies. 2021. Vol. 9. No. 1. P. 357.

References

1. Global Agroforestry Projects and Their Implementation. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2024. V. 94. № 1. Pp. 55-65.
2. Mikhin V. I., Mikhina E. A. Forestry and Reclamation Features of Field-Protective Plantations of the Krasnodar Region. Advances in modern natural science. 2021. № 12. Pp. 218-222.
3. Kulik K. N., Belyaev A. I., Pugacheva A. M. The Role of Protective Afforestation in Drought and Desertification Control in Agro-Landscapes. Arid Ecosystems. 2023. Vol. 13. No. 1. Pp. 1-10.
4. Belyakov A. M., Koshelev A. V., Nazarova M. V. Substantiation of a Balanced Model of the Agroforestry Reclamation Complex of the Dry Steppe Zone of Chestnut Soils in the South of the Russian Federation. Izvestiya NV AUK. 2025. № 2 (80). Pp. 20-27.
5. Liulchik V. et al. Scientific and methodological approaches to the development of land management working projects connected with the creation field protective forest strips. Environmental sciences. 2020. Vol. 31. No. 4.
6. Sautkina M. Yu., Kuznetsova N. F., Tunyakin V. D. Current state of field-protective forest belts with predominance of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in the Kamennaya Steppe. Forestry information. 2018. № 1. Pp. 78-89.
7. Sukhorukikh Y. I., et al. Criteria for the selection of plus trees for protective afforestation. New technologies. 2023. V. 19. № 1. Pp. 69-79.
8. Anuchin N. P. Forest Taxation. Timber Industry, 1971. 512 p.
9. Takhmazov T. M. Study of the total amount of above-ground biomass in forests depending on the relationship between the height and diameter of the tree trunk. Natural systems and resources. 2023. V. 13. № 1. Pp. 17-23.
10. Nelson M. S., Wooditch A., Dario L. M. Sample size, effect size, and statistical power: a replication study of Weisburd's paradox. Journal of Experimental Criminology. 2015. Vol. 11. No. 1. Pp. 141-163.
11. Alves S. R. M. et al. Morpho-Agronomic Characterization, Sample Size, and Plot Size for the Evaluation of Capsicum chinense Genotypes. Horticulturae. 2022. Vol. 8. No. 9. P. 785.
12. Orlov A. I. What Sample Size Should Be Used? Polythematic Network Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University. 2024. № 197. Pp. 123-149.
13. Biganova S. G. Biometrics. St. Petersburg: Lan, 2024. 132 p.
14. Shmoylova R. A., Minashkin V. G., Sadovnikova N. A., Shuvalova E. B. Theory of statistics. Moscow, Finance and Statistics Publ., 2004. 656 p.
15. Empirical method for calculating sample size for testing artificial intelligence algorithms. Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Mathematics, Computer Science, Control Processes. 2024. V. 520. № S2. Pp. 71-84.
16. Eliseeva I. I., Yuzbashev M. M. General Theory of Statistics. Moscow: Finance and Statistics, 2006.
17. Homeyer A. et al. Recommendations on compiling test datasets for evaluating artificial intelligence solutions in pathology. Modern Pathology. 2022. V. 35. № 12. Pp. 1759-1769.
18. Dal Canton L. E. et al. Reduction of Sample Size in the Soil Physical-Chemical Attributes Using the Multivariate Effective Sample Size. Journal of Agricultural Studies. 2021. Vol. 9. No. 1. P. 357.

Информация об авторах

Сухоруких Юрий Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ведущий научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет» (Российская Федерация, 385000, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191), e-mail: drsuchor@rambler.ru

Биганова Светлана Герсановна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет» (Российская Федерация, 385000, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191), e-mail: svetlanabiganowa@yandex.ru

Кияшкина Екатерина Олеговна, младший научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет», (Российская Федерация, 385000, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191), e-mail: bigkatia@yandex.ru

Authors' Information

Sukhorukikh Yuriy Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Leading Researcher, Maikop State Technological University (Russian Federation, 385000, Republic of Adygea, Maikop, Pervomaiskaya str., 191), e-mail: drsuchor@rambler.ru

Biganova Svetlana Gersanovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department, Maikop State Technological University (Russian Federation, 385000, Republic of Adygea, Maikop, Pervomaiskaya str., 191), e-mail: svetlanabiganowa@yandex.ru

Kiyashkina Ekaterina Olegovna, Junior Researcher, Maikop State Technological University (Russian Federation, 385000, Republic of Adygea, Maikop, Pervomaiskaya str., 191), e-mail: bigkatia@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-12

THE FEATURES OF THE SUNFLOWER GROWTH AND DEVELOPMENT DEPENDING ON THE PRE-SOWING SEED TREATMENT METHOD

¹Aksenov M. P., ¹Petrov N. Yu., ²Belyaev A. I., ²Petrov Yu. N., ¹Gorbacheva A. S., ³Salaev B. K., ³Bolaev B. K., ³Kurepina N. L., ³Batyrov V. A.

¹Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

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

³Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov
Elista, Russian Federation

Corresponding author E-mail: npetrov60@list.ru

Received 15.10.2025

Submitted 23.11.2025

This study was conducted within the framework of the State Assignment "Digital Technologies for Managing Agroforestry Systems Based on Mathematical Modeling, Dynamic Characteristics of Biological Productivity of the Forest Belts and Agricultural Phytocenoses in the Changing Climate of Southern Russia".

Abstract

Introduction. Increasing sunflower yields in the Volgograd region is an urgent task that requires an integrated approach. The genetically determined yield of sunflower hybrids is 4-4.5 t/ha, but in fact the average yield does not exceed 1.6 t/ha. Despite this, there are farms where yields reach 2.5-3.0 t/ha, which indicates a significant potential for increasing yields and reducing costs. The key to a high yield is the quality of seeds, soil fertility; methods of its treatment, weed suppression and protection of plants from pests. One of the effective methods of increasing the germination and energy of seed growth is pre-sowing treatment. Traditional agricultural practices include treatment with growth stimulants, but in recent years, more and more attention has been paid to innovative electrical technologies that have advantages in terms of environmental safety. Pre-sowing treatment of seeds in an alternating voltage electric field, electromagnetic field and microwave fields showed a significant increase in germination and growth energy, as well as an increase in yield. However, very few studies have been conducted on the effect of pre-sowing treatment of sunflower seeds in an alternating voltage electric field on plant growth and development, and they have not always been characterized by technological completeness. Thus, in order to increase sunflower yields in the Volgograd region, it is necessary: 1. The improving the quality of seeds and increasing their germination and growth energy through pre-sowing treatment. 2. Optimization of agricultural techniques, including tillage and protection of plants from pests and weeds. 3. The introduction of innovative electrical technologies, such as seed treatment in an electric field of alternating voltage, electromagnetic field and microwave fields. These measures will significantly increase the yield of sunflower and reduce the cost of its cultivation.

Materials and methods. In modern agriculture, the search for effective methods to increase yields and reduce costs is a priority. One of the promising directions is the use of pre-sowing seed treatment, which can significantly improve plant growth and development. In this work, the effect of pre-sowing treatment of sunflower seeds of the hybrids Fortuna, EU Bella, EU Petunia in an electric field of alternating voltage and a plant growth regulator was studied. Sunflower seeds of the Fortuna, EU Bella, and EU Petunia hybrids were used in the study. Pre-sowing seed treatment was carried out in an alternating voltage electric field and using a plant growth regulator. To assess the effectiveness of the treatment, observations were made on the duration of the interphase periods of plants.

Results and discussion. The results of the study showed that

pre-sowing treatment of seeds with an electric field and a growth regulator has a positive effect on the duration of interphase periods. The germination – basket formation period decreased by 1-5 days, the basket formation-flowering phase increased by 3-6 days, and the flowering-ripening phase by 2-5 days. This indicates that seed treatment promotes faster plant development and improved productivity. The use of pre-sowing treatment of sunflower seeds in an alternating voltage electric field and a plant growth regulator can be an effective tool for increasing yields and reducing costs in the Volgograd region. Further research in this area may lead to the development of new technologies that will significantly improve agricultural performance and increase its economic efficiency.

Keywords: sunflower hybrids, pre-sowing treatment of sunflower seeds, plant growth regulators, seed treatment methods.

Citation. Aksenov M. P., Petrov N. Yu., Belyaev A. I., Petrov Yu. N., Gorbacheva A. S., Salaev B. K., Bolaev B. K., Kurepina N. L., Batyrov V. A. The features of the sunflower growth and development depending on the pre-sowing seed treatment method. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 104-114 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-12.

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 631.53.027:633.854.78

ОСОБЕННОСТИ РОСТА И РАЗВИТИЯ ПОДСОЛНЕЧНИКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБА ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН

¹Аксенов М. П., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

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

²Беляев А. И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

²Петров Ю. Н., кандидат сельскохозяйственных наук

¹Горбачева А. С., кандидат экономических наук, доцент

³Салаев Б. К., доктор биологических наук, профессор

³Болаев Б. К., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

³Курепина Н. Л., доктор экономических наук, профессор

³Батыров В. А., доктор сельскохозяйственных наук

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, Российская Федерация

Исследование выполнено в рамках Гос. задания «Цифровые технологии управления агролесосистемами на основе математического моделирования, динамических характеристик биопродуктивности лесных полос и агрофитоценозов в условиях изменяющегося климата Юга России».

Актуальность. Повышение урожайности подсолнечника в Волгоградском регионе – актуальная задача, требующая комплексного подхода. Генетически заложенная урожайность гибридов подсолнечника составляет 4-4,5 т/га, однако фактически средняя урожайность не превышает 1,6 т/га. Несмотря на это, есть хозяйства, где урожайности достигает 2,5-3,0 т/га, что свидетельствует о значительном потенциале для повышения урожайности и снижения затрат.

Залогом высокого урожая являются качество семян, плодородие почвы, способы ее обработки, подавление сорняков и защита растений от вредителей. Одним из эффективных методов повышения всхожести и энергии роста семян является предпосевная обработка. Традиционные агроприемы включают обработку стимуляторами роста, но в последние годы все большее внимание уделяется инновационным электротехнологиям, которые обладают преимуществами в плане экологической безопасности.

Предпосевная обработка семян в электрическом поле переменного напряжения, электромагнитном поле и СВЧ полях показала значительное повышение всхожести и энергии роста, а также увеличение урожайности. Однако исследований по влиянию предпосевной обработки семян подсолнечника в электрическом поле переменного напряжения на рост и развитие растений проводилось крайне мало, и они не всегда характеризовались технологической законченностью.

Таким образом, для повышения урожайности подсолнечника в Волгоградском регионе необходимо:

1. Улучшение качества семян и повышение их всхожести и энергии роста путем предпосевной обработки.

2. Оптимизация агротехнических приемов, включая обработку почвы и защиту растений от вредителей и сорняков.

3. Внедрение инновационных электротехнологий, таких как обработка семян в электрическом поле переменного напряжения, электромагнитном поле и СВЧ полях.

Эти меры позволяют значительно повысить урожайность подсолнечника и снизить затраты на его выращивание.

Материалы и методы. В современном сельском хозяйстве поиск эффективных методов повышения урожайности и снижения затрат является приоритетной задачей. Одним из перспективных направлений является использование предпосевной обработки семян, которая может значительно улучшить показатели роста и развития растений. В данной работе изучалось влияние предпосевной обработки семян подсолнечника гибридов Фортуна, ЕС Белла, ЕС Петуния в электрическом поле переменного напряжения и регулятором роста растений. В исследовании использовались семена подсолнечника гибридов Фортуна, ЕС Белла, ЕС Петуния. Предпосевная обработка семян проводилась в электрическом поле переменного напряжения с использованием регулятора роста растений.

Результаты и обсуждение. Результаты показали, что предпосевная обработка семян электрическим полем и регулятором роста оказывает положительное влияние на продолжительность межфазных периодов. Период всходы – образование корзинки сокращался на 1-5 дней, фаза образование корзинки – цветение увеличивалась на 3-6 дней, а фаза цветение – созревание – на 2-5 дней. Это свидетельствует о том, что обработка семян способствует более быстрому развитию растений и улучшению их продуктивности. Применение предпосевной обработки семян подсолнечника в электрическом поле переменного напряжения и регулятором роста растений может стать эффективным инструментом для повышения урожайности и снижения затрат в Волгоградском регионе. Дальнейшие исследования в этом направлении могут привести к разработке новых технологий, которые позволят значительно улучшить показатели сельского хозяйства и повысить его экономическую эффективность.

Ключевые слова: гибриды подсолнечника, предпосевная обработка семян подсолнечника, регуляторы роста растений, способы обработки семян.

Цитирование. Аксенов М. П., Петров Н. Ю., Беляев А. И., Петров Ю. Н., Горбачева А. С., Салаев Б. К., Болаев Б. К., Курепина Н. Л., Батыров В. А. Особенности роста и развития подсолнечника в зависимости от способа предпосевной обработки семян. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 104-114. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-12.

Авторский вклад. Авторы данного исследования принимали непосредственное участие в планировании, закладке, проведении опытного эксперимента и обработке результатов исследований. Все авторы ознакомлены с содержанием статьи и одобрили окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Растительное масло играет важную роль в рационе населения и промышленном производстве многих стран мира. Среди различных видов растительного масла особое место занимает подсолнечное масло, которое традиционно востребовано на российском рынке и активно экспортируется за рубеж.

Россия располагает большим потенциалом для развития производства подсолнечного масла благодаря благоприятным климатическим условиям и наличию значительных земельных ресурсов. Основными масличными культурами, выращиваемыми в стране, являются подсолнечник, соя и рапс, на долю которых приходится примерно 95 % общего объема производства маслосемян. Подсолнечник доминирует среди этих культур, составляя около 80 % валового сбора маслосемян (Fatportal.ru).

Объем производства подсолнечного масла демонстрирует положительную динамику. За последние семь лет, согласно данным Росстата, производство увеличилось с 5722 тысяч тонн в 2015 году до 9457 тысяч тонн в 2024 году. Рост производства сопровождается расширением внутреннего потребления и активным развитием экспорта. Например, внутренний российский рынок увеличил потребление подсолнечного масла с 5425 тысяч тонн в 2015 году до 7782 тысяч тонн в 2024 году. Особенно заметен рост экспорта, который возрос на 85 %, достигнув отметки в 3528 тысяч тонн в 2024 году (RBC).

Сырьевые ресурсы для получения подсолнечного масла: физико-химические параметры и механизмы государственной поддержки.

Основой отечественного масложирового комплекса выступает семенной материал *Helianthus annuus* L., характеризующийся рядом значимых показателей качества. Ключевыми параметрами оценки сырьевой базы выступают продуктивность посевов, жирнокислотный состав липидного компонента и показатели всхожести семян. Оптимизация агротехнических мероприятий способствует увеличению коэффициентов извлечения растительных масел и минимизирует технологические отходы.

Особое значение приобретает участие государства в регулировании сектора производства подсолнечных масел посредством внедрения механизмов субсидирования аграриев, предоставления налоговых преференций и специальных кредитных линий. Примером эффективной стратегии контроля внешней торговли служит применение дифференцированных таможенных ставок на экспортируемую продукцию растительного происхождения. Так, в конце октября 2025 г. был осуществлен пересмотр ставки вывозной таможенной пошлины на подсолнечные масла, установлен лимит тарифа в размере 6813,6 руб./тонна, что позитивно сказалось на экспорте и укрепило конкурентоспособность отечественных предприятий на глобальном продовольственном рынке.

Инновационные подходы к производству включают внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами, модернизацию оборудования и использование экологически чистых технологий. Применение таких технологий повышает производительность труда, снижает энергозатраты и улучшает качество конечного продукта. Особое значение приобретает разработка эффективных методов предварительной обработки семян, включая воздействие электромагнитных полей и регуляторов роста, что позволяет улучшить посевные качества семян и увеличить урожайность (Panor.ru).

Подсолнечное масло представляет собой значимый компонент отечественной пищевой промышленности, производящийся из семян однолетнего растения *Helianthus annuus* L., обладающего специфическими физико-химическими параметрами, непосредственно влияющими на качественные показатели готового продукта.

Физико-химические параметры подсолнечного масла.

1. **Урожайность сельскохозяйственных культур** – ключевое значение данного показателя отражает выход сырьевой массы с единичной территории возделывания. Увеличение показателей урожайности создает условия для масштабирования производственных мощностей и снижения удельных затрат.

2. **Состав жирных кислот липиды содержащего компонента** – оказывает непосредственное влияние на биологическую питательность и эксплуатационные характеристики полученного продукта. Сбалансированный профиль жирных кислот гарантирует высокие потребительские качества и стойкость к окислительным процессам.

3. **Процент жизнеспособности семенного фонда** – обуславливает эффективность репродуктивного цикла растений и стабильность выхода качественного урожая. Повышение процента прорастания семян существенно снижает вероятность рисков, сопряженных с потерей посевного материала.

Адаптация научно обоснованных методов земледелия, включая селекционный отбор перспективных сортов, оптимальное распределение временных рамок посева и рациональное использование минеральных удобрений, ведет к повышению эффективности процесса выделения растительных жиров и сокращению объемов сопутствующих отходов переработки.

Институциональные инструменты государственной поддержки отрасли.

На уровне государства реализуется ряд мер по поддержке подсектора подсолнечника и производственной инфраструктуры перерабатывающих предприятий. Основными направлениями такой поддержки являются:

1. **Финансово-кредитная поддержка сельхозпроизводителей** – целевые субсидии направляются субъектам хозяйствования для укрепления экономического потенциала и повышения уровня рентабельности деятельности.

2. **Предоставление налоговых стимулов** – система гибких налоговых режимов уменьшает налоговую нагрузку на производителя, высвобождая дополнительные средства для технического перевооружения и модернизации производств.

3. **Создание специализированных кредитных линий** – предоставляются льготные кредиты, предназначенные для реализации инвестиционных проектов в сфере агробизнеса.

4. **Регулирование экспортно-импортных операций через дифференцированную систему таможенных пошлин** – установление квот и варьируемых размеров тарифов стимулирует развитие экспорта подсолнечного масла. Так, осенью 2025 г. были скорректированы размеры вывозных таможенных платежей, введена фиксированная ставка в размере 6813,6 рублей за тонну готовой продукции, что благоприятствовало активному выходу отечественных компаний на международные рынки и закреплению лидирующих позиций на международном рынке пищевых товаров.

Совокупность указанных подходов, обеспечивающих эффективное использование ресурсов сырьевой базы и целенаправленную государственную поддержку отрасли, способствует устойчивому функционированию и динамичному росту российского масложирного комплекса, укреплению его конкурентных преимуществ на международной арене.

Целью наших исследований являлось сравнение способов предпосевной обработки семян подсолнечника регулятором роста Зеребра Агро и электрическим полем переменного напряжения промышленной частоты напряженностью 8 кВ/см на рост и развитие растений подсолнечника, возделываемого в зоне черноземных почв Волгоградского региона.

Материалы и методы. В период с 2021 по 2023 год в КФХ Егорушин А. Ю., расположенном в Михайловском районе Волгоградской области, был проведен двухфакторный полевой опыт с целью изучения влияния различных факторов на урожайность подсолнечника. Исследование проводилось на черноземе южном маломощном, характеризующемся щелочной реакцией почвы (рН 7,59), содержанием гумуса от 4,70 до 4,83 %, азота – 100,7 мг/кг, калия – 340,5-346,2 мг/кг и фосфора – 35,18-40,76 мг/кг. Максимальная гигроскопичность почвы в слое 0-1 м составила 9,74 %, а влажность завядания – 13,05 %. Факторы исследования:

Фактор А: Гибриды подсолнечника.

В рамках исследования изучались три гибрида подсолнечника:

1. Фортуна.
2. ЕС Белла.
3. ЕС Петуния.

Фактор В: Способ предпосевной обработки семян.

Влияние на урожайность изучалось при двух способах предпосевной обработки семян:

1. Обработка семян в электрическом поле переменного напряжения с оптимальными параметрами: напряженность электрического поля 8 кВ/см, время обработки 1 минута.
2. Обработка семян регулятором роста Зеребра Агро: приготовление рабочего раствора из 100 мл препарата и 1 литра воды, на 100 кг обрабатываемых семян.

Технология обработки почвы соответствовала региональным рекомендациям и включала:

- Двухкратное дисковое лущение стерни.
- Отвальную вспашку на глубину 0,28 м.
- Весеннюю предпосевную обработку почвы, включающую:
 - Покровное боронование для выравнивания поля и закрытия влаги.
 - Культивацию на глубину 0,08-0,1 м.
 - Предпосевную культивацию на глубину 0,06-0,08 м.

Высев семян проводился во второй декаде мая за один день с помощью сеялки точного высева СПБ-8 с нормой высева 60 000 всхожих семян на гектар.

Проведенный двухфакторный полевой опыт позволил оценить влияние различных гибридов подсолнечника и способов предпосевной обработки семян на урожайность культуры. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации агротехнических мероприятий и повышения эффективности производства подсолнечника в условиях Волгоградской области.

Результаты и обсуждение. Высокая урожайность подсолнечника определяется множеством аспектов, ключевыми из которых выступают:

- Строгое соблюдение технологий выращивания.
- Качество посевного материала.
- Устойчивость сорта к заболеваниям на генетическом уровне.
- Уровень плодородия почв, характеризующийся наличием гумуса и необходимых микроэлементов.
- Оптимальные климатические условия на протяжении всего периода вегетации растения.

Воздействие внешних факторов на рост подсолнечника.

Рост и развитие подсолнечника ускоряется благодаря применению специальных препаратов – стимуляторов роста, активизирующих внутренние процессы при попадании семян во влажную землю при подходящей температуре грунта. Дополнительное воздействие электрическими и физическими методами стимулирует активное поглощение семенами воды, способствуя интенсивному набуханию.

Процесс формирования растения условно разделён на несколько этапов:

1. От момента посева до появления первых всходов.
2. Период от массовых всходов до начала образования соцветий-корзинок.
3. Формирование корзинок вплоть до цветения.
4. Фаза цветения и последующее созревание урожая.

Продолжительность каждого этапа сильно варьируется в зависимости от климатических особенностей года и применяемых агроприемов. Если лето засушливое, этапы становятся короче, растение быстро проходит стадии и раньше даёт урожай. В условиях достаточной влажности отдельные фазы растягиваются, обеспечивая формирование большего числа плодов.

Значение погоды для урожайности подсолнечника.

Количество доступной почве продуктивной влаги ежегодно отличается незначительно. Так, в 2021 и 2022 гг. оно составляло около 150-160 мм, тогда как в 2023 г. показатель упал почти до 135 мм. Особенно важно наличие качественной влаги в верхнем десятисантиметровом слое почвы сразу после посадки, а также её температуры и общего объема осадков за первые дни после высадки.

Наибольшее расхождение наблюдается по среднесуточной температуре почвы: летом 2021 и 2022 годов она держалась на уровне примерно 23-24 °С, тогда как в 2023 году упала до 18 градусов. Аналогично варьировалась суммарная положительная температура за первый этап вегетации.

Из-за дефицита дождей и низкой температуры воздуха именно в 2023 году отмечена наименьшая всхожесть растений как на контрольных участках, так и там, где проводилась специальная обработка перед посадкой.

Следовательно, чтобы достичь высоких показателей урожайности подсолнечника, необходимо комплексно учитывать перечисленные факторы и использовать оптимальные агротехнические мероприятия.

Таблица 1 – Гидротермические условия в период посева по годам проводимых исследований
Table 1 – Hydrothermal conditions during sowing by years of research

Показатель / Indicator	Год / Year		
	2021	2022	2023
Дата посева культуры / Culture sowing date	15 мая / May 15	20 мая / May 20	12 мая / May 12
Продуктивная влага в слое 0.0...0.1 м перед посевом, мм / Productive moisture in the layer 0.0...0.1 m before sowing, mm	11,7	12,3	10,3
Продуктивная влага в слое 0.0...1.0 м перед посевом, мм / Productive moisture in the layer 0.0...1.0 m before sowing, mm	150,4	158,6	135,2
Сумма положительных температур, °С / Sum of positive temperatures, °S	150,4	158,6	135,2
Средняя температура воздуха, °С / Average air temperature, °S	24,2	23,1	18,1
Количество осадков в период посев-всходы, мм / Amount of precipitation during the seeding period, mm	9,7	12,2	0

Влияние предпосевной обработки семян на продолжительность фазы посев – всходы.

Наблюдения, проведенные в течение трех лет (2021-2023), показали, что предпосевная обработка семян оказывает значительное влияние на продолжительность фазы посев – всходы у различных гибридов. В частности, у гибрида Фортуна на контроле (без обработки семян) фаза посев – всходы составляла 12 дней. Однако на варианте обработки семян в электрическом поле продолжительность сокращалась до 11 дней. Обработка семян регулятором роста Зеребра Агро также приводила к сокращению продолжительности фазы до 11 дней в 2021 и 2022 годах. В 2023 году, который был менее благоприятным по погодным условиям, уменьшения продолжительности периода не наблюдалось относительно контроля.

У гибрида ЕС Белла самый продолжительный период фазы посев – всходы составлял 13 дней на контроле. Однако на вариантах обработки в электрическом поле и регулятором роста Зеребра Агро продолжительность фазы сокращалась до 12 дней. У гибрида ЕС Петуния на контроле продолжительность всходов составляла 12-13 дней по годам исследований. Влияние регулятора роста Зеребра Агро на этот гибрид не было установлено.

в 2021 и 2022 годах. В 2023 году всходы появились на 12 день при обработке регулятором роста, в то время как на контроле – на 13 день. Семена, обработанные в электрическом поле, всходили на 1 день раньше контроля (таблица 2).

Таким образом, предпосевная обработка семян, особенно в электрическом поле и регулятором роста Зеребра Агро, способствует сокращению продолжительности фазы посев – всходы, что может иметь важное значение для повышения урожайности и качества продукции. Однако эффективность обработки зависит от погодных условий и особенностей конкретного гибрида.

Таблица 2 – Влияние способов предпосевной обработки семян подсолнечника на продолжительность периода посев-всходы
Table 2 – Influence of methods of pre-sowing treatment of sunflower seeds on the duration of the sowing-seeding period

Вариант	Длительность межфазного периода, сутки / Duration of interphase period, days		
	Фортуна / Fortuna	ЕС Белла / EU Bella	ЕС Петуния / EU Petunia
2021 год / Year 2021			
Контроль / Control	12	13	12
Регулятор роста / Growth regulator	11	12	12
Электрическое поле / Electric field	11	12	11
2022 год / Year 2022			
Контроль / Control	12	13	12
Регулятор роста / Growth regulator	11	12	12
Электрическое поле / Electric field	11	12	11
2023 год / Year 2023			
Контроль / Control	12	13	13
Регулятор роста / Growth regulator	12	13	12
Электрическое поле / Electric field	11	12	11

В ходе многолетних наблюдений было установлено, что полнота всходов на контроле варьировала в зависимости от сорта гибрида. Наибольший показатель был зафиксирован у гибрида Фортуна – 82,03 %, за ним следовал гибрид ЕС Белла с показателем 80,53 %. Наименьшую полевую всхожесть продемонстрировал гибрид ЕС Петуния – 80,00 %.

Обработка семян регулятором роста Зеребра Агро оказала положительное влияние на полевую всхожесть всех изучаемых гибридов. В среднем, всхожесть возрастала на 3,13-3,77 %. Наиболее отзывчивым оказался гибрид Фортуна, у которого полевая всхожесть повысилась до 85,80 %. Менее отзывчивым был гибрид ЕС Петуния, у которого всхожесть увеличилась до 83,13 %.

Таблица 3 – Полевая всхожесть в зависимости от исследуемых способов предпосевной обработки
Table 3 – Field germination depending on the studied methods of pre-sowing treatment

Вариант / Option	Среднее за 3 года / 3-year average			
	полевая всхожесть, % / field germination, %	отклонение от контроля, % / deviation from control, %	полевая всхожесть, шт./га field germination, pcs/ha	отклонение от контроля, шт./га / deviation from control, pcs/ha
Фортуна / Fortuna				
Контроль / Control	82,03	-	49218	-
Регулятор роста / Growth regulator	85,80	+3,77	51480	+2262
Электрическое поле / Electric field	88,10	+6,07	52860	+3642
ЕС Белла / EU Bella				
Контроль / Control	80,53	-	48318	-
Регулятор роста / Growth regulator	84,20	+3,67	50520	+2202
Электрическое поле / Electric field	85,60	+5,07	51360	+3042
ЕС Петуния / EU Petunia				
Контроль / Control	80,00	-	48000	-
Регулятор роста / Growth regulator	83,13	+3,13	49878	+1878
Электрическое поле / Electric field	85,47	+5,47	51282	+3282

Наиболее эффективным методом обработки семян оказалось воздействие электрическим полем. У гибрида Фортуна полевая всхожесть увеличилась на 6,07 %, достигнув 88,10 %. У гибрида ЕС Белла всхожесть повысилась на 5,07 %, составив 85,60 %. У гибрида ЕС Петуния полевая всхожесть увеличилась на 5,47 %, достигнув 85,47 % (таблица 3). Таким образом, обработка семян электрическим полем является наиболее эффективным методом повышения полевой всхожести изучаемых гибридов.

В течение трех лет проводились полевые опыты с целью изучения влияния предпосевной обработки семян на развитие гибридов подсолнечника. В качестве объектов исследования были выбраны гибриды Фортуна, ЕС Белла и ЕС Петуния. Семена обрабатывались регулятором роста и подвергались воздействию электрического поля. Контрольные растения выращивались без обработки.

Эффективность предварительной подготовки семян подсолнечника и её роль в изменении длительности стадий вегетационного цикла.

Подготовительные мероприятия перед посевом семян подсолнечника представляют собой значимый элемент аграрной технологии, существенно влияющий на длительность отдельных этапов развития растений и общий срок вызревания урожая. Исследования показали, что предварительная подготовка семян путем обработки стимуляторами роста марки Зеребра Агро либо воздействием электрического поля неодинаково отражается на длительности фаз развития подсолнечника.

Воздействие обработок на этап «прорастание – формирование соцветия».

При обработке семян стимулятором роста Зеребра Агро отмечено сокращение промежутка времени этапа «прорастание – формирование соцветия» у всех исследованных сортов. Например, у сорта Фортуна указанный этап уменьшился на три дня, у сорта ЕС Белла – на один день, у сорта ЕС Петуния – на два дня. Без обработки (контроль) наиболее длительный промежуток отмечался у сорта Фортуна (30 суток), самый короткий – у сорта ЕС Белла (также 30 суток).

Вариант воздействия на семена электрическим полем практически не повлиял на длительность данного этапа у сорта ЕС Белла. У сорта Фортуна интервал составил 33 дня, у сорта ЕС Петуния – 32 дня.

Эффект обработок на этапе «формирование соцветия – цветение».

Минимальная продолжительность этапа «формирование соцветия – цветение» зафиксирована у контрольного варианта сорта Фортуна (23 дня). После обработки семян указанный период стал дольше на 2-3 дня. Практически незначительный эффект был выявлен у сорта ЕС Белла – превышение относительно контрольного показателя составило всего лишь одни сутки. Максимально затяжной оказалась данная стадия у сорта ЕС Петуния после воздействия электрическим полем – она длилась целых 40 дней.

Изменения в периоде «цветение – зрелость».

Без предварительной обработки («контроль») фаза «цветение – зрелость» продлилась у сорта Фортуна до 51 дня, у сорта ЕС Белла – 49 дней, у сорта ЕС Петуния – 42 дня. Обработанные семенозаготовки регулятором роста Зеребра Агро увеличили продолжительность указанного периода ещё на 3 дня у сортов Фортуна и ЕС Белла, а также на 2 дня у сорта ЕС Петуния. Под влиянием электрического поля разница проявлялась менее выражено – у сорта ЕС Белла добавлялся 1 дополнительный день, у сорта Фортуна – сразу пять дней, у сорта ЕС Петуния – четыре дня.

Итак, проведенные исследования показывают, что предпосадочная обработка семян подсолнечника оказывает существенное влияние на продолжительность ключевых этапов вегетации растения, что важно учитывать при планировании сельскохозяйственных работ и прогнозировании сроков сбора урожая. Полученные результаты позволяют оптимизировать технологию возделывания подсолнечника и повысить его продуктивность.

Вегетационный период подсолнечника – это время от появления всходов до полного созревания семян. Его продолжительность зависит от множества факторов, включая погодные условия и способы предпосевной обработки семян. В данной работе мы исследовали влияние различных методов предпосевной обработки на продолжительность вегетационного периода у трех гибридов подсолнечника: Фортуна, ЕС Белла и ЕС Петуния.

Таблица 4 – Продолжительность межфазных периодов гибридов подсолнечника в зависимости от изучаемых факторов предпосевной обработки, сутки (среднее за 2021...2023 гг.)

Table 4 – Duration of interphase periods of sunflower hybrids depending on the studied factors of pre-sowing treatment, days (average for 2021...2023)

Вариант предпосевной обработки / Option pre-sowing treatment	Посев – всходы / Sowing seedlings	Всходы – образование корзинки / Seedlings – basket formation	Образование корзинки – цветение / Flowering basket formation	Цветение – созревание / Flowering – maturation	Всходы – созревание / Germination – maturation
Фортуна / Fortuna					
Контроль / Control	12	38	23	51	112
Регулятор роста / Growth regulator	11	35	26	54	115
Электрическое поле / Electric field	11	33	25	56	114
ЕС Белла / EU Bella					
Контроль / Control	13	30	26	49	105
Регулятор роста / Growth regulator	12	29	27	52	108
Электрическое поле / Electric field	12	30	27	50	107
ЕС Петуния / EU Petunia					
Контроль / Control	12	34	34	42	110
Регулятор роста / Growth regulator	12	32	41	44	117
Электрическое поле / Electric field	11	32	40	46	118

Влияние предпосевной обработки на продолжительность вегетационного периода.

У всех исследуемых гибридов продолжительность вегетационного периода увеличивалась относительно контроля на всех вариантах предпосевной обработки. Однако степень этого увеличения была разной для разных гибридов. У гибридов Фортуна и ЕС Белла продолжительность фазы всходы-созревание увеличивалась на 2-3 дня, что является незначительным увеличением. В то же время, у гибрида ЕС Петуния продолжительность вегетационного периода увеличивалась значительно – на 7-8 дней, достигая 118 дней при контроле в 110 дней.

Влияние предпосевной обработки на прохождение межфазных периодов.

Предпосевная обработка семян также оказывала влияние на прохождение межфазных периодов. В частности, сокращался период всходы – образование корзинки на 1-5 дней, увеличивались по продолжительности фазы образование корзинки – цветение на 3-6 дней и цветение – созревание на 2-5 дней. Это свидетельствует о том, что предпосевная обработка семян может влиять не только на общую продолжительность вегетационного периода, но и на продолжительность отдельных фаз развития растения.

Практическое значение удлинения вегетационного периода.

Удлинение вегетационного периода имеет большое практическое значение для производства. Чем длиннее вегетационный период, тем выше урожайность подсолнечника. Это связано с тем, что растения имеют больше времени для накопления питательных веществ и формирования семян. Таким образом, использование предпосевной обработки семян может быть эффективным способом повышения урожайности подсолнечника.

Заключение. Проведённые исследования показали, что предпосевная обработка семян подсолнечника оказывает значительное влияние на продолжительность вегетационного периода и прохождение межфазных периодов. В зависимости от выбранного метода обработки, продолжительность вегетационного периода у гибридов подсолнечника изменялась следующим образом:

- Гибриды Фортуна и ЕС Белла продемонстрировали незначительное увеличение продолжительности вегетационного периода на 2-3 дня.
- Гибрид ЕС Петуния показал более значительное увеличение продолжительности вегетационного периода на 7-8 дней.

Кроме того, было установлено влияние предпосевной обработки на прохождение меофазных периодов:

- Период от всходов до образования корзинки сократился на 1-5 дней.
- Фаза от образования корзинки до цветения увеличилась на 3-6 дней.
- Фаза от цветения до созревания увеличилась на 2-5 дней.

Удлинение вегетационного периода имеет большое практическое значение для производства подсолнечника. Чем длиннее вегетационный период, тем выше урожайность подсолнечника. Это связано с тем, что растения имеют больше времени для накопления питательных веществ и формирования большего количества семян. Таким образом, выбор оптимального метода предпосевной обработки может существенно повысить урожайность подсолнечника и улучшить экономические показатели производства.

Conclusions. Depending on the method of pre-sowing treatment, there was no significant increase in the duration of the growing season by 2...3 days for Fortuna and EU Bella hybrids, more significant by 7...8 days for the EU Petunia hybrid. The effect of pre-sowing treatment options on the passage of interphase periods was established, the emergence period was reduced – the formation of a basket by 1...5 days, the duration of the phase increased the formation of a basket – flowering by 3...6 days, flowering – ripening 2...5 days. The lengthening of the growing season was of great practical importance for production, the longer the growing season, the higher the yield of sunflower.

Библиографический список

1. Гаевая Э. А., Мищенко А. Е., Тарадин С. А. Возделывание подсолнечника Элементы ресурсосберегающей технологии возделывания подсолнечника на склонах Ростовской области. Фермер. Поволжье. 2016. № 6 (48). С. 42-46.
2. Кузыченко Ю. А., Гаджиумаров Р. Г., Джандаров А. Н. Возделывание подсолнечника с полосным рыхлением почвы в условиях Предкавказья. Аграрная наука. 2022. № 7-8. С. 132-135.
3. Малько А. М. и др. Современное состояние и перспективы дальнейшего развития зонального семеноводства подсолнечника в Российской Федерации. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 85. С. 148-159.
4. Неверов А. А. Стимулирующий эффект сульфата магния на стадии прорастания семян сельскохозяйственных культур. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 1 (87). С. 74-78.
5. Гусейнов К. Г., Мустафаева Э. Ф. Меры борьбы против заразики подсолнечника. Бюллетень науки и практики. 2025. Т. 11. № 6. С. 426-437.
6. Рябцева Н. А. Засоренность почвы и посевов подсолнечника на фоне различных способов обработки почвы в условиях Краснодарского края. Проблемы развития АПК региона. 2019. № 1 (37). С. 104-110.
7. Коцарева Н. В., Коваленко Е. В. Влияние предпосевной обработки семян подсолнечника на высоту растений и фотосинтетическую деятельность гибридов f1 Борей и f1 Дарий в условиях юго-запада ЦЧР. Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2021. № 1 (29). С. 117-121.
8. Ахмедов В. Ю., Соболев Ю. В. Повышение энергии прорастания семян с помощью нового способа предпосевной водной обработки. Аграрная Россия. 2021. № 9. С. 3-8.
9. Гирька А. Д. и др. Рост, развитие и формирование урожайности подсолнечника под влиянием регуляторов роста и удобрений. Зерновые культуры. 2018. Т. 2. № 2. С. 301-308.
10. Смирнов В. П., Костин В. И., Федорова И. Л. Эффективность применения регуляторов роста при формировании урожайности подсолнечника. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 1 (49). С. 45-50.
11. Левина Н. С. и др. Предпосевная обработка семян подсолнечника, сои и кукурузы низкочастотным электромагнитным излучением. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. № 4. С. 22-28.
12. Савченко В. В., Синявский А. Ю. Предпосевная обработка семян подсолнечника в магнитном поле. Агротехника и энергообеспечение. 2021. № 1 (30). С. 18-23.
13. 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.
14. Юдаев И. В. и др. Эффективные режимы предпосевной обработки семян подсолнечника в электрическом поле переменного напряжения. Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2021. Т. 68. № 2 (43). С. 3-8.

References

1. Gayeva E. A., Mishchenko A. E., Taradin S. A. Sunflower cultivation Elements of resource-saving technology of sunflower cultivation on the slopes of the Rostov region. Farmer. Volga area. 2016. No 6 (48). Pp. 42-46.
2. Kuzychenko Yu. A., Gadjiumarov R. G., Dzhandarov A. N. Sunflower cultivation with strip loosening of the soil in the conditions of the Pre-Caucasus. Agricultural science. 2022. No 7-8. Pp. 132-135.
3. Malko A. M. et al. The current state and prospects of further development of zonal sunflower seed production in the Russian Federation. Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2020. No 85. Pp. 148-159.
4. Neverov A. A. Stimulating effect of magnesium sulfate at the stage of germination of agricultural seeds. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2021. No 1 (87). Pp. 74-78.
5. Huseynov K. G., Mustafayeva E. F. Control measures against sunflower infestation. Bulletin of Science and Practice. 2025. Vol. 11. No 6. Pp. 426-437.

6. Ryabtseva N. A. Contamination of soil and sunflower crops against the background of various methods of tillage in the Krasnodar Region. Problems of agro-industrial complex development in the region. 2019. No 1 (37). Pp. 104-110.
7. Kotsareva N. V., Kovalenko E. V. The effect of pre-sowing treatment of sunflower seeds on plant height and photosynthetic activity of f1 Borei and f1 Darium hybrids in the south-west of the Central Asian Republic. Innovations in agriculture: problems and prospects. 2021. No 1 (29). Pp. 117-121.
8. Akhmedov V. Yu., Sobolev Yu. V. Increasing the energy of seed germination using a new method of pre-sowing water treatment. Agrarian Russia. 2021. No 9. Pp. 3-8.
9. Girka A. D. et al. The growth, development and formation of sunflower yields under the influence of growth regulators and fertilizers. Grain crops. 2018. V. 2. No 2. Pp. 301-308.
10. Smirnov V. P., Kostin V. I., Fedorova I. L. The effectiveness of growth regulators in the formation of sunflower yields. Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2020. No 1 (49). Pp. 45-50.
11. Levina N. S. et al. Pre-sowing treatment of sunflower seeds, soybeans and corn with low-frequency electromagnetic radiation. Agricultural machinery and technology. 2018. Vol. 12. No 4. Pp. 22-28.
12. Savchenko V. V., Sinyavsky A. Yu. Pre-sowing treatment of sunflower seeds in a magnetic field. Agricultural machinery and energy supply. 2021. No 1 (30). Pp. 18-23.
13. Glubokov M. V., Abubakarov A. G., Shkurkin S. I. Pre-sowing seed treatment with an ultrahigh frequency electromagnetic field in the organization of public procurement. Economics, labor, management in agriculture. 2023. No 9 (103). Pp. 151-163.
14. Yudaev I. V. et al. Effective modes of pre-sowing treatment of sunflower seeds in an alternating voltage electric field. Electrical technologies and electrical equipment in the agro-industrial complex. 2021. V. 68. No 2 (43). Pp. 3-8.

Информация об авторах

Аксенов Михаил Петрович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, 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 кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: technolog_16@mail.ru

Беляев Александр Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97).

Петров Юрий Николаевич, старший научный сотрудник лаборатории, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН), (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97).

Горбачева Анна Семеновна, кандидат экономических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26).

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

Болаев Баатр Канурович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8210-9971>, e-mail: kanur64@mail.ru

Курепина Наталья Леонидовна, доктор экономических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9337-3903>, e-mail: kurepinanl@mail.ru

Батыров Владимир Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, и.о. заведующего кафедрой, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет им. Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, д. 11), ORCID: 0000-0003-2183-4058, e-mail: vladimir-ba@mail.ru

Authors' Information

Aksenov Mihail Petrovich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1619-655X>, e-mail: aksenovmp@mail.ru

Petrov Nikolay Yuryevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: technolog_16@mail.ru

Belyaev Aleksandr Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director, Federal Research Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation, and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97).

Petrov Yuri Nikolaevich, Senior Researcher, Federal Research Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation, and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (FRC Agroecology RAS) (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97).

Gorbacheva Anna Semenovna, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26).

Bolaev Baatr Kanurovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department, Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov (Russian Federation, 358000, Kalmykia, Elista, Pushkin str., 11), RSCI: SPIN-code: 6070-2540, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8210-9971>, e-mail: kanur64@mail.ru

Kurepina Natalya Leonidovna, Doctor of Economics, Professor of the Department, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, 358000, Kalmykia, Elista, Pushkin str., 11), RSCI: SPIN-code: 3025-4351, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9337-3903>, e-mail: kurepinanl@mail.ru

Batyrov Vladimir Aleksandrovich, Doctor of Agricultural Sciences, Acting Head of the Department, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, 358000, Kalmykia, Elista, Pushkin str., 11), ORCID: 0000-0003-2183-4058, e-mail: vladimir-ba@mail.ru

**THE EVALUATION OF THE RESULTS OF THE PEANUT CULTIVARS STUDY
IN THE CONDITIONS OF THE NORTHERN CASPIAN REGION****Bogosoryanskaya L. V.***Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
Solenoye Zaimishche, Chernoyarsky District, Astrakhan Region, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: Bogosoryanskaya@mail.ru

Received 25.08.2025

Submitted 20.09.2025

The work was carried out with the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation as part of the State Assignment of the Caspian Arid Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (topic No. FNMW-2022-0007).

Summary

The article is devoted to the study of peanut culture in the arid zone in order to select the best varieties from the global collection at the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources. Long-term data have shown that peanut culture can produce a relatively high yield (3.5-4.0 t/ha) if the necessary agricultural practices are followed.

Abstract

Introduction. Providing the country's population with food through the production of domestic varieties and modern technologies is the main task of Russia's agro-industrial complex today. In light of current political decisions, the revival of peanut culture will contribute to reducing Russia's import dependence in the segment of products with a high content of plant protein and fat. Therefore, the agricultural and biological study and evaluation of varieties of technical and oilseeds is relevant, as the species and variety diversity of the studied varieties serves as the foundation for successful crop production and aims to identify new promising breeding material. **The object** of research is a collection of peanut varieties of various origins from the VIR collection. **Material and methods.** The peanut collection was studied using the following methods: the method of setting up field experiments (with the basics of statistical processing of research results) (B. A. Dospekhov, 1985); methodological guidelines for studying the global collection of oilseeds at the All-Russian Research Institute of Plant Growing named after N. I. Vavilov (edited by G. G. Davydyan, 1976); methodological guidelines for studying the peanut collection (edited by N. K. Lemeshev and S. N. Kutuzova, 1995). **Results and conclusions.** From the studied collection, the most outstanding and showing good results were the variety k-1561 (Zaire), with an average yield of 3.9 t/ha during the study period. The second place in this indicator was occupied by the variety k-1648 (Colombia) with an average yield of 3.2 t/ha, and the third place was occupied by the variety k-1599 (Congo) with an average yield of 2.9 t/ha. Depending on the sample and its origin, as well as the weather conditions, the peanut's ripening period from planting to harvest ranged from 126 to 150 days. In 2024, favorable weather conditions contributed to a successful peanut harvest. The average rainfall during the growing season was 93 mm, and the average monthly temperature was 21.6 °C. The selected samples have a complex of economically valuable properties and can be recommended for use as a source material for breeding peanut crops.

Keywords: *peanuts, groundnuts, varieties of peanuts, cultivation of peanuts, conditions of cultivation of peanuts, technologies of cultivation of peanuts.*

Citation. Bogosoryanskaya L. V. The evaluation of the results of the peanut cultivars study in the conditions of the Northern Caspian region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 115-125 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-13.

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 633.852.52

**ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СОРТООБРАЗЦОВ АРАХИСА В УСЛОВИЯХ
СЕВЕРНОГО ПРИКАСПИЯ****Богосорьянская Л. В., кандидат сельскохозяйственных наук***ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук»
с. Солёное Займище, Черныйарский район, Астраханская область, Российская Федерация*

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Прикаспийский аридный федеральный научный центр РАН» (тема № FNMW-2022-0007).

Актуальность. Обеспечение населения страны продовольствием путем производства отечественных сортов и современных технологий – главная задача агропромышленного комплекса России на сегодняшний день.

В свете современных политических решений возрождение культуры арахиса будет способствовать ослаблению импортозависимости РФ в сегменте продуктов с высоким содержанием растительного белка и жира. В связи с этим, агробиологическое изучение и оценка сортообразцов технических и масличных культур является актуальным, так как видовое и сортовое разнообразие изучаемых сортообразцов служит основой успешного ведения растениеводства и направлено на выделение нового перспективного селекционного материала. **Объектом** исследований является коллекция сортообразцов культуры арахис различного происхождения из коллекции ВИР. **Материал и методы.** Изучение коллекции арахиса проводилось в соответствии со следующими методиками: методика закладки полевых опытов (с основами статистической обработки результатов исследований) (Б. А. Доспехов, 1985); методические указания по изучению мировой коллекции масличных культур Всероссийского НИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова (под редакцией Г. Г. Давидяна, 1976); методические указания по изучению коллекции арахиса (под редакцией Н. К. Лемешева и С. Н. Кутузовой, 1995). **Результаты и выводы.** Из изучаемой коллекции, наиболее отличившийся и показавший хорошие результаты сортообразец к-1561 (Заир), средняя урожайность за период изучения составила 3,9 т/га. Второе место по этому показателю занимал сортообразец к-1648 (Колумбия) – 3,2 т/га и третье к-1599 (Конго) – 2,9 т/га. В зависимости от образца и его происхождения, а так же погодных условий период созревания арахиса от посадки до сбора урожая составил 126-150 суток. Погодные условия в 2024 года позволили получить хороший урожай арахиса. Среднемесячная температура воздуха за вегетационный период этого года составила 21,6 °С, что на 5,5 °С выше 2022 года. Количество осадков за вегетационный период составило 93 мм. Выделившиеся образцы обладают комплексом хозяйственно-ценных свойств и могут быть рекомендованы для использования в качестве исходного материала для селекции культуры арахис.

Ключевые слова: арахис, земляной орех, сорта арахиса, возделывание арахиса, условия возделывания арахиса, технологии возделывания арахиса.

Цитирование. Богосорьянская Л. В. Оценка результатов исследования сортообразцов арахиса в условиях Северного Прикаспия. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 115-125. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-13.

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

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Многие люди не задумываются, насколько арахис древняя и богатая своей историей пищевая культура, хотя за те века, что арахис известен человечеству, он прошел огромный путь и его назначение постоянно менялось.

Арахис культурный (*Arachis hypogaea* L.) или земляной орех – однолетнее растение из семейства бобовых (*Fabaceae*). Это важная сельскохозяйственная культура, возделываемая ради семян – арахисовых «орехов». Благодаря своим ценным качествам арахис и продукты, получаемые из него, широко используются в пищевой промышленности. В семенах арахиса содержится около 50 % жира и более 35 % белка (по содержанию белка уступают только сое), большинство необходимых для организма витаминов и микроэлементов. Семена арахиса и продукты переработки из них – перспективные источники биологически активных веществ, которые могут широко применяться в хлебопечении для создания изделий полифункционального действия и для повышения их пищевой ценности. Использование их позволит расширить ассортимент хлебобулочных изделий профилактического назначения [1].

Арахисовые бобы являются не только важным источником растительного белка, но и мировым источником растительного масла, которое ценится, прежде всего, как невысыхающее масло. Арахисовое масло – это растительный, биологически чистый, очень полезный, высокоусвояемый концентрированный энергетический пищевой продукт. Листья и стебли арахиса являются ценным кормом для животных и по кормовым достоинствам приравниваются к сене клевера или люцерны, а шелуха плодов (бобов) идет на производство изоляционных материалов и на топливо [2].

Главная задача агропромышленного комплекса России на сегодняшний день – обеспечение населения страны продовольствием путем производства отечественных сортов и современных технологий. В современных условиях деятельность агропромышленного комплекса невозможна без использования научных достижений [3]. И первостепенная роль в достижении этой цели принадлежит селекции, которая играет ключевую роль в создании высокопродуктивных, скороспелых, технологичных, экологически пластичных и устойчивых к болезням сортов с высоким качеством зерна и улучшенной архитектоникой растений. Планирование направлений селекции требует наличия ценного исходного материала, полученного в результате изучения мирового генофонда [4].

По данным FAO UN (Продовольственная и сельскохозяйственная организация Организации Объединённых Наций) в мире арахис (земляной орех) выращивается на площади 26,5 млн га, валовое производство его составляет около 43,9 млн тонн, средняя продуктивность 1,65 т/га. Около 65 % всего объема производства приходится на страны Азии, 25 % на страны Африканского континента, 6 % производят страны Северной и Центральной Америки и 2 % мирового производства приходится на страны Южной Америки [5]. В России первые попытки возделывания арахиса относятся к 1825 г., когда он был высеем на территории Одесского ботанического сада. В условиях Нижнего Поволжья пробные посевы были проведены в 20-х годах прошлого столетия. В Краснодарском крае первые посевы осуществлены в 1894 г. Далее арахис широко распространился в Закавказье и Средней Азии. Позднее (1926-1930 гг.) его с успехом возделывали в засушливых и полузасушливых районах юга Украины и России – на Северном Кавказе и в Нижнем Поволжье. Небольшой опыт выращивания на нижней Волге имеется на Дубовском опорном пункте Нижне-Волжского института сельского хозяйства. По имеющимся сведениям, были попытки возделывания арахиса в фермерском хозяйстве Светлоярского района. В качестве продовольственной и технической культуры арахис выращивается в различных агроэкологических зонах Буркина-Фасо (Западная Африка). Он занимает второе место среди зернобобовых культур по значимости для домашнего хозяйства, питания и получения дохода как в сельской, так и в городской местности, внося значительный вклад в обеспечение продовольствием и экономику страны [6]. Сегодня, производство арахиса в Азии продолжает расти из-за его высокой стоимости для производителей. В то же время селекционеры, занимающиеся выращиванием арахиса, вносят свой вклад в повышение урожайности и выведение новых сортов, устойчивых к вирусу розеточности, черной гнили *Cylindrocladium* и пятнистости листьев [7].

Арахис для Астраханской области культура малоизученная, требующая соблюдения всех технологических этапов выращивания, с учетом биологических потребностей растений, и в соответствии с фазами их развития.

Цель наших исследований – провести агробиологическое изучение коллекционных сортообразцов арахиса из различных стран мира с целью создания высокопродуктивного сорта арахиса для возделывания в аридных условиях Нижнего Поволжья.

Материал и методы. Материалом для исследований послужила коллекция сортообразцов арахиса, полученная ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова».

Опыт по изучению культуры арахиса был заложен согласно методике Б. А. Доспехова⁵. Наблюдения проводили по методике Всероссийского НИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова⁶ (под редакцией Н. К. Лемешева и др.).

На учетных растениях (10 растений) проводился подсчет бобов – выполненных и щуплых. Для определения вызреваемости бобов, применяли формула:

$$C = \frac{b}{a} \cdot 100,$$

где C – вызреваемость бобов образца; а – общее число бобов на 1 растении; b – число зрелых бобов на 1 растении.

Определение выхода семян проводили путем взятия навески в 50 бобов из средней пробы:

- взвешивали пробу в 50 бобов;
- лущили 50 бобов;
- взвешивали лузгу от 50 бобов;
- определяли процент лужистости. Выход семян рассчитывали по формуле:

$$C = 100\% - \frac{b \cdot 100}{a},$$

где C – выход семян в %; а – масса 50 бобов; b – масса лузги от 50 бобов.

Определение массы 1000 семян у арахиса, проводили путем взятия 2-х навесок по 100 семян из средней пробы. Затем взвешивали и определяли среднюю массу 100 семян с последующим пересчетом на 1000 семян.

⁵ Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 2012. 352 с.

⁶ Лемешев Н. К., Кутузова С. Н. Методические указания по изучению коллекции арахиса *Arachis hypogaea* L. Л.: Всесоюзный НИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова (ВИР), 1995. 25 с.

Для установления тесноты связей между элементами продуктивности проводили корреляционный анализ признаков.

Коэффициент адаптивности коллекционных сортообразцов был рассчитан по методике Животкова Л. А.⁷

Результаты и обсуждение. Арахис – поздняя пропашная культура, требующая чистые почвы (рисунок 1) Для него особенно губительны сорняки в начальный период развития – от посева до всходов, так как всходы его развиваются очень медленно. Комплекс мероприятий по уходу за культурой арахис заключается не только в уничтожении сорняков, но и поддержании почвы в рыхлом состоянии в течение всего периода вегетации, что способствует сохранению в почве питательных веществ и влаги, и созданию благоприятных условий для лучшего доступа света, тепла и воздуха. Лучшим предшественником для арахиса является черный пар. Установлено, что урожай арахиса по озимой пшенице составляет 2,4 т/га, по озимому ячменю – 2,3 т/га и по яровому ячменю – 2,0 т/га. Для арахиса хорошими предшественниками также являются и пропашные культуры. Не рекомендуется сажать арахис после табака и сои, потому что после этих культур поле заражено нематодами. Арахис является предшественником практически для всех однолетних культур, особенно для кукурузы, риса и табака [8].



Рисунок 1 – Размещение опытных участков культуры арахис /
Figure 1 – Placement of experimental plots of peanut culture

Для аридных регионов характерны глобальные климатические изменения. Проблема адаптации хозяйственной деятельности особенно актуальна, так как оказывается значительное влияние на производительность погодозависимых отраслей экономики, в частности на сельское хозяйство [9].

Аридный климат Астраханской области при возделывании культуры арахис предполагает предпосевной полив. Поэтому, за 2 дня до посева проводили влагозарядковый полив. Сев осуществляли луцеными семенами по 2 семени в лунку. Сортообразцы арахиса высевали при достижении температуры почвы 18,0 °С, на глубине заделки семян 5 см, а температура воздуха должна быть не менее 23 °С. Расстояние между лунками 0,15 м. После всходов в лунке было оставлено по 1 растению. За период вегетации провели 23 полива и 6 рыхлений с прополкой. Полив арахиса проводили с помощью капельного орошения, поливная норма при этом составила 150-160 м³, оросительная – 3520 м³/га. По мере роста у растения появляются желтые цветки, способные к самоопылению.

⁷ Животков, Л. А. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «Урожайность» / Л. А. Животков, З. А. Замотаева, Л. А. Секутаева // Селекция и семеноводство. – 1994. - № 2. – С. 3-6.

Таблица 1 – Метеорологические условия за вегетационный период в ФГБУ «ПАФНЦ РАН» /
Table 1 – Meteorological conditions during the growing season during the years of research at the Federal State Budgetary Scientific Institution "PAFSC RAS"

Месяц / Month	Сумма активных температур выше 10 °C / The sum of active temperatures above 10 °C				Среднемесячная температура воздуха, °C / Average monthly air temperature, °C				Осадки, мм / Precipitation, mm				Относительная влажность воздуха, % / Relative humidity of the air, %			
	Среднеиюль- летняя / Medium-long-term	2022	2023	2024	Среднеиюль- летняя / Medium-long-term	2022	2023	2024	Среднеиюль- летняя / Medium-long-term	2022	2023	2024	Среднеиюль- летняя / Medium-long-term	2022	2023	2024
Май (15-31) / May (15-31)	383,2	227,3	351,0	327	19,2	15,6	19,2	21,7	18,4	53,0	26,8	1,4	44,0	66,2	60,7	33,6
Июнь / June	684,5	728,5	681,0	719	24,2	24,3	22,7	24,9	23,9	5,0	39,7	9,1	43,7	38,5	51,3	48
Июль / July	774,8	752,7	802,9	801	25,8	24,2	25,9	27,4	31,7	24,3	8,9	17,4	47,0	50,1	46,0	37,5
Август / August	740,1	878,5	837,0	823	25,1	28,4	27,0	24,4	18,3	0,3	2,7	26,3	44,3	29,9	37,0	41,6
Сентябрь / September	510,5	526,8	561,0	559	17,8	17,6	18,7	19,6	25,4	22,9	14,5	0,6	54,7	63,7	54,3	34
Октябрь / October	173,5	179,1	225,7	192	12,1	10,6	11,3	11,5	11,5	38,4	21,5	38,2	68,0	78,7	70,0	60,5
Итого / Total	3266,6	3296	3458,6	3421	-	-	-	-	129,2	143,9	114,1	93,0	93,0	-	-	-
ГТК / HTC									0,4	0,4	0,3	0,3				

Арахис цветет над землей. Цветение продолжается по времени всего около суток. После того как происходит оплодотворение, начинается рост гинофор. Гинофоры постепенно удлиняются и вместе с завязью зарываются в почву для созревания. После погружения гинофор в почву они становятся светлыми и на них образуются бобы. Для лучшего погружения гинофор в почву ежегодно проводили по два окучивания. Цель окучивания заключается в максимальном погружении гинофор в почву. Если это сделать своевременно, гинофоры успеют сформировать урожай. Таким образом, окучивание способствует повышению урожайности. Глубина окучивания – 8-10 см. Арахис – это одно из немногих культурных растений, обладающих геокарпией – развитием плодов в земле.

Вегетационный период арахиса различен и зависит от места его происхождения. В Африке, Латинской Америке и Азии он составляет от 160 до 200 дней. Для России актуально создание скороспелых сортов арахиса. В странах Африки вегетационный период разных сортов арахиса составляет от 110 до 160 дней (Bakhareva, 1978). Д. П. Умену удалось сократить вегетационный период арахиса до 125-130 дней (сорт Желудь), а затем до 115-120 у сорта 'Краснодарец 13' (Умен, 1967). Но для южных регионов России необходимы сорта с продолжительностью вегетационного периода 100-110 дней (Obydalo, Ogarkov, 2002) [10]. Поэтому для юга Российской Федерации необходимо подбирать раннеспелые образцы.

Вегетационный период изучения арахиса в 2022 году был влажным и прохладным для его развития, что отрицательно сказалось на урожайности культуры. Среднемесячная температура в этом году составила 16,1 °С, а среднемесячная сумма осадков – 143,9 мм, ГТК =0,4, 2024 год был засушливым. Количество осадков в 2024 году за вегетационный период составило 93 мм, а среднемесячная температура воздуха, 21,6 °С (таблица 1). Низкая температура воздуха отрицательно сказывается на развитии культуры и урожайности.

В течение вегетационного периода были внесены следующие минеральные удобрения: при нарастании листовой массы была внесена селитра аммиачная с расчетом 100 кг в ф. в./га (всего 300 кг в ф. в./га), в фазы бутонизации и цветения вносили азофоску с расчетом 100 кг в ф. в./га (всего 350 кг в ф. в./га).



Рисунок 2 – Гинофоры с бобами
Figure 2 – Gynophores with beans

Фенологические наблюдения учитывали через день. Отмечали даты прохождения фенологических фаз: всходы, цветение, созревание. В течение всего сезона сортообразцы оценивали визуально на поражаемость растений болезнями и повреждения вредителями.

Продолжительность вегетационного периода у исследуемых сортообразцов варьировала в пределах 140-150 сут. – 2022 г.; 126-144 сут. – 2023 г.; 132-143 сут. в 2024 г. (таблица 2).

Таблица 2 – Фенологические наблюдения в период вегетации арахиса на опытном участке
ФГБНУ «ПАФНЦ РАН»Table 2 – Phenological observations during the growing season of peanuts at the experimental site of the
Federal State Budgetary Scientific Institution "PAFSC RAS"

№ делянки / Plot number	2022		2023		2024	
	№ по каталогу / Catalog number	всходы- созревание, сут. / shoots- ripening, day	№ по каталогу / Catalog number	всходы- созрева- ние, сут. / shoots- ripening, day	№ по каталогу / Catalog number	всходы- созревание, сут. / shoots- ripening, day
1	Отрадо Кубанский к-1987, St / Otrado Kubanskii k-1987, St	148	Отрадо Кубанский к-1987, St / Otrado Kubanskii k-1987, St	142	Отрадо Кубанский к-1987, St / Otrado Kubanskii k-1987, St	139
2	к-1561	148	к-1561	144	к-1561	132
3	к-1577	148	к-1577	126	к-1577	132
4	к-1587	146	к-1587	126	к-1587	139
5	к-1599	146	к-1599	126	к-1599	143
6	к-1603	148	к-1603	144	к-1603	143
7	к-1611	148	к-1611	126	к-1611	143
8	к-1619	145	к-1619	144	к-1619	139
9	к-1624	140	к-1624	126	к-1624	143
10	к-1640	146	к-1640	144	к-1640	143
11	к-1648	150	к-1648	126	к-1648	139

Признаком спелости арахиса служат хорошая выполненность бобов и твердость семян, наличие сетчатого рисунка бобов и их желтый цвет [11].

Уборку арахиса проводили в солнечную, сухую погоду, до наступления дождей и первых осенних заморозков. Когда бобы выкапывали из земли в период созревания, наблюдали, что бобы прикрепляются к растению группами (рисунок 3). Грозди выходят из ветвей ствола. После уборки влажность бобов доводили до стандартной. Стандартная влажность для арахиса по ГОСТу составляет 9 %. Срок высушивания зависит от состояния теплового режима и вентиляции, а главное – от влажности бобов.

Рисунок 3 – Урожай арахиса на опытном участке
Figure 3 – Peanut harvest at the experimental site

Таблица 3 – Хозяйственно-ценные признаки коллекционных сортов арахиса, 2022-2024 гг. /
Table 3 – Economically valuable features of collectible varieties of peanuts, 2022-2024

№ п/п	2022 г.					2023 г.					2024 г.				
	Сорт/оборазец / The variety pattern	Продуктивность одного куста, г / Productivity of one bush, g	Вес 50 бобов, г / Weight of 50 beans, g	Выход семян, % / Seed yield, t/ha	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Сорт/оборазец / The variety pattern	Продуктивность одного куста, г / Productivity of one bush, g	Вес 50 бобов, г / Weight of 50 beans, g	Выход семян, % / Seed yield, t/ha	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Сорт/оборазец / The variety pattern	Продуктивность одного куста, г / Productivity of one bush, g	Вес 50 бобов, г / Weight of 50 beans, g	Выход семян, % / Seed yield, t/ha	Урожайность, т/га / Yield, t/ha
1	Отрадо Кубанский к-1987, St / Otrado Kubanskii к-1987, St	53,2	109,6	67,5	4,8	Отрадо Кубанский к-1987, St / Otrado Kubanskii к-1987, St	33,5	98,8	60,9	4,2	Отрадо Кубанский к-1987, St / Otrado Kubanskii к-1987, St	5,1	123,8	63,3	5,1
2	к-1561	42,2	52,8	76,6	4,1	к-335	24,3	60,34	64,2	3,5	к-27	21,9	48,0	62,3	4,2
3	к-1577	22,9	70,5	70,6	2,1	к-344	24,2	66,5	60,6	2,3	к-40	32,6	78,6	64,8	3,0
4	к-1587	13,3	41,5	58,0	1,3	к-725	22,2	62,0	68,9	2,1	к-47	32,5	76,7	70,7	3,1
5	к-1599	38,2	47,7	78,0	3,6	к-752	20,5	45,7	68,9	1,8	к-50	34,1	77,2	66,7	3,2
6	к-1603	22,3	71,8	69,5	2,0	к-771	20,0	46,3	71,9	1,9	к-63	30,9	64,2	67,8	2,9
7	к-1611	29,9	72,8	75,6	2,9	к-777	31,7	28,8	62,2	3,0	к-71	26,2	61,9	68,9	2,5
8	к-1619	12,5	82,1	72,5	1,2	к-780	27,6	61,0	61,8	2,5	к-57	29,7	66,1	69,8	2,8
9	к-1624	10,7	33,5	66,5	1,0	к-788	42,3	35,7	41,7	4,0	к-76	31,9	44,8	75,9	3,9
	к-1640	13,5	54,6	70,6	1,3	к-789	26,1	504	73,5	2,5	к-81	24,2	85,1	61,1	2,7
	к-1648	32,5	79,4	73,5	3,1	к-791	31,5	59,0	70,2	2,9	к-86	17,2	48,0	72,9	3,6
	НСР ₀₅				0,2		0,4								0,3

Урожайность изучаемых сортообразцов во многом зависит не только от погодных условий возделывания, но и от своего происхождения. Анализируя данные трехлетнего изучения сортообразцов арахиса можно сказать, что климатические и погодные условия зоны опытного участка благоприятны для возделывания данной культуры (таблица 3). Наивысшая урожайность в 2022 году была у сортообразца к-1561 (Заир) – 4,1 т/га, что на 0,7 т/га меньше стандарта; в 2023 году урожайность у этого же сортообразца составила уже 3,5 т/га, а в 2024 году 4,2 т/га и была на 0,9 т/га меньше стандарта. Наибольшая средняя урожайность за период изучения коллекции составила у сортообразца к-1561 – 3,9 т/га.

Для адаптивного потенциала сортообразцов используется понятие «среднесорт-овая урожайность» – показатель нормы реакции определенной группы образцов на факторы внешней среды в конкретном году.

Таблица 4 – Адаптивность сортообразцов арахиса, ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» 2022-2024 гг.
Table 4 – Adaptability of peanut cultivars, Federal State Budgetary Institution "PAFSC RAS" 2022-2024

№ по каталогу / Catalog number	Происхождение сортообразца / Origin of the variety sample	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Доля урожайности относительно среднесорт-овой, % / The share of yield relative to the average grade, %	Коэффициент адаптивности / Coefficient of adaptability
Отрадо-Кубанский к-1987, St / Otrado Kubanskii k-1987, St	Россия / Russia	4,8	165,5	1,7
к-1561	Заир / Zaire	3,9	134,5	1,3
к-1577	Габон / Gabon	2,5	86,2	0,9
к-1587	Конго / Congo	2,1	72,4	0,7
к-1599	Конго / Congo	2,9	100,0	1,0
к-1603	Конго / Congo	2,3	79,3	0,8
к-1611	Конго / Congo	2,8	96,6	0,9
к-1619	Конго / Congo	2,2	78,9	0,8
к-1624	Конго / Congo	2,9	100,0	1,0
к-1640	Конго / Congo	2,2	75,9	0,8
к-1648	Колумбия / Colombia	3,2	110,3	1,1
Среднесорт-овая урожайность / Average grade yield		2,9	-	1,0

Анализируя адаптивность коллекционных сортообразцов арахиса, изучаемых в период 2022-2024 гг. можно сказать, что образцы, имеющие коэффициент адаптивности более единицы, положительным образом реагировали на факторы внешней среды и показали урожайность в пределах 3,2-3,9 т/га.

В наших исследованиях было установлено, что в меньшей степени влияет на урожайность период «всходы-созревание». Средняя связь между периодом «всходы-созревание» и выходом семян – 0,4. Высокая положительная связь ($r > 0,7$) между признаками продуктивности одного растений и урожайностью – 0,96 (таблица 5).

Таблица 5 – Корреляционная зависимость количественных признаков культуры арахис 2022-2024 гг.
Table 5 – Correlation dependence of quantitative characteristics of peanut culture in 2022-2024

Признаки / Signs	всходы- созревание, сут. / shoots- ripening, day	продуктивность одного куста, г. / productivity of one bush, g	урожай- ность, т/га / yield, t/ha	вес 50 бобов, г / weight of 50 beans, g	выход семян, % / seed yield, %
всходы-созревание, сут. / shoots-ripening, day	1				
продуктивность одного куста, г / productivity of one bush, g	-0,00336	1			
урожайность, т/га / yield, t/ha	0,012561	0,962957	1		
вес 50 бобов, г / weight of 50 beans, g	0,068255	0,054691	0,083118	1	
выход семян, % / seed yield, %	0,38081	-0,04179	-0,05857	0,110042	1

Выращивание арахиса может быть рентабельным, благодаря высокому спросу на эту культуру и возможности продавать урожай как сырьё для пищевой промышленности или готовый продукт. Расчет затрат на возделывание 1 т продукции арахиса представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Экономическая эффективность возделывания арахиса (сортообразец к-1561) 2024 г.

Table 6 – Economic efficiency of peanut cultivation (variety type k-1561) 2024

Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Затраты, тыс. р./га / Costs, thousand rubles/ha	Себестоимость реализованной продукции тыс. р. / The cost of products sold thousand rubles	Стоимость реализованной продукции, тыс. р. / The cost of products sold, thousand rubles	Прибыль, тыс. р./га / Profit, thou- sand rubles/ha	Рентабельность, % / Profitability, %
4,2	250,0	430,0	924,0	494,0	114,8

При возделывании арахиса затраты на 1 т/га составили 250,0 тыс. рублей. Себестоимость реализованной продукции составила 430 тыс. руб. При цене реализации 220 руб./кг стоимость реализованной продукции составила 924,0 тыс. руб. Следовательно, прибыль полученная при данной урожайности составила 494,0 тыс. руб./га, а рентабельность 114,8 %.

Заключение. В результате трехлетнего изучения культуры арахис в условиях аридной зоны Астраханской области, можно сделать вывод:

1. Природно-климатические условия Нижнего Поволжья благоприятны для возделывания культуры арахис, так как длительный период активных температур воздуха выше 10 °С в северных и северо-западных районах составляют 3300-3400 °С, а продолжительность теплого периода (перехода с температуры воздуха выше 0 °С) по территории области – 230-260 дней.

2. Наиболее адаптированными к условиям Астраханской области и показавшие урожайность более трех т/га сортообразцы арахиса – к-1561 (Заир) – 3,9 т/га; к-1648 (Колумбия) – 3,2 т/га.

3. Выделившиеся образцы обладают комплексом хозяйственно-ценных свойств и могут быть рекомендованы для использования в качестве исходного материала для селекции культуры арахис.

Conclusions. As a result of a three-year study of the peanut culture in the Lower Volga region, the following conclusion can be made:

1. The natural and climatic conditions of the Lower Volga region are favorable for the cultivation of peanut crops, as the long period of active air temperatures above 10°C in the northern and northwestern regions is 3300-3400 °C, and the duration of the warm period (transition from air temperatures above 0 °C) in the region is 230-260 days.

2. The varieties of peanut that are most adapted to the conditions of the Astrakhan region and have a yield of more than three tons per hectare are K-1561 (Zaire) – 3.9 tons per hectare and K-1648 (Colombia) – 3.2 tons per hectare.

3. The selected samples have a complex of economically valuable properties and can be recommended for use as a source material for breeding peanut crops.

Библиографический список

- Богосорьянская Л. В. Возделывание арахиса в условиях аридной зоны Астраханской области. Аграрный научный журнал. 2023. № 4. С. 4-8. <http://elibrary.ru/item.asp?id=50768294>
- Михайлов В. А., Вершинина О. Л., Росляков Ю. Ф., Шаповалов А. В. Характеристика семян арахиса и их применение в хлебопечении// Успехи современного естествознания. 2005. № 5. С. 55-55. <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=8465>.
- Зотиков В. И., Полухин А. А., Гряданова Н. В. Развитие инновационных технологий в растениеводстве на основе селекционных достижений. Зернобобовые и крупяные культуры. 2023. № 2 (46). С. 5-9.
- Шапошникова Ю. В., Коробова Н. А., Коробов А. П., Пучкова Е. В. Оценка исходного материала гороха посевного в селекции на продуктивность. Известия НВ АУК. 2025. № 4 (82). С. 275-283.
- Асаналиев А. Ж. Продуктивность сортов арахиса (*Arachis hypogaea* L.) в Чуйской долине Кыргызской Республики. Успехи современного естествознания. Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00). 2018. № 2. С. 43-48. <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36670>.
- Синаре Б., Майнинг А., Небье Б. и др. Совместный анализ системы возделывания арахиса (*Arachis hypogaea* L.) и производственных ограничений в Буркина-Фасо. Этнобиология и этномедицина. 2021. Т. 2.
- Stalker H. T. Peanut (*Arachis hypogaea* L.). Field crops research. 1997. V. 53. No 1-3. Pp. 205-217.
- Сейидалиев Н. Я., Намазова Р. В. Влияние технологий возделывания на структурные показатели арахиса. Бюллетень науки и практики. 2022. Т. 8. № 4. С. 184-191.
- Кулик К. Н., Истомин С. А., Лебедева Т. Н. Агроклиматические условия Калачской возвышенности в пределах Волгоградской области. Известия НВ АУК. 2024. № 6 (78). С. 13-24.

10. Кишлян Н. В., Бемова В. Д., Матвеева Т. В., Гаврилова В. А. Биологические особенности и возделывание арахиса. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. № 181 (1). С. 119-127.

11. Бемова В. Д., Якушева Т. В., Асфандиярова М. Ш. Эколого-географическое изучение образцов арахиса по хозяйственно ценным признакам. Актуальные вопросы биологии, селекции, технологии возделывания и переработки сельскохозяйственных культур: Краснодар, 2021. С. 24-28.

References

1. Bogosoryanskaya L. V. Cultivation of Peanuts in the Arid Zone of the Astrakhan Region. Agrarian Scientific Journal. 2023. No 4. Pp. 4-8. <http://elibrary.ru/item.asp?id=50768294>

2. Mikhailov V. A., Vershinina O. L., Roslyakov Yu. F., Shpakov A. V. Characteristics of Peanut Seeds and Their Application in Baking. Advances in Modern Natural Sciences. 2005. No 5. Pp. 55-55. <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=8465>.

3. Zotikov V. I., Polukhin A. A., Gryadunova N. V. Development of innovative technologies in crop production based on breeding achievements. Legumes and cereals. 2023. No 2 (46). Pp. 5-9.

4. Shaposhnikova Yu. V., Korobova N. A., Korobov A. P., Puchkova E. V. Evaluation of the source material of field pea in breeding for productivity. Proceedings of the LV AUC. 2025. No 4 (82). Pp. 275-283.

5. Asanaliev A. Zh. Productivity of Peanut Varieties (*Arachis hypogaea* L.) in the Chui Valley of the Kyrgyz Republic. Advances in Modern Natural Sciences. Agricultural Sciences (06.01.00,06.03.00). 2018. No 2. Pp. 43-48. <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36670>

6. Sinare B., Mainingu A., Nebie B., et al. Joint analysis of peanut (*Arachis hypogaea* L.) cultivation system and production constraints in Burkina Faso. Ethnobiology and Ethnomedicine. 2021. Vol. 2.

7. Stalker H. T. Peanut (*Arachis hypogaea* L.). Field crops research. 1997. V. 53. No. 1-3. Pp. 205-217.

8. Seyidaliev N. Ya., Namazova R. V. Influence of Cultivation Technologies on the Structural Characteristics of Peanuts. Bulletin of Science and Practice. 2022. Vol. 8. No 4. Pp. 184-191.

9. Kulik K. N., Istomin S. A., Lebedeva T. N. Agroclimatic conditions of the Kalach Upland within the Volgograd Region. Proceedings of the LV AUC. 2024. No 6 (78). Pp. 13-24.

10. Kishlyan N. V., Bemova V. D., Matveeva T. V., Gavrilova V. A. Biological Features and Cultivation of Peanuts. Proceedings on Applied Botany, Genetics, and Breeding. 2020. No 181(1). Pp. 119-127.

11. Bemova V. D., Yakusheva T. V., Asfandiyarova M. Sh. Ecological and Geographical Study of Peanut Samples Based on Economically Valuable Characteristics. Current Issues in Biology, Breeding, Cultivation, and Processing of Agricultural Crops: Krasnodar, 2021. Pp. 24-28.

Информация об авторах

Богосорьянская Людмила Вячеславовна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук» (Российская Федерация, 416251, Астраханская область, Черноярский район, с. Солёное Займище, квартал Северный, 8), e-mail: Bogosoryanskaya@mail.ru

Author's Information

Bogosoryanskaya Lyudmila Vyacheslavovna, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 416251, Astrakhan region, Chernoyarsk district, village of Solenoe Zaymishche, Severny block, 8), e-mail: Bogosoryanskaya@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-14

AGRARIAN FORESTRY RECLAMATION AND EROSION ASSESSMENT OF THE STEPPE AGRARIAN LANDSCAPES IN THE SOUTHERN CHERNOZEM ZONE

Vdovenko A. V., Kochkar M. M., Voronina V. P., Vorobieva O. M.

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: anastasiya.vdovenko@mail.ru

Received 11.10.2025

Submitted 25.11.2025

Summary

Agroforestry and erosion assessment of steppe agrarian landscapes in the southern chernozem zone revealed a good quality of results when using geo-information technologies, allowing them to be widely used in the analysis, forecasting and development of preventive measures.

Abstract

Introduction. Agroforestry assessment of agricultural territories provides a wide range of application of various modern methods. The most attractive, objective and fast is a comprehensive remote analysis, which allows us to focus scientific and practical efforts in territories at risk due to the degradation of land resources occurring against the background of climatic and anthropogenic changes. An information database containing information on the location of protective forest stands and the protection of agricultural land in landscapes makes it possible to determine the current economic damage from land degradation, as well as plan the necessary resources to significantly increase the productivity of agroforestry farms. **Objects.** The research was carried out on forested agricultural lands of the steppe zone of the southern chernozems, the Novoanninsky test site in the Volgograd region. **Materials and methods.** To achieve the tasks set, methods for analyzing images of the spectral channels of satellite images Sentinel 2 were used using the publicly available QGIS 3.40 program. Data from the digital terrain model SRTM 3 were used for geomorphologi-

cal analysis of the territory. For the first time, based on a comprehensive analysis of the terrain and existing tree and shrub plantations, the degree of protection of the territory has been revealed and critical aspects of the sustainability of forested landscapes have been established. **Results and conclusions.** Remote and full-scale analysis was carried out at the Novoanninsky test site (area 14,890 ha) in the Volgograd region, maps of the steepness and exposure of slopes, the placement of forest protective plantings, cartographic layers of spatial distribution and the structure of arable land were developed. It was found that fields with an area of 100-200 hectares occupy 34 %, fields with an area of 200-300 and 300-400 hectares occupy 22 % each, 10 % of fields have an area of less than 100 hectares, 11 % – fields with sizes exceeding 400 hectares. With an erosion base of 65 m, fields with slope steepness up to 1.5 degrees occupy 57.9 % of the area, from 1.5 to 2.00 – 42.0 %, over 2.0 – less than 1 %. The arable lands at the observation site are mainly located on the slopes of the eastern (25.4 %), northern (24.7 %) and northeastern (24.1 %) orientations. The length of the hollow network is 294.4 km, the fragmentation of the territory by hollows is 1.9 km/km². The area of protective plantings located around the fields is 334.5 hectares, the perimeter is 221.3 km, the share of anti-erosion plantings is 151.9 hectares, the perimeter is 102.1 km. The total protective forest cover is 2.7 %. The agroforestry assessment revealed insufficient protection of arable lands due to non-compliance with the regulatory indicators for the placement of forest strips, therefore, it is recommended to carry out forestry and forestry work.

Keywords: agrarian forest landscapes, agrarian forestry management, geo-information analysis of agrarian forest landscape, protective forest plantations, PFP, soil protection organization of the territory.

Citation. Vdovenko A. V., Kochkar M. M., Voronina V. P., Vorobieva O. M. Agrarian forestry reclamation and erosion assessment of the steppe agrarian landscapes in the southern chernozem zone. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 125-136 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-14.

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

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

УДК 630.232.22

АГРОЛЕСОМЕЛИОРАТИВНАЯ И ЭРОЗИОННАЯ ОЦЕНКА СТЕПНЫХ АГРОЛАНДШАФТОВ В ЗОНЕ ЮЖНЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ

Вдовенко А. В., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Кочкар М. М., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Воронина В. П., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Воробьева О. М., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Агроресомелиоративная оценка аграрных территорий дает широкий маневр применения различных современных методов. Наиболее привлекательным, объективным и быстрым является комплексный дистанционный анализ, позволяющий сосредоточить научно-практические усилия на территориях, находящихся в зоне риска из-за деградации земельных ресурсов, происходящих на фоне климатических и антропогенных изменений. Информационная база данных, содержащая сведения о размещении защитных лесных насаждений, защищенности сельскохозяйственных угодий в ландшафтах, позволяет определить текущий экономический ущерб от деградации земель, а также спланировать необходимые ресурсы, чтобы существенно увеличить продуктивность агролесоландшафтов. **Объект.** Исследования проводились на лесомелиорированных сельскохозяйственных угодьях степной зоны южных черноземов, тестовый полигон «Новоаннинский» Волгоградской области. **Материалы и методы.** Для реализации поставленных задач были использованы методы анализа изображений спектрально-аналитических каналов космоснимков спутника Sentinel 2 с применением общедоступной программы QGIS 3.40. Для геоморфологического анализа территории использовались данные цифровой модели местности SRTM 3. Впервые на базе комплексного анализа рельефа местности, существующих древесно-кустарниковых насаждений выявлена степень защищенности территории и установлены критически важные аспекты устойчивости лесомелиорированных ландшафтов. **Результаты и выводы.** На тестовом полигоне (площадь 14 890 га) «Новоаннинский» Волгоградской области, проведен дистанционный и натурный анализ, разработаны карты крутизны и экспозиции склонов, размещения лесных защитных насаждений, картографические слои пространственного размещения и структуры пахотных земель. Установлено, что поля площадью от 100-200 га занимают 34 %, поля с площадью 200-300 и 300-400 га занимают по 22 %, 10 % полей имеют площадь менее 100 га, 11 % – поля с размерами, превышающими 400 га. При базисе эрозии 65 м, поля с крутизной склона до 1,5° занимают 57,9 % площади, от 1,5 до 2,0° – 42,0 %, свыше 2° – менее 1 %. Преимущественно, пахотные земли на полигоне наблюдений располагаются на склонах восточной (25,4 %), северной (24,7 %) и северо-восточной (24,1 %) ориентации. Длина ложбинной сети состав-

ляет 294,4 км, расчлененность территории ложбинами 1,9 км/км². Площадь полезащитных насаждений, находящихся вокруг полей – 334,5 га, периметр 221,3 км, доля противоэрозионных насаждений – 151,9 га, периметр 102,1 км. Общая полезащитная лесистость 2,7 %. Агролесомелиоративная оценка выявила недостаточную защищенность пахотных земель, из-за несоблюдения нормативных показателей размещения лесных полос, поэтому рекомендуется провести лесокультурные и лесохозяйственные работы.

Ключевые слова: *агролесоландшафты, агrolесомелиоративное обустройство, геоинформационный анализ агролесоландшафтов, защитные лесные насаждения, ЗЛН, почвозащитная организация территории.*

Цитирование Вдовенко А. В., Кочкарь М. М., Воронина В. П., Воробьева О. М. Агролесомелиоративная и эрозионная оценка степных агроландшафтов в зоне южных черноземов. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 125-136. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-14.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В степной зоне южных черноземов, где находится значительная часть сельскохозяйственных угодий Волгоградской области, широко распространены процессы деградации и опустынивания, которые выявляются как на пахотных землях, так и на пастбищных угодьях.

Среднегодовые потери верхнего плодородного слоя почвы в области составляют около 3-5 т/га, приводя к снижению урожайности на 2-3 ц/га (на смытых почвах) [1, 2]. Стрессовым агентом, стимулирующим эрозию и дефляцию, являются пропашные культуры и паровые поля. Необходимость защиты пахотных и пастбищных земель в степной и сухостепной зонах обусловлена не только использованием неадаптированных агротехнологий, но и неблагоприятными воздействиями погодных условий, которые можно смягчить, используя лесомелиоративную защиту территории. Многие исследователи отмечают, что созданные в прошлом веке агrolесомелиоративные системы не соответствуют нормативным показателям, поэтому недостаточное количество защитных лесных насаждений (ЗЛН) не обеспечивает эффективной противоэрозионной защиты, что приводит к снижению плодородия почвы и недобору сельскохозяйственной продукции. Агролесомелиоративные насаждения не только формируют экологический каркас территории, но и являются надежной и долговечной защитой улучшенного агроландшафта [3, 4].

Агроэкологическая эффективность ЗЛН во многом определяется их правильным размещением в отношении особенностей естественного ландшафта, завершенностью систем различных насаждений (деревья и кустарники), их текущим состоянием, лесомелиоративными параметрами (конструкция, рядность, породный состав). Поддержание лесной полосы в рабочем состоянии объясняется естественным старением древостоя, требующим проведения лесоводственных уходов, которые сохраняют эффективное мелиоративное воздействие на прилегающей территории. Актуальность неправильного проектирования ЗЛН также нельзя не учитывать, особенно при реконструкции действующей системы защитных насаждений и применении современных агротехнологий, чтобы добиться высокого почвенно-экологического эффекта. Минимизировать негативные последствия ранее проведенных и реализованных проектов агrolесомелиоративного обустройства позволяют современные методы исследования с использованием данных дистанционного зондирования, которые позволяют провести пространственную оценку состояния агролесоландшафтов [6, 7, 8].

Цель исследований заключалась в оценке лесомелиоративной обеспеченности, защищенности агроландшафтов, проводимой на основе пространственного размещения защитных лесных насаждений и выявлении потенциальной степени эрозионной опасности, учитывающей почвенно-геоморфологические характеристики земель для разработки мер по предотвращению их деградации.

Для проведения дистанционной оценки современной агроэкологической ситуации и состояния сельскохозяйственных угодий необходимо разработать тематические карты почвенных контуров, крутизны и экспозиции склонов, размещения существующих полей и защитных лесных насаждений, чтобы провести грамотное планирование и проектирование агrolесомелиоративных работ.

Впервые на базе комплексного анализа рельефа местности, существующих древесно-кустарниковых насаждений выявлена степень защищенности территории и установлены критически важные аспекты устойчивости лесомелиорированных ландшафтов.

Материалы и методы. Объектом исследований являлись агролесоландшафты степной зоны черноземных почв Новоаннинского района Волгоградской области, обустроенные системами ЗЛН. На севере области район граничит с Новониколаевским, на западе – с Урюпинским, на юго-западе – с Алексеевским, на юго-востоке с Михайловским, на востоке – с Киквидзенским районами. В районе преобладают сельскохозяйственные угодья, которые занимают около 272,0 тыс. га, включая 219,1 тыс. га пахотных земель. Полезащитная лесистость составляет 1,66 % [9, 10].

Территория Новоаннинского района расположена на Хоперско-Бузулукской ледниково-эрозионной равнине. Расчлененность рельефа достигает $1,0 \text{ км/км}^2$, на землях с крутизной более 2° расположено около 10 % сельскохозяйственных угодий. Пахотные земли в основном располагаются на южных маломощных черноземах (около 43 %). Черноземами южными эродированными занято 23 % и черноземами обыкновенными 15 %. Пастбища и сенокосы в основном приурочены к склонам балок или овражистых территорий. Значительная площадь пашни и пастбищ подвержена процессам водной эрозии, приводящей к плоскостному смыву, линейному размыву и оврагообразованию.

Древесно-кустарниковой растительностью защитного назначения в Новоаннинском районе занято 4776 га. В основном это полезащитные лесные полосы на пашне и противоэрозионные прибалочные насаждения на пастбищах. Породный состав в чистых и смешанных защитных насаждениях представлен вязом приземистым, ясенем ланцетным, кленом, скумпией, смородиной золотой и др.

Для определения детальных характеристик агролесоландшафтов в границах Новоаннинского района был выбран тестовый полигон «Новоаннинский», который имеет определенные геоморфологические характеристики, структуру пахотных полей, лесомелиоративную обеспеченность, свойственную агроландшафтам степной зоны южных черноземов. Общая площадь тестового полигона составила 14890,3 га (рисунок 1).



Рисунок 1 – Космоснимок тестового полигона «Новоаннинский», Новоаннинский район Волгоградской области

Figure 1 – Satellite image of the Novoanninsky test site, Novoanninsky district Volgograd region

Методика определения геоморфологических характеристик базируется на использовании геоинформационного анализа цифровой модели местности (SRTM 3) и создания аналитических векторных слоев [11, 12]. Тематическое изолинейное картографирование на основе полученных слоев позволило провести классификацию площади на территории ис-

следований по диапазонам высот и крутизне склона. Для оценки пространственного размещения участков пашни использовались крупномасштабные космоснимки сверхвысокого разрешения (0,3-1,0 м) спутника WorldView3. По созданным на основе этих снимков космокартам выделялась макроструктура полей и имеющихся защитных лесных насаждений [14]. В результате анализа полученных данных были определены морфометрические и геоморфологические характеристики полей, защищенных и не защищенных лесными насаждениями и их конфигурация. Анализ соответствия агролесомелиоративным нормам пространственного размещения лесных насаждений в агролесоландшафте (в соответствии с рельефом местности) осуществлялся в разработанной локальной ГИС с определением характеристик насаждений (расстояние между основными лесными полосами, площадь, периметр, длина, ширина, рядность). Также выявлялась структура систем лесных насаждений и степень выполнения ими защитных функций [14].

Геоинформационный анализ и разработка картографических слоев проводились с использованием программы QGIS, в результате которых были разработаны соответствующие картографические модели. Тематическое картографирование позволяет провести дискретное отображение данных и получить геоморфологические и морфометрические данные объектов, агроэкологическую оценку полей и размещения линейных почвозащитных рубежей.

Результаты и их обсуждение. Геоинформационный анализ позволил определить основные пространственные характеристики мезорельефа тестового полигона «Новоаннинский». Общая водосборная площадь составила 14890,3 га. Максимальная высотная отметка 155 м, минимальная 90 м, соответственно местный базис эрозии – 65 м. Средний угол наклона склонов – 1,57°, максимальный 9,16°.

Анализ почвенных разностей по космоснимкам и натурным изысканиям показал, что в границах тестового полигона на плакорных участках распространение получили типичные для района исследований черноземы южные слабоэродированные и незэродированные.

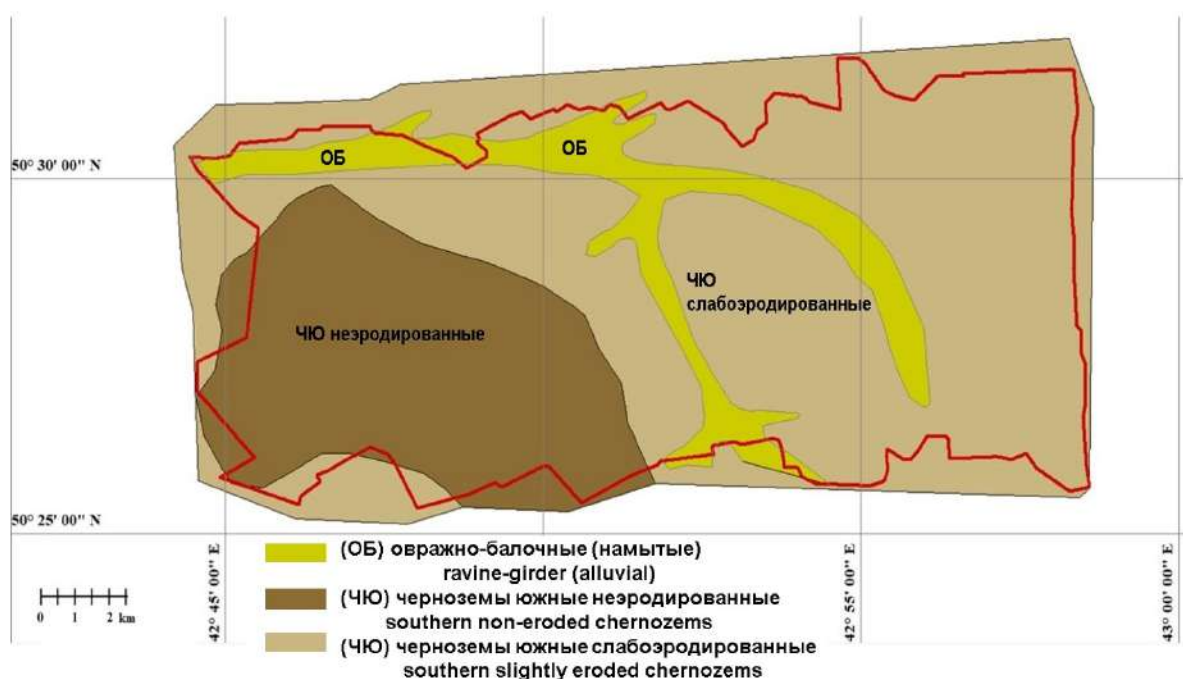


Рисунок 2 – Карта почвенных контуров тестового полигона «Новоаннинский»

Figure 2 – Map of the soil contours of the «Novoanninsky» test site

На территории тестового полигона «Новоаннинский», используя космоснимки высокого разрешения, была проанализирована агролесомелиоративная обустроенность пашни. В границах полигона имеется 81 поле. Поля имеют различную конфигурацию и размерность, общей площадью 12593,8 га (рисунок 3), которые располагаются в межбалочных аренах, занимают слабопологую и пологую территорию.



Рисунок 3 – Карта размещения пахотных полей тестового полигона «Новоаннинский»
Figure 3 – Map of the location of arable fields at the «Novoanninsky» test site

Анализ размеров пахотных участков показал (таблица 1), что при средней площади одного поля, составляющей около 155,6 га, почти 34 % приходится на диапазон 100-200 га (29 полей). Доля полей с диапазоном площади 200-300 и 300-400 га составляет около 22 % по каждому варианту. На поля с площадью до 100 га приходится около 10 % пашни. Остальную часть пашни, входящей в состав полигона занимают поля с размерами свыше 400 га. Отметим, что геометрическая форма полей, входящих в состав тестового полигона, имеет, в основном, прямоугольную форму и объясняется прямолинейно-клеточной организацией территории, которая в прошлом веке применялась повсеместно, но является недостаточно эффективной в случае активного проявления водной эрозии. При подобной организации территории не учитываются особенности рельефа, пути поверхностного стока талых и дождевых вод, а также возможность рационального размещения стокорегулирующих рубежей (включая ЗЛН) на местности.

Таблица 1 – Распределение размеров пашни по площади
Table 1 – Distribution of arable land size by area

Показатели / Indicators	Размерность поля (диапазон) по площади, га / Field dimension (range) by area, ha						Всего / Total
	0-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	
Количество полей, шт. / Number of fields, pcs	30	29	11	8	2	1	81
Суммарная пло- щадь по категории поля, га / Total area by field category, ha	1277,5	4273,9	2832,8	2804,4	881,1	524,1	12593,8
Доля категории, % / Category share, %	10,1	33,9	22,5	22,3	7,0	4,2	100

Наибольшие опасения возникают для полей, которые имеют большую площадь, а также если длинная сторона поля ориентирована вдоль склона, что существенно увеличивает риск развития водной эрозии, особенно во время интенсивных ливней и снеготаяния. Также для полей, имеющих большую площадь, существует высокий риск развития процессов дефляции, из-за низкой эффективности лесной мелиорации, формирования улучшенного микроклимата не на всей территории межклеточного пространства, образования незащищенных пахотных участков. В зоне оптимальной лесистости и защищенности, нахо-

дятся поля площадью до 100 га, занимающие около 10 % территории полигона. На них формируется и сохраняется в течение всего агросезона благоприятная микроклиматическая среда для выращивания сельскохозяйственных культур.

В целях получения дополнительной морфометрической информации о мезорельефе изучаемой территории был заложен модельный гипсометрический профиль протяжённостью 18,34 км в направлении с северо-востока на юго-запад (рисунок 4).

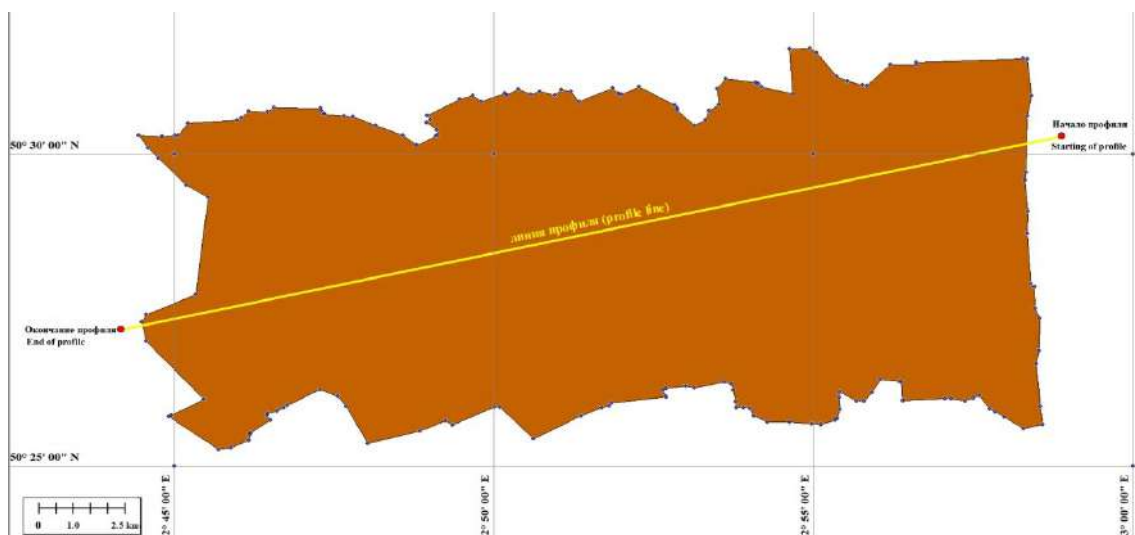


Рисунок 4 – Локализация гипсометрического профиля на тестовом полигоне «Новоаннинский»
Figure 4 – Localization of the hypsometric profile at the «Novoanninsky» test site

Подробные характеристики макро- и мезорельефа на линии прохождения профиля представлены на рисунке 5.



Рисунок 5 – Профиль рельефа в границах тестового полигона «Новоаннинский»
Figure 5 – Relief profile within the boundaries of the «Novoanninsky» test site

Приводим детальные характеристики профиля. Начало профиля: 50° 30' 17.6" С.Ш., 42° 58' 53.1" В.Д. Высота в начале профиля: 128,9 м. Конец профиля: 50° 27' 11.4" С.Ш., 42° 44' 10.1" В.Д. Высота в конце профиля: 113,6 м. Длина профиля: 18,34 км. Перепад высот: 38,8 м. Минимальная высота: 102,2 м. Максимальная высота: 141,0 м. Азимут: 251° 47' 59.8". Максимальный угол наклона склона по профилю: 7,52° на расстоянии 7,49 км от начала профиля.

Учет и фиксация данных крутизны земной поверхности, включая пахотные поля, необходим при выборе выращиваемых культур и оптимизации севооборотов, исходя из их почвозащитной способности, проектировании комплекса почвозащитных мероприятий, размещении полезащитных и противоэрозионных насаждений [13, 14]. Применение гипсометрических данных об особенностях мезорельефа позволяет выявлять индивидуальные для каждого поля, потенциальные угрозы развития эрозионных процессов.

Карта крутизны склонов тестового полигона «Новоаннинский» представлена на рисунке 6.

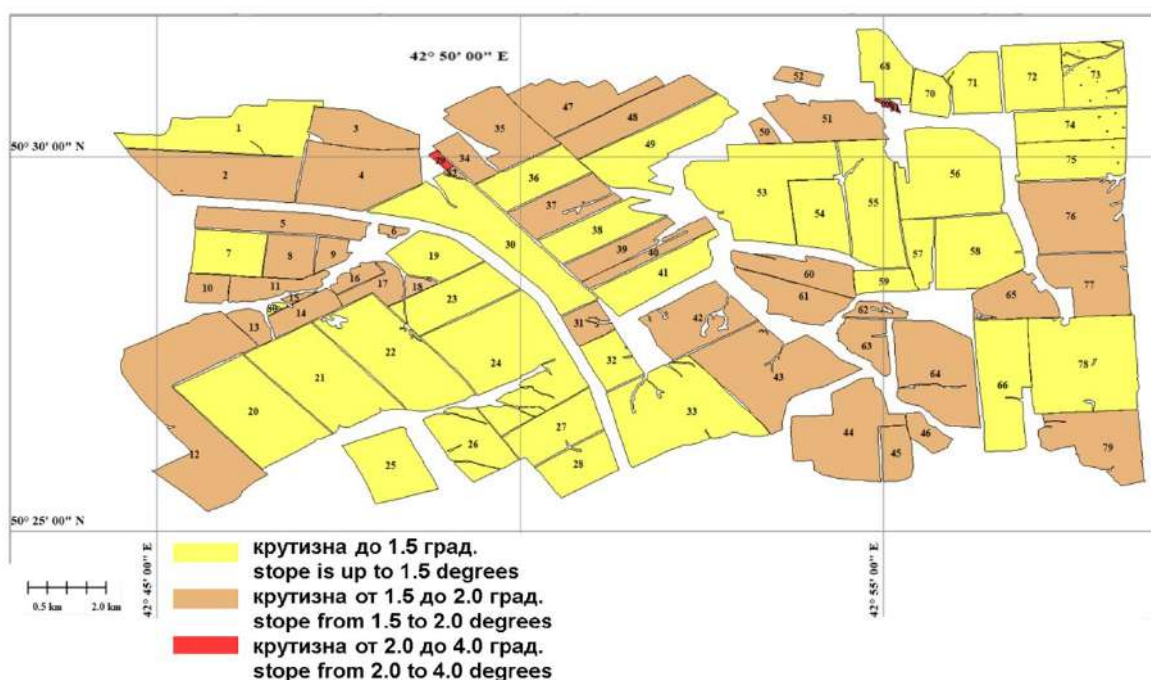


Рисунок 6 – Карта крутизны склонов тестового полигона «Новоаннинский»

Figure 6 – Slope steepness map of the «Novoanninsky» test site

Наибольшая площадь пашни приходится на поля со средней крутизной до $1,5^{\circ}$ – 7293,5 га (57,9 %), в диапазоне крутизны склона от $1,5$ до $2,0^{\circ}$ – 5287,7 га или 42,0 % от всей площади. Доля пахотных земель с крутизной свыше 2° составляет менее 1% (таблица 2).

Экспозиция склона, показывает ориентацию наклона земной поверхности относительно частей света. Экспозиция является важной характеристикой рельефа, показывающей ландшафтно-эрозионные особенности территории. Известно, что склоны инсолируемых экспозиций (южных) имеют более низкую устойчивость к эрозионным процессам, по сравнению с теневыми (северными) [5, 7].

Таблица 2 – Распределение полей по крутизне склона на тестовом полигоне «Новоаннинский»

Table 2 – Distribution of fields by slope steepness at the Novoanninsky test site

Показатели / Indicators	Диапазон крутизны склона, $^{\circ}$ / Slope steepness range, $^{\circ}$				
	до 1,5 / up to 1.5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	свыше 3,0 / over 3.0
Количество полей / Number of fields	36	42	1	-	2
Суммарная площадь, га / Total area, ha	7293,5	5287,7	7,8	-	4,8

Карта экспозиции склонов тестового полигона «Новоаннинский» представлена на рисунке 7.

Пахотные земли расположены преимущественно на склонах восточной (25,4 %), северной (24,7 %) и северо-восточной экспозиции (24,1 %). Также значительная часть пашни (12,2 %) находится на эрозионно опасных склонах юго-восточной ориентации.

Таблица 3 – Распределение полей по экспозиции склона

Table 3 – Distribution of fields by slope exposure

Показатели / Indicators	Экспозиция, румб / Exposure, room							
	С / N	С-В / N-E	В / E	Ю-В / S-E	Ю / S	Ю-З / S-W	З / W	С-З / N-W
Количество полей / Number of fields	22	20	16	8	6	6	-	3
Суммарная площадь, га / Total area, ha	3111,1	3034,7	3192,9	1538,3	324,9	704,0	-	687,9

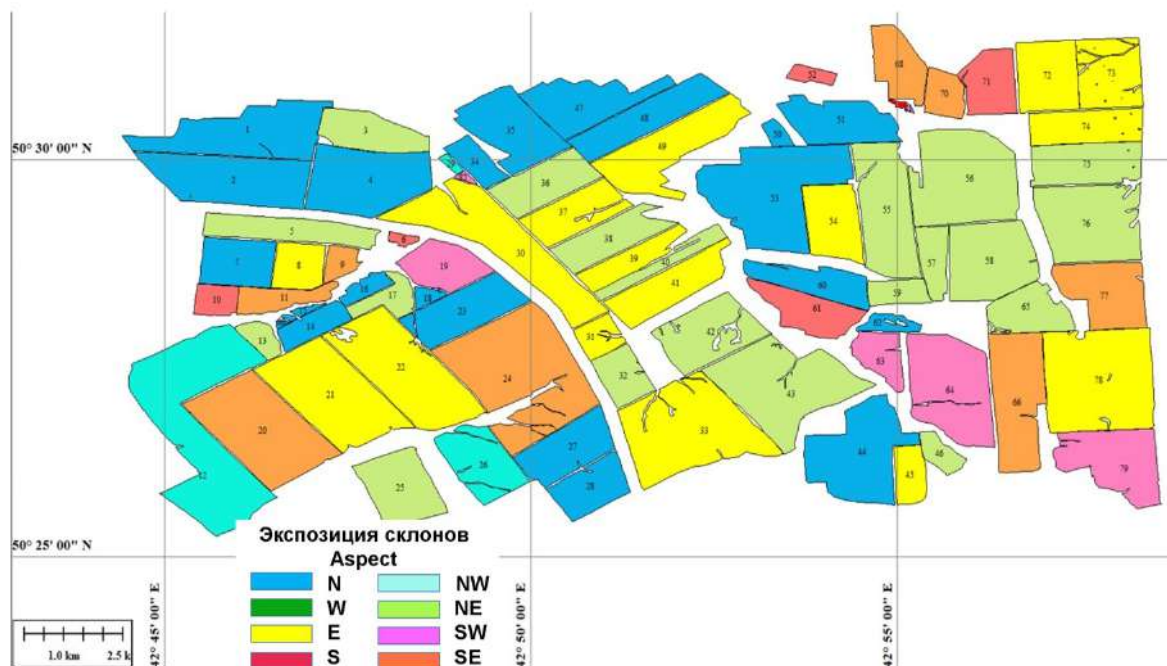


Рисунок 7 – Карта экспозиции склонов тестового полигона «Новоаннинский»
Figure 7 – Map of the slopes of the «Novoanninsky» test site

При проектировании противоэрозионных мероприятий и размещении стокоперехватывающих рубежей, в виде лесонасаждений и простейших земляных гидротехнических сооружений, учитывается характер и протяженность тальвегов гидрографической сети. На полигоне длина ложбинной сети составила 294,4 км, при расчлененности территории ложбинами 1,9 км/км².

Карта размещения защитных лесных насаждений на территории тестового полигона представлена на рисунке 8

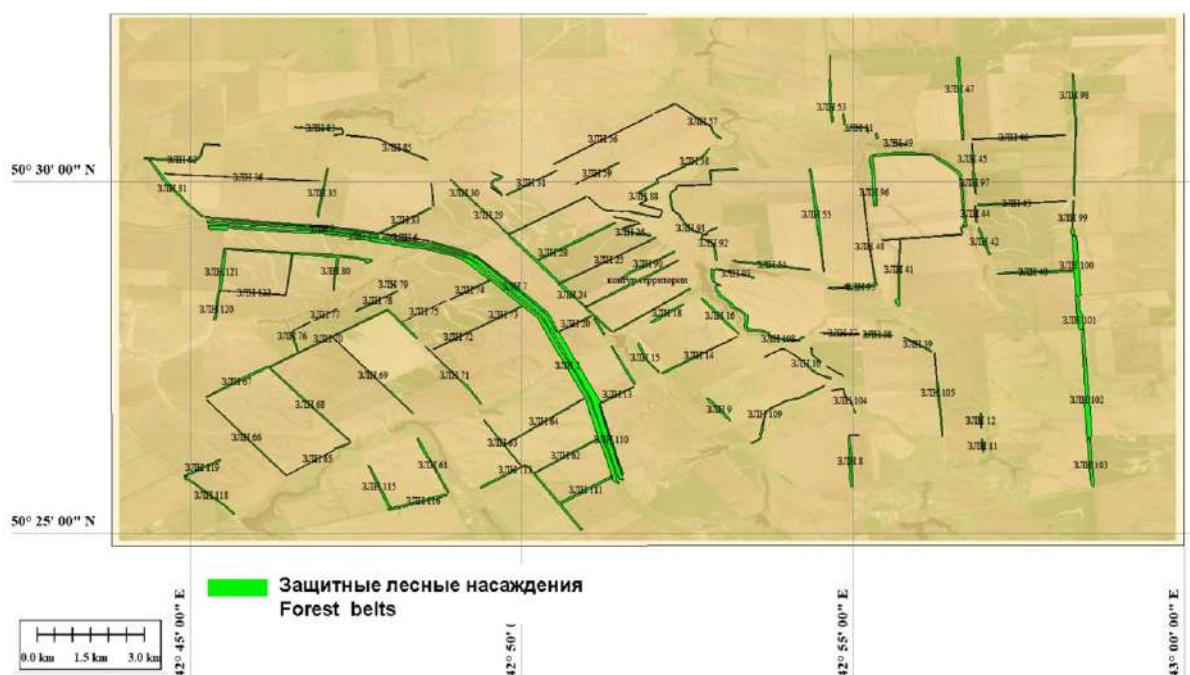


Рисунок 8 – Карта размещения защитных лесонасаждений тестового полигона «Новоаннинский»
Figure 8 – Map of the placement of protective forest plantations at the «Novoanninsky» test site

На тестовом полигоне выделено 122 существующих защитных лесных полосы. Они представлены различными по конструкции и назначению ЗЛН. По периметру полей произрастает 75 полезащитных насаждений, вблизи оврагов и балок имеется 41 прибалочная полоса, на крутых склонах растет 2 стокорегулирующие полосы и вдоль автомагистралей имеется 4 придорожные. Общая площадь древесно-кустарниковых насаждений составляет 651,7 га. Общий периметр 369,6 км. В таблице 4 приведены основные площадные характеристики существующих полезащитных, стокорегулирующих, прибалочных, и придорожных лесных полос.

Таблица 4 – Характеристика защитных лесных насаждений тестового полигона «Новоаннинский»
Table 4 – Characteristics of protective forest stands at the Novoanninsky test site

Функциональное назначение лесных полос / Functional purpose of forest strips	Площадь лесных полос, га / Area of forest strips, ha	Периметр лесных полос, км / Perimeter of forest strips, km
Полезащитные / Protective measures	334,5	221,3
Стокорегулирующие / Drain regulating	17,6	9,8
Прибалочные / Baltic States	134,3	92,3
Придорожные / Roadside	165,3	45,9

Наибольшие площади в агролесоландшафтах полигона «Новоаннинский» обустроены полезащитными ветроломными лесными полосами, их доля составляет 51,3 % от всех насаждений. Также значительные площади занимают противоэрозионные прибалочные и придорожные насаждения.

При натуральных показателях полезащитной лесистости, составляющей 2,7 % на пашне полигона «Новоаннинский», в целом законченные системы ЗЛН не образованы, так как имеются территории, где отсутствуют ЗЛН противодефляционной и противоэрозионной направленности. Агролесомелиоративная оценка показала недостаточную защищенность сельскохозяйственных земель. При нормативах размещения основных полезащитных лесных полос для зоны южных чернозёмов в 400 м, межполосные расстояния значительно превышены. На эрозионно опасных участках пашни размещение лесонасаждений не учитывает особенности рельефа и они малоэффективны для защиты почв от эрозионных процессов.

Заключение. Проведенный геоинформационный картографический анализ агролесоландшафтов тестового полигона «Новоаннинский» позволил оценить структуру и лесомелиоративную обустроенность пашни. Составлены карты почвенных контуров, крутизны и экспозиции склонов, размещения защитных лесных насаждений.

Поля с крутизной склона до 1,5° занимают 57,9 % от общей площади, от 1,5 до 2,0° – 42,0 %, свыше 2° – менее 1 %. На пахотных землях экспозиция склонов преимущественно восточная (25,4 %), северная (24,7 %) и северо-восточная (24,1 %). Протяженность ложбинной сети составила 294,9 км, расчлененность ложбинной сетью 1,9 км/км². Площадь полезащитных насаждений составляет 334,5 га, периметр 221,3 км; противоэрозионных 151,9 га, периметр 102,1 км. Полезащитная лесистость 2,7 %. Агролесомелиоративная оценка выявила слабую защищенность пахотных земель, что выражается в отсутствии законченной противоэрозионной и противодефляционной организации территории. Требуется дополнительная посадка полезащитных и противоэрозионных лесных полос с учетом ландшафтно-геоморфологических характеристик, а также осуществление лесоводственных уходов за существующими насаждениями. Выявлено преимущество геоинформационного анализа и картографирования с использованием ландшафтно-эрозионных характеристик и пространственного размещения защитных лесонасаждений. Апробированный метод следует шире внедрять при проектировании высокопродуктивных агролесоландшафтов в степной зоне южных черноземов.

Conclusions. The geo-information cartographic analysis of agroforestry landscapes of the Novoanninsky landfill made it possible to assess the structure and forest management of arable land. Maps of soil contours, steepness and exposure of slopes and placement of protective forest plantations have been compiled.

Fields with slope steepness up to 1.5° occupy 57.9 % of the total area, from 1.5 to 2.00 – 42.0 %, over 2.0 – less than 1 %. In arable lands, the slopes are mainly exposed to the east (25.4 %), north (24.7 %) and north-east (24.1 %). The length of the hollow network was 294.9 km, the fragmentation of the hollow network was 1.9 km/km². The area of field-protective plantings is 334.5 hectares, with a perimeter of 221.3 km; anti-erosion 151.9 hectares, with a perimeter of 102.1 km. The protective forest cover is 2.7 %. The agroforestry assessment revealed poor protection of arable lands, which is reflected in the absence of a complete anti-erosion and anti-deflationary organization of the territory. Additional planting of protective and anti-erosion forest strips is required, taking into account the land-

scape and geomorphological characteristics, as well as the implementation of forestry care for existing plantings. The advantage of geo-information analysis and mapping using landscape erosion characteristics and spatial placement of protective forest stands is proved. The proven method should be widely used in the design of highly productive agroforestry landscapes in the steppe zone of southern chernozems.

Библиографический список

1. Кулик К. Н., Беляев А. И., Пугачёва А. М. Роль защитного лесоразведения в борьбе с засухой и опустыниванием агроландшафтов. Аридные экосистемы. 2023. Т. 29. № 1 (94). С. 4-14.
2. Волков С. Н. и др. Планирование агролесомелиоративных мероприятий в Российской Федерации при проведении комплекса землеустроительных и мелиоративных работ на землях сельскохозяйственного назначения. Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2023. № 5. С. 271-282.
3. Кулик К. Н. Защитные лесные насаждения – основа экологического каркаса агротерриторий. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 1. С. 18-21.
4. Кулик А. В., Воронина В. П., Узолин А. И. Опыт формирования агролесомелиоративной системы на правом берегу среднего Дона с целью повышения продуктивности агроэкосистем. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 3 (55). С. 142-152.
5. Барабанов А. Т. и др. К вопросу о стокорегулирующей роли лесомелиоративных и агротехнических противоэрозионных мероприятий. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 3 (55). С. 24-35.
6. Рулев А. С. и др. Геоинформационные технологии в обеспечении точного земледелия. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 4 (52). С. 115-122.
7. Yuferev V. G. et al. Degradation of landscapes in the south of the Privolzhsky upland. Journal of Forest Science. 2019. V. 65. № 5. Pp. 195-202.
8. Кочкар М. М., Воробьева О. М., Вдовенко А. В. Дистанционная ландшафтно-эрозионная оценка и агролесомелиоративная обеспеченность водосборов. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 4 (48). С. 91-99.
9. Pugacheva A. M. Functionality of Zonal Agroforestry Systems on Agricultural Land of Dry Territories. Forests. 2023. V. 14. No 12. P. 2364.
10. Синельникова К. П. и др. Исследование Земли из космоса. 2023. № 5. С. 85-96.
11. Кулик К. Н., Юферов В. Г. Компьютерное математико-картографическое моделирование агролесоландшафтов на основе аэрокосмической информации. Доклады Российской академии наук. 2010. № 1. С. 52-54.
12. Юферов В. Г., Юферов М. В. Оценка эрозионного состояния агроландшафтов по космоснимкам. Научно-агрономический журнал. 2018. № 1 (102). С. 26-28.
13. Синельникова К. П., Юферов В. Г. Геоинформационный анализ пространственных характеристик агролесоландшафтов. Геодезия и картография. 2024. Т. 85. № 6. С. 43-55.
14. Кулик К. Н., Кошелев А. В. Методическая основа агролесомелиоративной оценки защитных лесных насаждений по данным дистанционного мониторинга. Лесотехнический журнал. 2017. Т. 7. № 3 (27). С. 107-114.

References

1. Kulik K. N., Belyaev A. I., Pugacheva A. M. The role of protective afforestation in combating drought and desiccation of agricultural landscapes. Arid ecosystems. 2023. Vol. 29. No 1 (94). Pp. 4-14.
2. Volkov S. N. et al. Planning agroforestry measures in the Russian Federation during a complex of land management and reclamation works on agricultural lands. Land management, cadaster and land monitoring. 2023. No 5. Pp. 271-282.
3. Kulik K. N. Protective forest plantations – the basis of the ecological framework of agrarian territories. Bulletin of the Russian Agricultural Science. 2018. No 1. Pp. 18-21.
4. Kulik A. V., Voronina V. P., Uzolov A. I. The experience of forming an agroforestry system on the right bank of the middle Don in order to increase the productivity of agroecosystems. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and higher professional education. 2019. No 3 (55). Pp. 142-152.
5. Barabanov A. T. et al. On the issue of the runoff-regulating role of forest reclamation and agrotechnical erosion control measures. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and higher professional education. 2019. No 3 (55). Pp. 24-35.
6. Rulev A. S. et al. Geo-information technologies in ensuring precision agriculture. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and higher professional education. 2018. No 4 (52). Pp. 115-122.
7. Yuferev V. G. et al. Degradation of landscapes in the south of the Privolzhsky upland. Journal of Forest Science. 2019. Vol. 65. No 5. Pp. 195-202.
8. Kochkar M. M., Vorobyeva O. M., Vdovenko A. V. Remote landscape erosion assessment and agroforestry provision of catchments. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and Higher professional education. 2017. No 4 (48). Pp. 91-99.
9. Pugacheva A. M. Functionality of Zonal Agroforestry Systems on Agricultural Land of Dry Territories. Forests. 2023. Vol. 14. No 12. P. 2364.
10. Sinelnikova K. P. et al. Mapping of arable lands in the agro-landscapes of the Volgograd region according to remote sensing data. Exploring the Earth from space. 2023. No 5. Pp. 85-96.
11. Kulik K. N., Yuferev V. G. Computer mathematical and cartographic modeling of agroforestry landscapes based on aerospace information. Reports of the Russian Academy of Sciences, 2010. No 1. Pp. 52-54.
12. Yuferev V. G., Yuferev M. V. Assessment of the erosive state of agrarian landscapes from satellite images. Scientific and agronomic journal. 2018. No 1 (102). Pp. 26-28.
13. Sinelnikova K. P., Yuferev V. G. Geoinformation analysis of spatial characteristics of agroforestry landscapes Geodesy and cartography. 2024. Vol. 85. No 6. Pp. 43-55.
14. Kulik K. N., Koshelev A. V. Methodological basis of agroforestry assessment of protective forest plantations according to remote monitoring data. Forestry engineering magazine. 2017. V. 7. No 3 (27). Pp. 107-114.

Информация об авторах

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

Кочкар Максим Михайлович, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр., 26), ORCID: 0000-0003-1458-0731, e-mail: mmk_7@mail.ru

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

Воробьева Ольга Михайловна, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр., 26), ORCID 0000-0001-6299-4977, e-mail: agro034@mail.ru

Authors' Information

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

Kochkar Maksim Mikhailovich, Candidate of Agricultural Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), ORCID:0000-0003-1458-0731, e-mail: mmk_7@mail.ru

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

Vorobieva Olga Mikhailovna, Candidate of Agricultural Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26) ORCID 0000-0001-6299-4977, e-mail: agro034@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-15

FEATURES OF THE FORMATION OF THE SPRING WHEAT HARVEST STRUCTURE IN THE ARID CONDITIONS OF THE LOWER VOLGA REGION**Gaidamakina E. V.**

*Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
Solenoe Zaymishche, Astrakhan region, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: gaidamakina71@mail.ru

Received 17.04.2025

Submitted 11.09.2025

Summary

In the process of breeding new varieties of grain crops, the characteristics that determine the structure of the crop retain their key role as the main indicators for the analysis and selection of initial breeding material. In addition to agro-technical techniques and breeding methods, environmental factors have a significant impact on the formation of the severity of individual components of the crop structure and their interrelation. In this regard, the purpose of the presented research was to study the correlation between yield, key elements of its structure and some agronomic characteristics of zoned varieties and promising lines of spring wheat in the arid climate of the Astrakhan region.

Abstract

Introduction. High-quality varieties are one of the key factors in the production of agricultural products. This is especially important in conditions of deteriorating soil fertility and changing climatic conditions in Russia. **The objects** of the study were introduced samples of spring wheat from the VIR collection. **Materials and methods.** Through the use of structural and correlation analyses, the parameters of the main elements of the crop structure and the assessment of their role in shaping the overall yield were determined. The tests of the varieties were carried out in non-watering conditions, without the use of mineral fertilizers. The variability of the studied traits was estimated on average over the study period (2023-2024). **Results and conclusions.** In the course of the conducted research, 82 samples of spring wheat of various ecological and geographical origins were studied. According to the results of the studies, cultivars with high yields were identified: Chi 85-4268 (China) – 2.35 t/ha; 66246 – 2.11 t/ha; Albidum 29 (Saratov region) – 2.07 t/ha; SU TARRAFAL (Germany) – 2.18 t/ha; Asar (Kazakhstan) – 2.10 t/ha. A correlation analysis conducted to establish the relationship between the yield of spring wheat and the productivity components demonstrated a significant effect of the number of productive stems ($r=0.70$) and the weight of grain from the ear ($r=0.61$) on the formation of the crop. The noted samples are of interest to modern agriculture due to the combination of adaptive characteristics and stable yields in the arid climate of the Astrakhan region.

Keywords: *spring wheat, varieties of spring wheat, the structure of the spring wheat crop, the formation of the spring wheat crop.*

Citation. Gaidamakina E. V. Features of the formation of the spring wheat harvest structure in the arid conditions of the Lower Volga region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 136-142 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-15.

Author's contribution. The author of this study was directly involved in the execution and analysis of this work. The author of the article approved the submitted final version.

Conflict of interest. The author declares that there is no conflict of interest.

УДК 631.527.1

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ УРОЖАЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ
В ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ****Гайдамакина Е. В.**, кандидат сельскохозяйственных наукФГБНУ Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН
Астраханская область, село Солёное Займище, Российская Федерация

Актуальность. Высококачественные сорта являются одним из ключевых факторов в производстве сельскохозяйственной продукции. Это особенно важно в условиях ухудшения плодородия почв и изменения климатических условий на территории России. **Объектами исследования** являлись интродуцированные образцы яровой пшеницы из коллекции ВИР. **Материалы и методы.** Посредством применения структурного и корреляционного анализов были установлены параметры основных элементов структуры урожая и оценка их роли в формировании общей урожайности. Испытания сортов проводились в условиях богары, без использования минеральных удобрений. Изменчивость исследуемых признаков оценивалась в среднем за период исследований (2023-2024 гг.). **Результаты и выводы.** В ходе проведенных исследований было изучено 82 образца яровой пшеницы различного эколого-географического происхождения. По результатам проведенных исследований были выделены сортообразцы с высоким показателем урожайности: Chi 85-4268(Китай) – 2,35 т/га; 66246 – 2,11 т/га; Альбидум 29 (Саратовская обл.) – 2,07 т/га; SUTARRAFAL (Германия) – 2,18 т/га; Асар (Казахстан) – 2,10 т/га. Корреляционный анализ, проведенный для установления взаимосвязи между урожайностью яровой пшеницы и компонентами продуктивности, продемонстрировал значительное влияние количества продуктивных стеблей ($r=0,70$) и массы зерна с колоса ($r=0,61$) на формирование урожая. Отмеченные образцы представляют интерес для современного сельского хозяйства благодаря сочетанию адаптивных характеристик и стабильной урожайности в условиях засушливого климата Астраханского региона.

Ключевые слова: яровая пшеница, сорта яровой пшеницы, структура урожая яровой пшеницы, формирование урожая яровой пшеницы.

Цитирование. Гайдамакина Е. В. Особенности формирования структуры урожая яровой пшеницы в засушливых условиях Нижнего Поволжья. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 136-142. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-15.

Авторский вклад. Автор исследования принимал непосредственное участие в выполнении и анализе данного эксперимента. Автор статьи одобрил представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Сортосовые особенности являются ключевым фактором, определяющим агротехнические требования для выращивания той или иной культуры. Согласно многолетней статистике, накопленной в аграрной сфере как в России, так и за рубежом, вклад сортов в общий прогресс урожайности за последние три десятилетия составляет от 25 % до 50 %.

Многие современные сорта обладают значительным потенциалом урожайности, однако в реальных производственных условиях он часто не реализуется в полной мере. Причинами этого являются недостаточно высокий уровень агротехники, слабая устойчивость растений к вредителям и болезням, а также их уязвимость к неблагоприятным факторам окружающей среды [1, 2].

Сорта должны демонстрировать хорошую скороспелость, высокую продуктивность и отличные характеристики зерна, а также быть адаптированными к засухе и устойчивыми к полеганию.

В зоне Нижнего Поволжья, где сельское хозяйство подвержено множеству рисков, ключевым моментом является выбор сортов и гибридов агрокультур, которые могут максимально эффективно использовать ограниченный вегетационный период, рационально потреблять влагу и противостоять жаркой погоде. Селекционеры трудятся над разработкой новых разновидностей, приспособленных к специфике местности, отличающихся повышенной засухоустойчивостью, солевыносливостью, а также устойчивостью к распространенным заболеваниям и вредителям.

Астраханская область относится к зоне рискованного земледелия, что обуславливает необходимость внимательного выбора технологий возделывания и сортов растений [3, 4].

Под воздействием Сибирского циклона на данной территории наблюдается рост атмосферного давления, снижение облачности и уменьшение объема осадков, что приводит к установлению низких температур зимой в условиях короткого дня и ясного неба. В теплое время года этот же циклон, напротив, становится причиной повышения температур, что способствует установлению знойной погоды. Для климата данной местности характерна ярко выраженная континентальность, проявляющаяся в малом количестве осадков и изменчивости погодных условий. Летний период отличается высокими температурами, однако переходные сезоны – весна и осень – отличаются относительно мягкой и теплой погодой.

Одной из ключевых особенностей климата является дефицит выпадающих осадков, годовое количество которых варьируется в пределах 250-300 мм. Летние температуры также довольно высокие, достигая в июле в среднем +24...+36 °С. Это приводит к интенсивному испарению влаги с поверхности, достигающему 900-1100 мм, что в несколько раз превосходит объем выпадающих осадков. Фактические климатические сезоны не совпадают с календарными.

Принимая во внимание современные климатические изменения, необходимо разрабатывать и внедрять адаптационные стратегии в сельском хозяйстве. Это подразумевает не только селекцию новых сортов и гибридов, но и разработку инновационных агротехнических методов, направленных на повышение сопротивляемости сельскохозяйственных культур к засушливым условиям, жаре и другим негативным факторам.

В связи с этим возрастает роль сельскохозяйственных культур, обладающих повышенной устойчивостью к неблагоприятным почвенным, климатическим и погодным факторам. Максимальная урожайность культур достигается только при наличии у них устойчивости к абиотическим и биотическим стрессовым факторам. Неблагоприятные природные условия, в свою очередь, подчеркивают важность экологической устойчивости растений для реализации их потенциальной урожайности [8, 9, 10, 11].

Данное исследование направлено на отбор перспективных и урожайных сортов яровой пшеницы, обладающих комплексом важных хозяйственных признаков и повышенной устойчивостью к засушливым условиям Северного Прикаспия.

Материалы и методы. В качестве материалов для изучения использовались 82 разновидности яровой пшеницы, привезенные из разных стран (Китай, Германия, Республика Беларусь, Польша, Украина, Чехия и сорта, выведенные в России). Эксперименты проводились в течение 2023-2024 годов на территории ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» в условиях неполивного земледелия. Экспериментальный участок расположен в двух километрах к северо-западу от села Солёное Займище. Почвы на участке представлены светло-каштановыми солонцеватыми почвами, характерными для данной местности.

Полевые эксперименты, наблюдения и лабораторные исследования осуществлялись на основе следующих методик: Б. А. Доспехов, «Методика полевого опыта», Л. С. Кельчевская, «Методы обработки наблюдений в агроклиматологии», «Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск второй, зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры», а также «Методические рекомендации по пополнению, сохранению в живом виде и изучению мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале» [12].

Результаты и обсуждение. Коллекционный питомник включал 82 разновидности яровой пшеницы, представленные однократной повторностью.

Размер каждой делянки с сортообразцом составлял 1 м², с междурядьями 0,3 м. Предшествующей культурой для питомника яровой пшеницы был ранний пар.

Расположение делянок в эксперименте было систематическим. Посев осуществлялся вручную, с нормой высева 400 семян на квадратный метр.

В качестве стандарта использовался сорт яровой пшеницы Саратовская 70, адаптированный к условиям Нижнего Поволжья.

В 2023 году посев образцов яровых культур был произведен в начале апреля. В период посева среднесуточная температура воздуха достигла отметки +12,2 °С. Температура почвы на глубине от 5 до 10 см варьировала от +11,0 до +9,9 °С, а влажность почвы в посевном слое на участках питомника составляла 16,0 % и 16,4 %, соответственно. Сбор урожая проводился 26 и 27 июля.

Сложившиеся в весенне-летний сезон благоприятные метеорологические условия положительно сказались на активном росте и развитии зерновых культур. Этому способствовало достаточное количество выпавших осадков (весной – 101,5 мм) и оптимальный температурный режим в фазы кущения и интенсивного роста яровых.

Первые всходы яровых зерновых культур были отмечены на седьмой день, а массовое появление – на двенадцатый день после посева. Фаза "всходы – колошение" (с 3 апреля по 7 июня) протекала при умеренно теплой и влажной погоде и продолжалась в среднем от 58 до 63 дней. Момент созревания определялся датой наступления полной спелости зерна. Продолжительность периода вегетации яровой пшеницы, от появления всходов до созревания, в среднем составила от 87 до 105 дней.

Гидротермический коэффициент (ГТК) составил 0,6, указывая на умеренно засушливый характер данного периода.

В 2024 году посевные работы образцов яровой пшеницы проводились в первой декаде апреля. Средняя суточная температура воздуха в период посева достигала +14,2 °С. Температура почвы на глубине 5-10 см поднялась до +14,1 и +13,7 °С соответственно. Влажность почвы в посевном слое составляла 15,8 %, а общий запас влаги – 186,82 мм. Фаза от посева до появления всходов заняла от 9 до 14 дней. Фаза от всходов до начала колошения длилась в среднем от 57 до 66 суток. Общая продолжительность вегетационного периода яровой пшеницы, начиная с фазы всходов и заканчивая полным созреванием зерна, составила в среднем от 79 до 100 дней. Уборка урожая была проведена 15 июля 2024 года.

Метеорологические условия весенне-летнего периода были не самыми оптимальными для роста и развития яровых зерновых культур. Недостаток осадков (2,0 мм за весенние месяцы) негативно сказывался на кущении, однако оптимальная температура воздуха и достаточный запас продуктивной влаги в метровом слое почвы (186,82 мм) способствовали их росту и развитию. За весь период вегетации выпало всего 9,1 мм осадков. ГТК составил 0,1, что указывает на острозасушливый характер периода.

Среди образцов яровой пшеницы коротким вегетационным периодом (86-90 дней) в среднем за два года отличились: Гречанка, Добрая, Награда, KWS Sharki, M83-1601, Nil avocet s yr7, Саратовская 70-стандарт, что характеризует их как раннеспелые. Образцы с вегетационным периодом более 90 дней были отнесены к группе среднеспелых.

Урожайность зерновых определяется совокупностью факторов, включающих в себя взаимосвязь между числом продуктивных стеблей на определенном участке, зерновой наполненностью колоса и массой тысячи зерен.

Если плотность стеблестоя можно контролировать с помощью агротехнических приемов, то количество зерен в колосе, и в особенности, вес 1000 зерен, представляют собой генетически обусловленные признаки, изменение которых требует селекционной работы.

На основании анализа показателей, составляющих структуру урожая, проводилась оценка засухоустойчивости образцов из коллекции. Более высокие значения элементов структуры указывают на лучшую адаптацию образца к условиям засухи [5, 6, 25].

Нехватка продуктивной влаги в годы исследования способствовала ускорению процессов формирования генеративных органов у некоторых образцов зерновых культур. В таких условиях были отмечены образцы с коротким колосом, низким количеством колосков и щуплым легковесным зерном. Конечным результатом этого явилось существенное снижение продуктивности образцов на 45 % и более относительно контрольного варианта. Такие образцы были охарактеризованы, как незасухоустойчивые и исключены из дальнейшего изучения в следующие года. Среди сортообразцов незасухоустойчивыми признаны Тулайковская золотистая (Самарская обл.), Эстер (Московская обл.), Тулайковская 10 (Самарская обл.), Pícolo (Германия), Кинельская Заря (Самарская обл.), Байкальская (Бурятия), Waluta (Польша), Л 140 (Курганская обл.), SUANAB (Германия), Степная 17 (Казахстан), Lovitt (Канада), Babui (Испания).

Анализ элементов структуры урожая образцов остальных яровой пшеницы, выявил значительное варьирование показателей продуктивности по образцам. Высота растений в опыте варьировала по образцам от 44 см до 78 см. Высокорослые: M83-1601, LineSr 32 (Австралия), низкорослыми были признаны образцы: Пексесо (Челябинская обл.), Донская элегия (Алтайский край) (таблица 1).

Таблица 1 – Элементы продуктивности наиболее перспективных сортообразцов яровой пшеницы, 2023-2024 гг.

Table 1 – Productivity elements of the most promising spring wheat varieties, 2023-2024

№ п/п	Название / Title	Высота, см / Height cm	Кол-во продукт. стеблей, шт./м ² / Quantity of product. stems, pcs./m ²	Колос / The ear			Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g	Урожайность, т/га / Yield, t/ha
				Длина, см / Length cm	Кол-во зерен, шт. / Number of grains, pcs	Масса зерна, г / Grain weight, g		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Саратовская 70-St / Saratovskaya 70-St	69	180	8	25	0,77	30,80	1,36
3	Corso	60	184	8	37	0,89	24,06	1,64
4	M83-1601	78	199	8	43	0,97	22,56	1,93
5	M78-9496	67	310	7	29	0,53	18,28	1,64
6	Chi mai 1	54	261	6	28	0,64	22,86	1,67
7	66445	71	131	8	40	1,28	31,25	1,64
8	Line Sr32	78	321	6	22	0,43	19,55	1,38
9	Альбидум 29 / Albidum 29	62	458	7	24	0,44	17,50	2,07
10	Донская элегия / Donskaya elegia	47	400	4	24	0,37	15,42	1,52
11	Дордой 16 / Dordoy	52	194	5	27	1,00	38,01	1,47
12	Meta-2002 / Meta-2002	45	220	7	36	0,63	17,50	1,39
13	Belukha	62	148	6	40	1,02	25,50	1,51
14	Dian 852-181	52	327	6	31	0,45	14,52	1,47
15	Chi 85-4268	54	271	8	31	0,86	27,75	2,35
16	Гонец / Gonets	54	310	7	15	0,49	23,33	1,52
17	Награда / Nagrada	63	320	7	31	0,51	17,74	1,63
18	Parabola	56	163	9	39	1,00	25,64	1,45
19	Пексесо / Pekseso	47	325	7	20	0,33	12,50	1,40
20	Экада 265 / Ekada 265	69	278	6	22	0,50	22,73	1,39
21	100 лет ТАССР / 100 let TASSR	59	366	8	25	0,52	20,80	1,90
22	KWS Sharki	62	399	9	22	0,46	18,18	1,84
23	SU TARRAFAL	52	189	10	57	1,16	20,36	2,18
24	Асар / Asar	68	199	10	39	1,10	28,20	2,10
25	Гречанка / Gretchanka	62	224	13	36	0,88	24,45	1,95
26	Nil avocet s yr7	48	227	8	43	0,75	17,45	1,70
27	66246	48	254	6	40	0,82	20,50	2,11
28	Добрая / Dobraya	57	310	7	18	0,54	31,20	1,67
29	Никон / Nikon	50	241	6	21	0,57	27,15	1,37
НСР ₀₅		3,51	16,45		1,07	0,03	1,12	0,08

Количество продуктивных стеблей у изученных сортов яровой пшеницы показало значительные колебания. Наименьшее значение, равное 115 шт./м², было отмечено у сорта Фурор (Волгоградская область), в то время как наибольшее – 458 шт./м² – у сорта Альбидум 29. У контрольного сорта Саратовская 70 (Саратовская область) данный показатель составил 180 шт./м².

Длина колоса и количество продуктивных колосков рассматриваются как стабильные характеристики сорта. Параметры колоса оказывают существенное влияние на потенциальную урожайность. В рамках нашего исследования длина колоса варьировала от 4 см у сорта Донская Элегия (Ростовская область) до 13 см у сорта Гречанка (Саратовская область). Длина колоса у сорта-стандарта составила 8 см.

Число зерен в колосе изменялось в диапазоне от 7 до 57 штук. Наиболее высокой озерненностью колоса отличился сорт SU TARRAFAL (Германия), а у контрольного сорта Саратовская 70 этот показатель составил 25 штук.

Наибольшую массу зерна с колоса показали образцы: SUTARRAFAL (1,16 г (Германия)), 66445 (1,28 г (Грузия)). Данный показатель у остальных образцов варьировал от 0,33 г (Пексесо (Чехия)) до 1,10 г (Асар (Казахстан)).

Масса 1000 зерен является одним из четко выраженных сортовых признаков и генетически надежным компонентом урожая. В среднем за два года самую высокую массу 1000 зерен отметили у образцов: Дордой 16 (Кыргызстан) – 38,01 г, Добрая – 31,20 г, эти образцы превысили стандартный сорт Саратовская 70 (Саратовская обл.) – 30,80 г. У остальных образцов масса 1000 зерен варьировала от 12,00 г (Chuan 82-10629(Китай)), (SUANAB (Германия)) до 28,26 г (Вольнодонская (Московская обл.)).

Анализ данных по урожайности коллекционных образцов яровой пшеницы показал, что, наиболее урожайными были образцы: Chi 85-4268 (Китай) – 2,35 т/га; 66246-2,11 т/га; Альбидум 29 (Саратовская обл.) – 2,07 т/га; SUTARRAFAL (Германия) – 2,18 т/га; Асар (Казахстан) – 2,10 т/га. Урожайность остальных образцов варьировала от 0,60 т/га (Babui (Испания)) до 1,95 т/га (Гречанка (Саратовская обл.)).

Анализ корреляции, направленный на выявление взаимосвязи между урожайностью зерна яровой пшеницы и компонентами продуктивности растений и колоса, показал, что наибольшее влияние на объем урожая оказывали число продуктивных стеблей ($r=0,70$) и вес зерна, полученного с одного колоса ($r=0,61$).

Таблица 2 – Корреляционный анализ сортообразцов яровой пшеницы по элементам структуры урожайности, 2023-2024 гг.

Table 2 – Correlation analysis of spring wheat varieties by yield structure elements, 2023-2024

	Высота растений, см / Height of plants, cm	Кол-во прод. стеблей, / шт./м ² / Quantity of prod. stems, pcs./m ²	Длина колоса, см / Ear length, cm	Кол-во зерен в колосе, шт. / Number of grains per ear, pcs	Масса зерна с колоса, г / Grain weight per ear, g	Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g	Урожайность, т/га / Yield, t/ha
Высота растений, см / Height of plants, cm	1						
Кол-во прод. стеблей, шт./м ² / Quantity of prod. stems, pcs./m ²	-0,2016	1					
Длина колоса, см / Ear length, cm	-0,9710	0,4570	1				
Кол-во зерен в колосе, шт. / Number of grains per ear, pcs	-0,4765	0,4456	0,8516	1			
Масса зерна с колоса, г / Grain weight per ear, g	-0,0766	-0,5549	-0,0230	0,0170	1		
Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g	-0,6283	-0,7625	-0,6749	-0,6863	0,6841	1	
Урожайность т/га / Yield, t/ha	0,0242	0,2101	0,1945	0,3310	0,6615	0,5946	1

Выводы. В производстве, сталкиваемом с нестабильными климатическими условиями, целесообразно культивировать сорта зерновых культур, обладающие повышенной приспособляемостью, вариативностью и сопротивляемостью к воздействию биотических факторов. Выделившиеся в ходе работы образцы Chi 85-4268, 66246, Альбидум 29, SU TARRAFAL и Асар перспективны для селекции инновационных, высокоурожайных сортов яровой пшеницы, оптимизированных для произрастания в засушливых регионах Северного Прикаспия.

Conclusions. In production facing unstable climatic conditions, it is advisable to cultivate varieties of grain crops with increased adaptability, variability and resistance to the effects of biotic factors. The Chi 85-4268, 66246, Albidum 29, SU TARRAFAL, and Asar samples identified during the work are promising for breeding innovative, high-yielding spring wheat varieties optimized for growing in the arid regions of the Northern Caspian Sea.

Библиографический список

1. Власенко Н. Г., Кулагин О. В., Егорычева М. Т., Иванова И. А. Влияние сорта и технологии возделывания на формирование фитосанитарной ситуации в посевах яровой пшеницы в лесостепи Приобья. Вестник защиты растений. 2018. № 2 (96). С. 21-28.
2. Асеева Т. А., Зенкина К. В. Экологическая устойчивость тритикале к неблагоприятным факторам окружающей среды. Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15. № 1 (54). С. 49-59.
3. Голова Т. Г., Чвилева И. Н., Юрьева Н. И. Особенности формирования элементов продуктивности и качества у сортов яровой пшеницы. Зернобобовые и крупяные культуры. 2025. № 1 (53). С. 65-74.
4. Вернер А. В., Коконов С. И. Адаптация агротехнических приемов по зяблевому фону для перспективных сортов яровой мягкой пшеницы шортландинской селекции в Акмолинской области. Вестник ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 4 (80). С. 13-21.

5. Simion T., Mohammed W., Amsalu B. Genotype by environment interaction and stability analysis 979 of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) genotypes for yield in Ethiopia. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*. 2018. V. 10 (9). Pp. 249-257.
6. Мясникова М. Г., Мальчиков П. Н., Чахеева Т. В. Значимость компонентов урожайности сортов яровой твердой пшеницы из России и Казахстана. *Зерновое хозяйство России*. 2020. № 5 (71). С. 73-79.
7. Косенко С. В. Адаптивный потенциал сортов озимой мягкой пшеницы в условиях Пензенской области. *Зерновое хозяйство России*. 2024. Т. 16. № 2. С. 75-79.
8. Косенко С. В. Продуктивность и адаптивность сортов озимой пшеницы в условиях среднего Поволжья. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2023. № 6 (396). С. 588-591.
9. Сидоров А. В., Федосенко Д. Ф., Голубев С. С. Селекция яровой мягкой пшеницы на адаптивность. *Вестник КрасГАУ*. 2017. № 3 (126). С. 3-8.
10. Kendal, E. Comparing durum wheat cultivars by genotype $\frac{1}{2}$ yield $\frac{1}{2}$ trait and genotype $\frac{1}{2}$ trait biplot method. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 2019. V. 79 (4). Pp. 512-522.
11. Ионова Е. В., Газе В. Л., Некрасов Е. И. Перспективы использования адаптивного районирования и адаптивной селекции сельскохозяйственных культур (обзор). *Зерновое хозяйство России*. 2013. № 3 (27). С. 19-21.
12. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований).

References

1. Vlasenko N. G., Kulagin O. V., Egorycheva M. T., Ivanova I. A. The influence of cultivars and cultivation technology on the formation of the phytosanitary situation in spring wheat crops in the forest steppe of the Ob region. *Bulletin of Plant Protection*. 2018. No. 2 (96). Pp. 21-28.
2. Aseeva T. A., Zenkina K. V. Environmental resistance of triticale to adverse environmental factors. The South of Russia: ecology, development. 2020. Vol. 15. No. 1 (54). Pp. 49-59.
3. Golova T. G., Chvileva I. N., Yurieva N. I. Features of the formation of productivity and quality elements in spring wheat varieties of legumes and cereals. *Leguminous and cereal crops*. 2025. No. 1 (53). Pp. 65-74.
4. Werner A. V., Kokonov S. I. Adaptation of agrotechnical techniques for a finch background for promising varieties of spring soft wheat of Shortland breeding in the Akmola region. *Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy*. 2024. No. 4 (80). Pp. 13-21.
5. Simion T., Mohammed W., Amsalu B. Genotype by environment interaction and stability analysis 979 of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) genotypes for yield in Ethiopia. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*. 2018. V. 10 (9). Pp. 249-257.
6. Myasnikova M. G., Malikov P. N., Chakheeva T. V. The importance of the yield components of spring durum wheat varieties from Russia and Kazakhstan. *Grain farming in Russia*. 2020. No. 5 (71). Pp. 73-79.
7. Kosenko S. V. Adaptive potential of winter soft wheat varieties in the Penza region. *Grain farming in Russia*. 2024. V. 16. No. 2. Pp. 75-79.
8. Kosenko S. V. Productivity and adaptability of winter wheat varieties in the conditions of the Middle Volga region. *International Agricultural Journal*. 2023. No. 6 (396). Pp. 588-591.
9. Sidorov A. V., Fedosenko D. F., Golubev S. S. Breeding of spring soft wheat for adaptability. *Bulletin of KrasGAU*. 2017. No. 3 (126). Pp. 3-8.
10. Kendal E. Comparing durum wheat cultivars by genotype $\frac{1}{2}$ yield $\frac{1}{2}$ trait and genotype $\frac{1}{2}$ trait biplot method. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 2019. V. 79 (4). Pp. 512-522.
11. Ionova E. V., Gaze V. L., Nekrasov E. I. Prospects of using adaptive zoning and adaptive crop breeding (review). *Grain farming in Russia*. 2013. No. 3 (27). Pp. 19-21.
12. Dospekhov B. A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results). М., 1985. 351 p.

Информация об авторах

Гайдамакина Евгения Валентиновна, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук» (Российская Федерация, 416251, Астраханская область, Черноярский район, с. Солёное Займище, квартал Северный, 8), e-mail: gaidamakina71@mail.ru

Author's Information

Gaydamakina Evgeniya Valentinovna, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory, Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 416251, Astrakhan region, Chernoyarskii district, village of Solenoe Zaymishche, Severny block, house 8), e-mail: gaidamakina71@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-16

THE STUDY OF THE KOKUR BELII GRAPE VARIETY IN THE CONDITIONS OF THE LOWER DON REGION

Ganich V. A., Naumova L. G., Matveeva N. V., Fatakhedinova M. V.

«All-Russian Research Ya. I. Potapenko Institute for Viticulture and Winemaking» – branch of the Federal State Budget Scientific Institution «Federal Rostov Agricultural Research Center» Novocheerkassk, Russian Federation

Corresponding author E-mail: LGnaumova@yandex.ru

Received 21.06.2025

Submitted 22.09.2025

The research was carried out within the framework of the research topic No. FNFZ-2024-0008 «Preservation and replenishment of the Don ampelographic collection. Study of the adaptive, biological and technological potential of introduced and autochthonous grape varieties in order to identify valuable genotypes for their inclusion in breeding and production processes».

Summary

The article presents the results of the study of the Crimean autochthonous grape variety Kokur Belii in the conditions of the Lower Don region in 1980-1984 and 2020-2024.

Abstract

Introduction. The objectives of ampelographic collections are not only to collect and preserve the genetic diversity of grapes, but also to study it comprehensively with mandatory reference to the meteorological growing conditions. **Materials and methods.** The studies were carried out in the natural conditions of the Lower Don region to assess the agrobiological and economically valuable potential of the Crimean autochthonous grape variety Kokur Belii, control – Risling Rejnskii. The work was carried out at the Don ampelographic collection named after Ya. I. Potapenko (Novocherkassk, Rostov region). The data are presented for 2 study periods: the first period 1980-1984; the second – 2020-2024. The varieties were cultivated in a covering non-irrigated culture. The study was carried out according to generally accepted methods and GOSTs in viticulture. **Results and discussion.** The highest percentage of live buds was noted in the Kokur Belii variety in the second period – 72.1. In terms of the number of inflorescences per normally developed shoot, the Kokur Belii variety is significantly inferior to the control variety Risling Rejnskii, in the first period it was 0.6 against 1.1, and in the second 0.8 against 1.5, respectively. In terms of average bunch weight, the studied Kokur Belii variety exceeded the control variety by 2.6 and 2.8 times in both periods. In the second period, the average bunch weight in the grafted culture increased for both varieties and was 332 g (Kokur Belii) and 118 g (Risling Rejnskii), in the first period their value was at the level of 222 and 84 g, respectively. The yield of Kokur Belii in the first and second periods was higher than the control by 3.3-5.1 t/ha, respectively. Tasting scores of young and ready wines from the Kokur Belii variety were not much higher than those of the control variety Risling Rejnskii 7.6-8.8 points and 7.5-8.7 points, respectively. **Conclusions.** In terms of the totality of economically valuable characteristics, the Kokur Belii variety surpasses the control variety Risling Rejnskii.

Keywords: *grape varieties, ampelographic collections, Crimean autochthonous grape varieties, grape yields, grape harvest conditions.*

Citation. Ganich V. A., Naumova L. G., Matveeva N. V., Fatakhedinova M. V. The study of the Kokur Belii grape variety in the conditions of the Lower Don region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 142-150 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-16.

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 634.852

ИЗУЧЕНИЕ СОРТА ВИНОГРАДА КОКУР БЕЛЫЙ В НИЖНЕМ ПРИДОНЬЕ

Ганич В. А., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
Наумова Л. Г., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник,
заведующий лабораторией
Матвеева Н. В., старший научный сотрудник
Фатахетдинова М. В., аспирант, лаборант-исследователь

Всероссийский научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия
имени Я. И. Потапенко – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Федеральный Ростовский аграрный научный центр»
г. Новочеркасск, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках тематики НИР № FNFZ-2024-0008 «Сохранение и пополнение Донской ампелографической коллекции. Изучение адаптивного, биологического и технологического потенциала интродуцированных и автохтонных сортов винограда с целью выделения ценных генотипов для включения их в селекционный и производственный процессы».

Актуальность. Задачи ампелографических коллекций заключаются не только в сборе и сохранении генетического разнообразия винограда, но и его всестороннего изучения с обязательной привязкой к метеорологическим условиям произрастания. **Материалы и методы.** Исследования проводили в природных условиях Нижнего Придонья для оценки агrobiологического и хозяйственно-ценного потенциала крымского автохтонного сорта винограда Кокур белый, контроль – Рислинг рейнский. Работа проведена на Донской ампелографической коллекции имени Я. И. Потапенко (г. Новочеркасск, Ростовской обл.). Данные представлены за 2 периода изучения: первый период 1980-1984 гг.; второй – 2020-2024 гг. Сорта возделывались в укрывной неполивной культуре. Изучение проведено по общепринятым в виноградарстве методикам и ГОСТам. **Результаты и обсуждение.** Наибольший процент живых глазков отмечен у сорта Кокур белый во втором периоде – 72,1. По количеству соцветий на один нормально развитый побег сорт Кокур белый значительно уступает контрольному сорту Рислинг рейнский, в первом периоде он составил 0,6 против 1,1, а во втором 0,8 против 1,5 соответственно. По средней массе грозди изучаемый сорт Кокур белый превосходил, контрольный сорт в 2,6 и 2,8 раза в обоих периодах. Во втором периоде средняя масса грозди увеличилась у обоих сортов и составила 332 г (Кокур белый) и 118 г (Рислинг рейнский), в первом периоде их значение было на уровне 222 и 84 г соответственно. Урожайность Кокура белого в первом и

втором периодах была выше контроля на 3,3-5,1 т/га соответственно. Дегустационные оценки молодых и готовых вин из сорта Кокур белый были ненамного выше, чем у контрольного сорта Рислинг рейнский 7,6-8,8 балла и 7,5-8,7 балла соответственно. **Выводы.** По совокупности хозяйственно-ценных признаков сорт Кокур белый превосходит контрольный сорт Рислинг рейнский.

Ключевые слова: сорта винограда, ампелографические коллекции, крымские автохтонные сорта винограда, урожайность винограда, кондиции урожая винограда.

Цитирование. Ганич В. А., Наумова Л. Г., Матвеева Н. В., Фатахетдинова М. В. Изучение сорта винограда Кокур белый в Нижнем Придолье. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 142-150. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-16.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Функциональные задачи ампелографических коллекций заключаются не только в сборе и сохранении генетического разнообразия культуры винограда, но и его всестороннего объективного изучения с обязательной привязкой к метеорологическим условиям произрастания [1]. Оценка агробиологического, хозяйственного и адаптационного потенциала коллекционных сортов является наиболее важным направлением научных исследований, проводимых на коллекциях [2].

Климатические условия региона являются лимитирующим фактором при выращивании винограда, оказывая значительное влияние на развитие виноградного растения, его продуктивность и качество не только полученного урожая, но и продуктов переработки. Климатические аномалии в отдельные годы приводят к значительным потерям урожая [3-6].

Эффективность экономики виноградопроизводящих хозяйств зависит от сортового состава насаждений. Возделывание автохтонных сортов винограда, обладающих уникальностью и неповторимостью, повышает конкурентоспособность предприятия [7, 8].

Кокур белый является известным и широко распространенным автохтонным сортом винограда Крыма. Этот сорт является наиболее перспективным, он входит в десятку основных технических сортов, возделываемых в Крыму, произрастает на площади 722,9 га (4,3 %). Урожай сорта используют для приготовления шампанских виноматериалов, столовых, крепких, десертных вин и соков [9, 10].

В Ростовской области, по данным переписи 1953 года, Кокур белый занимал около 5 % насаждений и получил местное название Долгий [11]. Из сорта Кокур белый выпускали высококачественное столовое вино под названием «Раздорское белое», которое в 60-е годы получило две серебряных и одну золотую медаль на различных Международных конкурсах. Однако в 70-е годы сортовой состав претерпел значительные изменения и насаждения сорта Кокур белый практически исчезли.

Цель исследований – анализ агробиологических и хозяйственно-ценных показателей изучения автохтонного сорта винограда Кокур белый в условиях изменения климата в Нижнем Придолье для возможности включения в сортимент и производства вин высокого качества. Адаптация растений к изменению климата одна из самых актуальных тем в биологии.

По результатам многолетних метеонаблюдений нами было установлено, что за последние 35 лет увеличились: среднесуточная температура воздуха за вегетационный период на 0,7 °С, сумма активных температур – на 526,8 °С, продолжительность вегетационного периода – на 21 день; уменьшились: количество осадков за вегетационный период на 49,3 мм и ГТК – на 0,2.

Материалы и методы. На Донской ампелографической коллекции имени Я. И. Потапенко (г. Новочеркасск, Ростовской обл.) проведено изучение крымского автохтонного сорта винограда Кокур белый, контроль – Рислинг рейнский. Данные представлены за 2 периода изучения: первый период 1980-1984 гг.; второй – 2020-2024 гг., временной промежуток между периодами – 35 лет.

В первом периоде сорта выращивались в укрывной, неполивной, корнесобственной культуре, схема посадки 2×1,5 м. Во втором периоде сорта возделывались в укрывной, неполивной, привитой на подвое Берландиери х Рипариа Кобер 5ББ культуре, схема посадки – 3×1,5 м.

Почва – чернозем обыкновенный, содержит 3,27 мг/кг и 591,6 мг/кг подвижных форм фосфора и калия соответственно (ГОСТ 26205-91), нитратов – 40,72 мг/кг, (ГОСТ 26489-85), гумуса – 5,2 % (ГОСТ 26213-91). Мощность гумусового горизонта (А+В) достигает 90 см [12].

Климат характеризуется недостаточным увлажнением, жарким сухим летом. Зимы неустойчивые, малоснежные, частые циклоны с запада приносят обильные осадки, оттепели и туманы. Температурный режим вегетационного периода и продолжительное солнечное освещение в начале осени создают благоприятные условия для выращивания винограда. Однако наблюдающиеся суровые морозы и малоснежье в зимний период не позволяют возделывать большинство сортов винограда без укрытия, поэтому виноградные кусты, не обладающие достаточной зимостойкостью, приходится укрывать.

Изучение проведено по общепринятым в виноградарстве методикам (Лазаревский М. А., Простосердов Н. Н., Амирджанов А. Г., Сулейманов Д. С.). Массовую концентрацию сахаров определяли по ГОСТ 27198-87, титруемых кислот – ГОСТ 32114-2013. Технологическая оценка урожая проведена по общепринятой технологии в условиях микровиноделия. Химические показатели вина определены по стандартным методам анализа в виноделии (ГОСТ 32030-2013; Гержилова В. Г. «Методы теххимического контроля в виноделии»). Вина оценивались дегустационной комиссией по 10-балльной шкале. Метеорологические условия описаны по данным метеопоста ВНИИВиВ – филиал ФГБНУ ФРАНЦ.

Результаты и обсуждение. Анализ погодных условий вегетационных периодов показал, что метеорологические показатели первого периода незначительно отличаются от среднеемноголетних с небольшими колебаниями по годам (таблица 1). Второй период характеризуется как более жаркий и засушливый.

Таблица 1 – Метеорологические условия проведения исследований
Table 1 – Meteorological conditions for conducting research

Годы / Years	Продолжительность вегетационного периода, дни / Duration of the growing season, days	Сумма активных температур, °C / The amount active temperatures, °C	Среднесуточная активная темпе- ратура воздуха за вегетационный период, °C / Average daily active air tempera- ture during the growing season, °C	Максималь- ная темпера- тура, °C / Maximum temperature, °C	Осадки в период вегетации, мм / Precipi- tation during the growing season, mm	Гидротерми- ческий коэффициент (ГТК) / Hydrothermal coefficient
Первый период / The first period						
1980	159	2949,0	18,5	35,0	343,9	1,2
1981	174	3415,8	19,6	37,0	161,3	0,5
1982	192	3227,3	16,8	32,7	321,6	1,0
1983	211	3744,2	17,7	35,6	245,6	0,6
1984	169	3261,7	19,3	39,5	303,2	0,9
Среднее за период / Average for the period	181	3319,6	18,4	-	275,1	0,8
Второй период / The second period						
2020	195	3819,4	19,6	39,9	168,0	0,4
2021	194	3585,2	18,5	38,8	228,0	0,6
2022	199	3797,7	19,1	38,2	168,6	0,4
2023	219	3811,1	17,4	38,3	469,6	1,2
2024	203	4218,6	20,8	38,7	94,7	0,2
Среднее за период / Average for the period	202	3846,4	19,1	-	225,8	0,6
Многолетние данные / Long-term data	185	3532,2	19,0	40,0	277,8	0,8

* – многолетние данные рассчитаны за период с 1975 по 2024 гг. (50 лет).

* – multi-year data calculated for the period from 1975 to 2024 (50 years).

В среднем продолжительность вегетации в первом периоде была 181 день, во втором – 202 дня, многолетний показатель 185 дней. Наименьшая продолжительность периода вегетации (159 дней) была в 1980 году, сумма активных температур составила 2949 °C.

В 2023 году зафиксирована самая поздняя (за последние 50 лет) дата перехода температуры воздуха через плюс 10 °С осенью – 9 ноября, продолжительность периода вегетации – 219 дней, что на 21 день больше, чем в первом периоде. Сумма активных температур в первом периоде была выше (на 212 °С) только в 1983 г., второй период характеризовался ежегодным превышением этого показателя.

Жарким и засушливым был 2024 год, максимальная температура воздуха была немалого выше, чем в предыдущие годы, а по сумме активных температур превышение среднееголетнего показателя составило на 686,4 °С.

Во втором периоде изучения максимальные температуры воздуха были более высокие и варьировали от 38,2 до 39,9 °С, в первом периоде диапазон температур отмечен от 32,7 до 39,5 °С, при среднееголетней 40 °С.

По количеству осадков наиболее дождливый был первый период, сумма осадков составила 1375,6 мм по сравнению с 1128,9 мм во втором периоде. Второй период отличался от первого засушливым характером, отличительным был только 2023 год, когда превышение по осадкам составило по сравнению с многолетними данными 181,8 мм. Критически минимальное количество осадков выпало в сезон вегетации 2024 года (94,7 мм).

Одним из показателей уровня влагообеспеченности территории является гидротермический коэффициент увлажнения (ГТК) Селянинова. В изучаемые периоды отмечены значительные колебания показаний ГТК по годам, связанные с неравномерным выпадением осадков, он находился в диапазоне от 0,2 в 2024 г. до 1,2 в 1980 и 2023 гг. Согласно классификации Г. Т. Селянинова территория считается: слабо засушливая при ГТК – 1,3-1,0; очень засушливая ГТК – 0,7-0,4; сухая ГТК – менее 0,4.

По данным фенологических наблюдений отмечено практически одновременное начало прохождения фенофаз у изучаемых сортов винограда в обоих периодах (таблица 2).

Таблица 2 – Протекание фаз вегетации изучаемых сортов
Table 2 – The course of vegetation phases of the studied varieties

Название сорта / Name of the variety	Дата начала фенофаз / Start date of the phenophase				Число дней от распускания глазков до полной зрелости ягод / The number of days from budding to full maturity of the berries
	распускания глазков / budding	цветения / blossom	созревания ягод / berry ripening	полная зрелость ягод / full maturity of berries	
Первый период / The first period					
Кокур белый / Kokur Belii	30.04	09.06	12.08	24.09	147
Рислинг рейнский / Risling Rejnskii	24.04	07.06	12.08	21.09	150
Второй период / The second period					
Кокур белый / Kokur Belii	27.04	06.06	28.07	16.09	142
Рислинг рейнский / Risling Reinskii	27.04	05.06	03.08	19.09	144

По продолжительности продукционного периода изучаемые сорта в первом периоде отнесены к сортам среднепозднего срока созревания (146-155 дней), а высокие суммы активных температур второго периода способствовали более раннему созреванию и по количеству дней продукционного периода сорта попали в группу среднего срока созревания (136-145 дней).

В условиях Ростовской области, где существует вероятность ранних осенних заморозков, средний срок созревания ягод более предпочтителен, так как сорта успевают достичь технологической зрелости, накопить достаточное количество сахаров, ароматических веществ и органических кислот.

Сравнивая агробиологические показатели изучаемых сортов винограда, отмечаем, что они во втором периоде были выше, чем в первом, исключение составил только процент распустившихся глазков у контрольного сорта Рислинг рейнский 64,8 против 58,3 (таблица 3).

Таблица 3 – Агробиологические и хозяйственно-ценные показатели сортов
Table 3 – Agro-biological and economically valuable indicators of varieties

Показатели / Indicators	Сорта / Varieties			
	Рислинг рейнский / Risling Reinskii		Кокур белый / Kokur Belii	
	1980-1984	2020-2024	1980-1984	2020-2024
Распустившихся глазков, % / Blooming buds, %	64,8±15,6	58,3±9,3	60,3±17,6	72,1±14,3
Плодоносных побегов, % / Fruitful shoots, %	72,1±21,6	78,4±15,8	45,3±22,7	59,2±15,3
Коэффициент плодоношения / Fruiting rate	1,1±0,4	1,5±0,4	0,6±0,3	0,8±0,2
Средняя масса грозди, г / Average weight of a bunch, g	84±8,1	118±27,4	222±41,6	332±63,8
Продуктивность побега, г / Fruiting rate	92±44,2	177±41,2	133±62,2	266±76,5
Урожай с куста, кг / Yield per bush, kg	2,3±1,1	4,4±1,6	3,3±0,6	6,7±3,2
Расчетная урожайность, т/га / Estimated yield, t/ha	7,7±3,7	9,8±4,1	11,0±1,6	14,9±6,8
Дата химического анализа / Date of chemical analysis	21.09	19.09	24.09	16.09
Сахаристость сока ягод, г/100 см ³ / Sugar content of berry juice, g/100 cm ³	20,3±2,8	20,6±2,3	21,6±2,4	20,7±1,5
Титруемая кислотность, г/дм ³ / Titrated acidity, g/dm ³	10,5±1,4	8,1±1,5	9,2±2,3	6,9±0,6

Сохранность глазков в укрывном валу во время зимы имеет важное практическое значение, от которого зависит размер будущего урожая. В среднем наибольший процент живых глазков отмечен у сорта Кокур белый во втором периоде – 72,1.

У контрольного сорта Рислинг рейнский наиболее высокие показатели плодоносности побегов и коэффициента плодоношения, чем у сорта Кокур белый, отмечены в обоих периодах изучения. По количеству соцветий на один нормально развитый побег сорт Кокур белый значительно уступает контрольному сорту Рислинг рейнский, в первом периоде он составил 0,6 против 1,1, а во втором 0,8 против 1,5 соответственно.

Продуктивность побега – показатель урожайности сорта, который является производением средней массы грозди на коэффициент плодоношения.

По средней массе грозди изучаемый сорт Кокур белый превосходил контрольный сорт в 2,6 и 2,8 раза в обоих периодах. Также отмечаем, что во втором периоде средняя масса грозди увеличилась у обоих сортов и составила 332 г (Кокур белый) и 118 г (Рислинг рейнский), в первом периоде их значение было на уровне 222 и 84 г соответственно.

Высокие показатели коэффициента плодоношения не отразились на продуктивности побега у контрольного сорта. Более высокой продуктивностью побега была у сорта Кокур белый за счет наибольшей средней массы грозди, ее превышение составило во втором периоде 214 г по сравнению с контролем.

Расчетная урожайность позволяет определить природную плодоносность сорта. Несмотря на то, что в первом периоде количество кустов на гектаре было больше (3333 шт.) урожайность была значительно ниже у обоих сортов, чем во втором периоде. Прибавка урожая во втором периоде составила у Кокура белого – 3,9 т/га, а у контрольного Рислинг рейнский – 2,1 т/га. Урожайность Кокура белого в первом и втором периодах была выше контроля на 3,3-5,1 т/га соответственно.

Полная зрелость ягод во втором периоде отмечена на несколько дней раньше, чем в первом, чему способствовали высокие средние температуры вегетационных периодов, в первом периоде они были на уровне 18,4 °С, во втором 19,1 °С.

Содержание сахаров в соке ягод у изучаемых сортов отмечено практически на одном уровне с небольшим превышением у сорта Кокур белый (на 1,3 в первом периоде и 0,1 г/100 см³ во втором). Титруемая кислотность более высокая у контрольного сорта Рислинг рейнский отмечена в первом периоде (10,5 г/дм³).

Во втором периоде изучения для получения предварительной технологической оценки сортов из урожая винограда в условиях микровиноделия были приготовлены сухие вина.

ПТЗ (показатель технической зрелости) винограда у изучаемых образцов Кокур белый и Рислинг рейнский находился на уровне 211,9 и 185,4 соответственно, при рекомендуемом уровне для производства сухих виноматериалов 135-270 (таблица 4).

Таблица 4 – Показатели химического состава сусла исследуемых сортов
Table 4 – Indicators of the chemical composition of the wort of the studied varieties

Название сорта / Name of the variety	Σ фенольных веществ мг/дм ³ / Σ phenolic substances mg/dm ³	Массовая концентрация, мг/дм ³ / Mass concentration, mg/dm ³		pH	ГАП / glucoacido metric indicator	ПТЗ / an indicator of technical maturity
		Азот общий / common nitrogen	Азот аминный / amine nitrogen			
Рислинг рейнский / Risling Rejniskii	238	436	254	3,0	2,54	185,4
Кокур белый / Kokur Belii	198	581	282	3,2	3,00	211,9

ГАП (глюкоацидометрический показатель) – отношение содержания сахаров к титруемой кислотности, позволяет определять когда лучше собирать виноград для производства определенного вида продукции, измеряется динамикой накопления сахаров и снижения титруемых кислот в ягодах по мере их созревания. Значение ГАП у изучаемых сортов образцов было – 2,54 (Рислинг рейнский) и 3,0 (Кокур белый), при оптимальном 2,1-3,0.

Концентрация фенольных веществ в сусле составляла у контрольного сорта Рислинг рейнский – 238 мг/дм³, у сорта Кокур белый – 198 мг/дм³, при рекомендуемых значениях 100-300 мг/дм³.

В исследуемых образцах сусла был определен pH, который составил 3,0-3,2 и является оптимальным показателем при приготовлении белых вин.

На цвет, аромат, вкус и стабильность вин при приготовлении значительное влияние могут оказывать азотистые вещества, содержащие минеральные и органические формы азота, которые требуются для питания дрожжей. В исследуемых образцах сусла определяли общий и аминный азот, содержание которого находилось в диапазоне от 436 до 581 и от 254 до 282 мг/дм³ соответственно. В винах установлено содержание физико-химических показателей (таблица 5).

Таблица 5 – Физико-химические показатели столовых сухих образцов
Table 5 – Physical and chemical properties of dry table samples

Название сорта / Name of the variety	Спирт, % об. / Alcohol, % vol.	Титруемая кислотность, г/дм ³ / Titrated acidity, g/dm ³	Летучие кислоты, г/дм ³ / Volatile acids, g/dm ³	SO ₂ (общий), г/дм ³ / SO ₂ (total), g/dm ³	Сахара, г/дм ³ / Sugar, g/dm ³	Приведенный экстракт, г/дм ³ / Reduced extract, g/dm ³
Рислинг рейнский / Risling Rejniskii	11,8	7,2	0,54	84,2	0,9	22,6
Кокур белый / Kokur Belii	12,0	6,6	0,48	153,3	1,9	23,2

Количество спирта в вине изучаемых сортов отмечено на уровне 11,8-12,0 % об., титруемых кислот 6,6 – 7,2 г/дм³. Содержание массовой концентрации летучих кислот, в пересчете на уксусную кислоту соответствовало требованиям ГОСТ.

Содержание сахаров определяет тип и вкус вина. Остаточный сахар у сорта Кокур белый был на уровне 1,9 г/дм³, у контрольного сорта Рислинг рейнский – 0,9 г/дм³.

Незначительное превышение приведенного экстракта на 0,6 г/дм³ отмечено в вине сорта Кокур белый по сравнению с контрольным сортом Рислинг рейнский.

Диоксид серы обладает не только антисептическим действием, но и противоокислительным свойством, его концентрация в вине не должна превышать 200 мг/дм³. В исследуемых образцах вин содержание SO₂ составило 84,2 – 153,3 мг/дм³.

Органолептическую оценку вин проводили в три этапа: анализ молодых вин (через 1-2 месяца после окончания спиртового брожения и снятия с плотного осадка); сформировавшихся вин (не ранее апреля следующего за урожаем года); вин с выдержкой в бутылке (1 год).

Средние дегустационные оценки молодых и готовых вин из сорта Кокур белый были ненамного выше, чем из контрольного сорта Рислинг рейнский 7,6-8,8 балла и 7,5-8,7 балла соответственно (рисунок).

Молодое вино из сорта Кокур белый обладало более яркими ароматическими характеристиками и сбалансированным вкусом.

Выдержанные вина в течение 1 года получили одинаковые оценки на уровне 8,9 балла, в процессе бутылочной выдержки они приобрели типичные сортовые особенности и выразительный вкус.

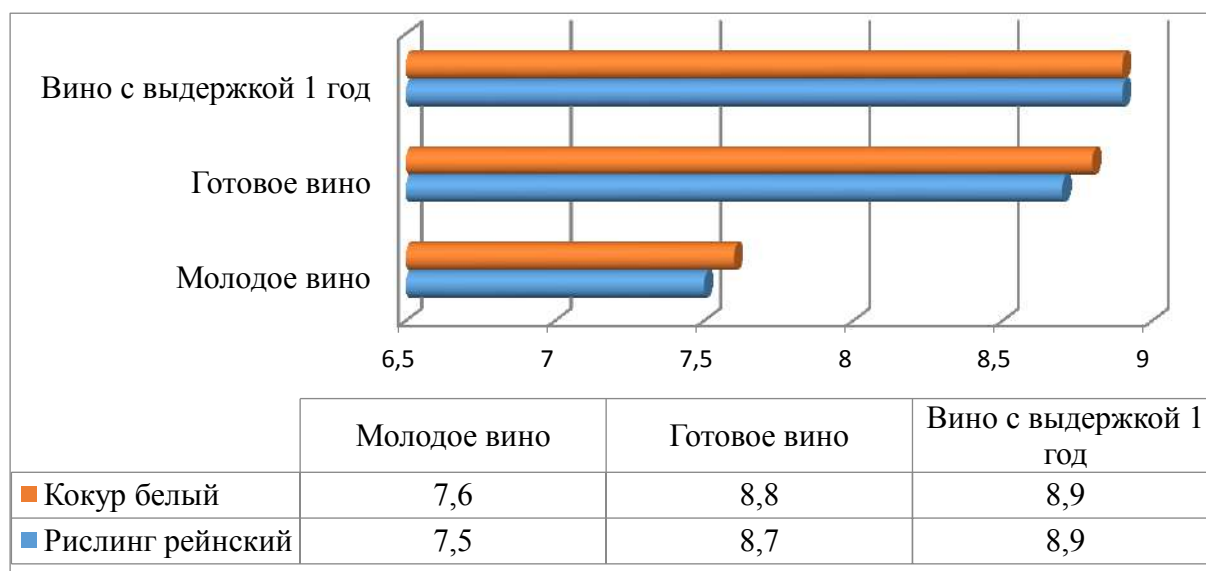


Рисунок – Средние дегустационные оценки вин

Figure – Average wine tasting scores

Выводы. По совокупности хозяйственно-ценных признаков (средняя масса грозди, урожайность, накопление сахаров, оптимальное содержание титруемых кислот) сорт Кокур белый превосходит контрольный сорт Рислинг рейнский. Наиболее благоприятные метеорологические условия второго периода способствовали более раннему созреванию урожая. Технологическая оценка сорта показала, что меняющиеся климатические условия выращивания сорта в регионе Нижнего Придонья не оказали отрицательного влияния на качество производимого вина. Высокие дегустационные оценки вин на уровне классического сорта Рислинг рейнский подтверждают целесообразность расширения виноградных насаждений под сортом Кокур белый в Ростовской области.

Conclusions. In terms of the aggregate of economically valuable characteristics (average bunch weight, yield, sugar accumulation, optimal content of titratable acids), the Kokur Belii variety surpasses the control Riesling Reinskii variety. The most favorable meteorological conditions of the second period contributed to earlier ripening of the crop. Technological evaluation of the variety showed that the changing climatic conditions of cultivating the variety in the Lower Don region did not have a negative impact on the quality of the wine produced. High tasting scores of wines at the level of the classic Riesling variety confirm the feasibility of expanding vineyards under the Kokur Bely variety in the Rostov Region.

Библиографический список

1. Ганич В. А., Наумова Л. Г. Сорт винограда Рубиновый Магарача на Донской ампелографической коллекции. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 3 (71). С. 96-104.
2. Volynkin V., Polulyakh A., Levchenko S. et al. Autochthonous grape species, varieties and cultivars of Crimea. Acta Horticulturae. 2019. Vol. 1259. Pp. 91-98.
3. Фисун М. Н., Мазлоева Ф. М., Харебашвили И. М. и др. Влияние условий места произрастания на продуктивность винограда сорта Платовский. Русский виноград. 2019. Т. 9. С. 92-96.
4. Crupi P., Alba V., Gentilesco G. et al. Viticultural Climate Indexes and Their Role in the Prediction of Anthocyanins and Other Flavonoids Content in Seedless Table Grapes. Horticulturae. 2024. Vol. 10 (1). 28.
5. Tomada S., Agati G., Serni E. et al. Non-destructive fluorescence sensing for assessing microclimate, site and defoliation effects on flavonol dynamics and sugar prediction in Pinot blanc grapes. PLoS ONE. 2022. Vol. 17 (8).
6. Киселева Г. К., Ильина И. А., Соколова В. В. и др. Формирование адаптивных реакций винограда на нестабильные климатические условия зимнего периода. Современное садоводство. 2022. № 2. С. 31-41.

7. Labagnara T., Bergamini C., Caputo A.R., Cirigliano P. Vitis vinifera L. germplasm diversity: a genetic and ampelometric study in ancient vineyards in the South of Basilicata region (Italy). *Vitis*. 2018. № 57 (1). Pp. 1-8.
8. Ильницкая Е. Т., Токмаков С. В. Изучение полиморфизма SSR-локусов южнороссийских аборигенных сортов винограда. *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2014. № 27 (3). С. 1-6.
9. Студенникова Н. Л., Котоловец З. В., Тимофеев Р. Г. и др. Изучение агробиологических и технологических особенностей протоклонов сорта Кокур белый. *Русский виноград*. 2023. Т. 24. С. 52-59.
10. Макаров А. С., Лутков И. П., Шмигельская Н. А. и др. Автохтонные сорта винограда: актуальность и перспективы использования в виноделии. *Магарач. Виноградарство и виноделие*. 2022. № 24 (4). С. 349-360.
11. Алиев А. М., Кравченко Л. В., Наумова Л. Г., Ганич В. А. Донские аборигенные сорта винограда. *Новочеркасск: Колорит*, 2013. 132 с.
12. Павлюченко Н. Г., Мельникова С. И., Колесникова О. И. и др. Влияние обработки салициловой кислотой на развитие виноградных саженцев. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2022. Т. 17. № 3 (67). С. 24-30.

References

1. Ganich V. A., Naumova L. G. Grape variety «Rubinovy Magarach» at the Don ampelographic collection. *Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: science and higher professional education*. 2023. No. 3 (71). Pp. 96-104.
2. Volynkin V., Polulyakh A., Levchenko S. et al. Autochthonous grape species, varieties and cultivars of Crimea. *Acta Horticulturae*. 2019. Vol. 1259. Pp. 91-98.
3. Fisun M. N., Mazloeva F. M., Xarebashvili I. M. et al. The impact of growing conditions on productivity of Platovskiy grapevine variety. *Russian grape*. 2019. V. 9. Pp. 92-96.
4. Crupi P., Alba V., Gentile G. et al. Viticultural Climate Indexes and Their Role in the Prediction of Anthocyanins and Other Flavonoids Content in Seedless Table Grapes. *Horticulturae*. 2024. Vol. 10 (1). 28.
5. Tomada S., Agati G., Serni E. et al. Non-destructive fluorescence sensing for assessing microclimate, site and defoliation effects on flavonol dynamics and sugar prediction in Pinot blanc grapes. *PLoS ONE*. 2022. Vol. 17 (8).
6. Kiseleva G. K., Ilina I. A., Sokolova V. V. et al. Formation of grape adaptive reactions under unstable climatic conditions of the winter period. *Modern gardening*. 2022. No. 2. Pp. 31-41.
7. Labagnara T., Bergamini C., Caputo A.R., Cirigliano P. Vitis vinifera L. germplasm diversity: a genetic and ampelometric study in ancient vineyards in the South of Basilicata region (Italy). *Vitis*. 2018. № 57 (1). Pp. 1-8.
8. Ilitskaya E. T., Tokmakov S. V. Study of SSR-loci polymorphism of South Russian local grape cultivars. *Fruit growing and viticulture in the South of Russia*. 2014. No. 27 (3). Pp. 1-6.
9. Studennikova N. L., Kotolovecz Z. V., Timofeev R. G. et al. Study of agro-biological and technological features of protoclonal varieties of the Kokur belii variety. *Russian grape*. 2023. V. 24. Pp. 52-59.
10. Makarov A. S., Lutkov I. P., Shmigelskaia N. A. et al. Autochthonous grapevine varieties: relevance and prospects of use in winemaking. *Magarach. Viticulture and winemaking*. 2022. No. 24 (4). Pp. 349-360.
11. Aliev A. M., Kravchenko L. V., Naumova L. G., Ganich V. A. Don native grape varieties. *Novocherkassk: Kolorit*, 2013. 132 p.
12. Pavlyuchenko N. G., Melnikova S. I., Kolesnikova O. I. et al. The effect of salicylic acid treatment on grapevine seedlings development. *Bulletin of Kazan State Agrarian University*. 2022. V. 17. No. 3 (67). Pp. 24-30.

Информация об авторах

Ганич Валентина Алексеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия имени Я. И. Потапенко – филиал ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» (Российская Федерация, 346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 166), <https://orcid.org/0000-0003-3992-2873>, e-mail: ganich1970@yandex.ru

Наумова Людмила Георгиевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией, Всероссийский научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия имени Я. И. Потапенко – филиал ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» (Российская Федерация, 346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 166), <https://orcid.org/0000-0002-5051-2616>; e-mail: LGnaumova@yandex.ru

Матвеева Наталья Викторовна, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия имени Я. И. Потапенко – филиал ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» (Российская Федерация, 346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 166), e-mail: n-matveeva78@mail.ru

Фатахетдинова Мария Викторовна, аспирант, лаборант-исследователь, Всероссийский научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия имени Я. И. Потапенко – филиал ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» (Российская Федерация, 346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 166), e-mail: maria.victorovna2018@yandex.ru

Authors' Information

Ganich Valentina Alekseevna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, All-Russian Research Institute named after Ya. I. Potapenko for Viticulture and Winemaking – the Branch of the Federal Rostov Agricultural Research Center (Russian Federation, 346421, Rostov region, Novocherkassk, Baklanovsky Ave., 166), <https://orcid.org/0000-0003-3992-2873>, e-mail: ganich1970@yandex.ru

Naumova Lyudmila Georgievna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Head of the Laboratory, All-Russian Research Institute named after Ya. I. Potapenko for Viticulture and Winemaking – the Branch of the Federal Rostov Agricultural Research Center (Russian Federation, 346421, Rostov region, Novocherkassk, Baklanovsky Ave., 166), <https://orcid.org/0000-0002-5051-2616>; e-mail: LGnaumova@yandex.ru

Matveeva Natalya Viktorovna, Senior Researcher, All-Russian Research Institute named after Ya. I. Potapenko for Viticulture and Winemaking – the Branch of the Federal Rostov Agricultural Research Center (Russian Federation, 346421, Rostov region, Novocherkassk, Baklanovsky Ave., 166), e-mail: n-matveeva78@mail.ru

Fatakhedinova Maria Viktorovna, postgraduate student, Research Assistant, All-Russian Research Institute named after Ya. I. Potapenko for Viticulture and Winemaking – the Branch of the Federal Rostov Agricultural Research Center (Russian Federation, 346421, Rostov region, Novocherkassk, Baklanovsky Ave., 166), e-mail: maria.victorovna2018@yandex.ru

THE WILD FIRES IN THE SARATOV REGION**Ivchenko O. A., Tyutin A. V., Kozachenko M. A., Pankin K. E.***Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov
Saratov, Russian Federation*Corresponding author E-mail: texmexium@mail.ru

Received 15.07.2025

Submitted 14.10.2025

Summary

This work presents the results of the analysis of wild fires in the Saratov region in 2015-2023. It was shown that the degree of relative flammability of forests is "above average", which exceeds even the situation in the much forested regions of Siberia. It is noted that the wild fire situation in the region is influenced by some changes in climatic features and forest vegetation regimes that have observed in the region over the past 30 years. There was a change in the timing of wild fires of various forest flammability classes, as well as a change in the species composition of forests – soft-leaved species are replacing hard-leaved species.

Abstract

Introduction. The relevance of the work is the analysis of forest flammability for the period 2015-2023 in the Saratov region, which is necessary to improve measures to combat forest fires. The distribution of wild fires by years, months of the fire hazardous season, forest types, forestry's, etc. is shown. Information on forest flammability and its dynamics from year to year will improve the effectiveness of fire prevention and forest protection from fires. **Materials and methods.** A statistical study of forest flammability in the Saratov region was conducted, based on information in wild fire extinguishing protocols for the study period. **Research results.** Wild fires information in the Saratov region was collected and processed. The predominant species (80 %) is English oak (*Quercus robur* L.), in addition, the forests of the region are also formed by soft-leaved and coniferous species (*Pinus sylvestris* L.). All forests are classified as protective and located in specially protected areas. The region has its own scale of natural fire hazard by species composition, consisting of five classes (I-V) and one pre-class (Ia). It is shown that the most common forests in the region are those of the III fire hazard class by species composition. The number of wild fires in the region varies from 10 to 144, with forests of the I and III classes being the most flammable. The average frequency of wild fires in the region for the study period was 79.5 cases per 1 million hectares of forest fund per year, which corresponds to the 2nd class of actual flammability of forests, with the degree of relative flammability of forests – "Above average". Wild fires, in the absolute majority, are realized in the mode of ground fire of medium intensity. The region has a long fire hazardous season from April to October, which has two peaks of fire activity in May-June and August, which is associated with agricultural work, holidays and vacations. Over the past 30 years, there have been changes in both weather conditions and the species composition of forests. Over the past 10 years, wild fires in forests of different classes have been realized differently: forests of class I show flammability only at the beginning of the fire-hazardous season, instead of the entire season, and wild fires in forests of class V have not been observed at all. The population of elms, maples, and ash trees is growing in the region, which leads to changes in the classification of forests into classes of natural fire hazard by species composition.

Keywords: wild fires, wild fires statistics, forest vegetation zone, forest flammability classes, forest ground fires, runaway and persistent wild fires, monitoring of forest fire situation.

Citation. Ivchenko O. A., Tyutin A. V., Kozachenko M. A., Pankin K. E. The wild fires in the Saratov region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 151-164 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-17.

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 630.431(571.51)

ГОРИМОСТЬ ЛЕСОВ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ**Ивченко О. А., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент****Тютин А. В., старший преподаватель****Козаченко М. А., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент****Панкин К. Е., доктор сельскохозяйственных наук, профессор***ФГБОУ ВО Саратовской государственной университет генетики, биотехнологии и инженерии
имени Н. И. Вавилова**г. Саратов, Российская Федерация*

Актуальность исследования заключается в представлении анализа горимости лесов за период 2015-2023 гг. в Саратовской области, что необходимо для совершенствования мероприятий по борьбе с лесными пожарами. Показано распределение лесных пожаров по годам, месяцам пожаро-

опасного сезона, типам леса, лесничествам и т.п. Сведения о горимости лесов и их динамика из года от год позволяют повысить эффективность противопожарной профилактики и защите лесов от пожаров в регионе. **Материалы и методы.** Проведено статистическое исследование горимости лесов в Саратовской области, по информации в протоколах тушения лесных пожаров за исследуемый период. **Результаты исследований.** Собрана и обработана информация о лесных пожарах в Саратовской области. Преобладающая порода лесов Саратовской области – дуб черешчатый (*Quercus robur* L.). Остальная часть лесного фонда сформирована рядом мягколиственных пород и хвойной породой – *Pinus sylvestris* L. Все леса отнесены к защитным, а также расположенным на особо охраняемых территориях. В регионе создана собственная шкала природной пожарной опасности по породному составу, состоящая из пяти классов (I-V) и одного предкласса (Ia). Показано, что в регионе наиболее распространенными являются леса III-го класса пожарной опасности по породному составу. Число лесных пожаров в регионе (за период исследования) варьируется от 10 до 144, при этом наиболее горимыми являются леса I-го и III-го классов. Средняя частота пожаров по региону за исследуемый период составила 79,5 случаев на 1 млн га лесного фонда в год, что соответствует 2-му классу фактической горимости лесов, со степенью относительной горимости лесов – «Выше средней». Лесные пожары, в абсолютном большинстве, реализуются в режиме низового пожара средней интенсивности. В регионе наблюдается длительный пожароопасный сезон с апреля по октябрь, который имеет два пика пожарной активности май-июнь и август, что связано с сельскохозяйственными работами, праздниками и отпусками. За последние 30 лет произошли изменения и в погодных условия и в породном составе лесов. За последние 10 лет лесные пожары в лесах различных классов реализуются по-разному: леса I-го класса проявляют горимость только в начале пожароопасного сезона, вместо всего сезона, а пожары лесов V класса не наблюдались вообще. В регионе растет популяция вязов кленов, ясеней, что приводит к изменениям в отнесении лесов к классам природной пожарной опасности по породному составу.

Ключевые слова: лесные пожары, горимость лесов, классы пожарной опасности лесов, лесные низовые пожары, беглые пожары, устойчивые пожары, лесорастительная зона, мониторинг лесопожарной обстановки.

Цитирование. Ивченко О. А., Тютин А. В., Козаченко М. А., Панкин К. Е. Горимость лесов Саратовской области. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 151-164. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-17.

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. Лесные пожары и борьба с ними является важной составляющей деятельности человека в области лесного хозяйства. Российская Федерация относится к территориям богатым лесами и лесными культурами, которые занимают около 46,7 % территории страны, большая часть которых сформирована хвойными породами деревьев (80 %). Лесистость территории страны возрастает с запада на восток. Наиболее богата лесами Сибирь – территория страны, располагающаяся восточнее Уральских гор. Здесь средняя лесистость по Федеральным округам составляет 76,7 %.

В XXI веке в России ежегодно происходит от 20 до 40 тыс. лесных пожаров. Большая часть лесных пожаров происходит в Сибири, а в Европейской части РФ происходит в среднем 2,5-3 тыс. лесных пожаров (ФБУ «Авиалесохрана» <https://aviales.ru/>). При этом лесистость Европейской части РФ значительно ниже, а плотность населения выше, чем Сибирской части. Из-за того, что Сибирская часть РФ наиболее богата лесами, именно для нее и были разработаны мероприятия по предупреждению и тушению лесных пожаров, на основе информации об их горимости (Н. П. Курбатский, *Возникновение лесных пожаров*. М., 1964; П. М. Матвеев, *Лесная пирология*. Красноярск, 2002; С. В. Залесов, *Лесная пирология: учебник для вузов*. Екатеринбург, 2013 и И. С. Мелехов, *Лесные пожары и борьба с ними*. Архангельск, 1935) и [1-5], которые были распространены и на Европейскую часть России. Однако географические, климатические, лесорастительные условия и уровень антропогенной нагрузки у последней иные в сравнении с регионами Сибири.

Регионы юга и юго-востока Европейской части РФ (Саратовская, Волгоградская, Астраханская области, Республика Калмыкия, Ставропольский край и т.п.) играют важную роль в ведении сельского хозяйства, которое было бы крайне затруднительно (или местами невозможно) без обеспечения защитной функции лесами и лесными культурами (*Лесной план Саратовской области*). Утрата объектов лесного фонда от действия лесных пожаров в указанных регионах наносит двойной удар: (1) снижение продуктивности сельхо-

зугодий (*Рекомендации по принципам размещения и формированию конструкций агролесомелиоративных насаждений. Саратов, 2008*) и (2) при дальнейшем лесовосстановлении возникают значительные трудности из-за термического повреждения почвы, не имеющей достаточной мощности.

Исходя из этого возникает необходимость повышения эффективности противопожарной профилактики в лесах, которая невозможна без выявления объективной картины о горимости лесов регионов юга и юго-востока европейской части РФ. Прогнозирование лесопожарной обстановки в регионе на краткосрочную и среднесрочную перспективу невозможно без анализа динамики лесных пожаров и ущерба от них, впрочем, как и планирование мероприятий по профилактике и лесных пожаров и резервирования сил и средств их тушения. Неравномерность возникновения лесных пожаров и их последствий, предполагает выявление наиболее горимых районов, а отсюда появляется возможность сосредотачивать силы и средства профилактики и тушения именно в них. Исходя из вышесказанного целью настоящей работы явилось выявление особенностей горимости лесов в Саратовской области для совершенствования мероприятий по профилактике и тушению лесных пожаров на региональном уровне.

Материалы и методы. Исследованию подверглось содержимое протоколов тушения лесных пожаров (ЛП) в Саратовской области в период 2015-2023 гг. Проведен статистический анализ лесных пожаров по годам, месяцам пожароопасного сезона, видам, преобладающей породе, лесничествам и т.п. за исследуемый период.

Результаты и обсуждение. Саратовская область относится к малолесным регионам Европейской части РФ. Площадь территории, покрытая лесами – 737 тыс. га согласно (*Лесной план Саратовской области*), что составляет 6,5 % от всей площади региона. По территории региона проходит граница лесостепной и степной зон, и их площадь составляет 44 и 56 % соответственно. Состав лесорастительных зон по входящим в них лесным районам выглядит следующим образом – лесостепной и степной районы Европейской части РФ. Фактически вся лесостепная зона располагается в Правобережной части Саратовской области, в то время как ее Левобережную часть занимает степная зона. Южная граница лесостепной зоны проходит по Вольскому району, таким образом, Саратовский район и областной центр г. Саратов располагаются в зоне степей.

Все леса, находящиеся на территории Саратовской области, относятся к защитным. Такие леса, согласно ст. 12 Федерального закона Российской Федерации №200-ФЗ от 04.12.2006 (Лесной кодекс РФ), подлежат освоению в целях сохранения средообразующих, водоохранных, защитных, санитарно-гигиенических, оздоровительных и иных полезных функций лесов с одновременным использованием лесов при условии, если это использование совместимо с целевым назначением защитных лесов и выполняемыми ими полезными функциями. Внутри общей группы защитных лесов выделены следующие подгруппы: ценные леса (76 %), водоохранные леса (6,7 %), защитные леса (8,4 %), нерестоохранные полосы лесов (7,4 %), государственные защитные леса (2,6 %).

К лесам, имеющим научное или историко-культурное значение, относится 41,1 тыс. га лесов или 5,6 процента от общей площади лесов области. Они выделены в 14 лесничествах. Наибольшая доля лесов этой категории – в Дьяковском и Красноармейском лесничествах – на юге области. Значительная площадь – более 4 тыс. га – в Новобурасском и Усовском лесничествах. Целевое назначение этих лесов – сохранение в естественном состоянии уникальных природных объектов. К указанной категории защитных лесов в соответствии с Лесным кодексом Российской Федерации отнесены леса ранее установленных категорий защитности лесов бывшей первой группы: «Лесные массивы, имеющие научное или историческое значение», «Памятники природы» и «Особо ценные лесные массивы». Существующее выделение данной категории соответствует целям сохранения полезных функций лесов.

Освоение лесов, расположенных на особо охраняемых природных территориях, выполняется в целях сохранения биоразнообразия, средообразующих, водоохранных, защитных, санитарно-гигиенических, рекреационных и иных полезных функций с одновременным использованием лесов при условии, если это использование совместимо с целевым назначением защитных лесов и выполняемыми ими полезными функциями.

1. Заповедная зона – 1359 га. Определяющая функция этой зоны – сохранение в заповедном режиме наиболее ценных природных территориальных комплексов национального парка.

2. Хозяйственная зона – 21127 га. Основная функция зоны – сохранение целостности естественных природных лесных ландшафтов и всего многообразия природных комплексов.

3. Рекреационная зона (познавательного туризма) – 3551 га. Данная зона выделена для организации туризма и отдыха в природных условиях.

Леса региона представлены в основном двумя типами пород: лиственными и хвойными. На твердолиственные породы приходится 328 тыс. га, на мягколиственные – 161,4 тыс. га, среди которых осина – 41,1 тыс. га, береза – 32,9 тыс. га, липа – 33,1 тыс. га и ива – 29,5 тыс. га. Из общей площади твердолиственных насаждений на территории области – 328 тыс. га, на низкоствольные приходится 293,2 тыс. га, или 89,4 %.

Основной лесообразующей породой области является дуб, который произрастает на площади 251,6 тыс. га. Площадь низкоствольных дубовых насаждений в области составляет 220,2 тыс. га, или 87,5 %. Средневозрастные низкоствольные дубовые насаждения являются преобладающей группой возраста, на ее долю приходится 47,9 % всей площади низкоствольных дубовых насаждений. Приспевающие, спелые и перестойные насаждения занимают 46,9 % площади дубовых низкоствольных насаждений.

В лесном фонде хвойные породы произрастают на площади 79,1 тыс. га, из которых насаждения сосны составляют 78,1 тыс. га. Из общей площади хвойных насаждений 66,9 тыс. га (84,4 %) приходится на долю молодняков и 24,3 % площади приходится на средневозрастные насаждения.

Как и в любом другом регионе, в Саратовской области осуществляется противопожарная защита лесов, действие которой начинается с определения класса природной пожарной опасности лесов по породному составу и по погодным условиям (*Приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 5 июля 2011 г. № 287*). Анализ материалов, представленных в этом приказе, показывает неприменимость представленной шкалы к лесам исследуемого региона из-за несоответствия типов лесов. В 1993 году в Саратовской области была разработана собственная шкала природной пожарной опасности лесов по породному составу (*М. А. Козаченко, Лесные пожары и борьба с ними: уч. пособие, Саратов, 2013*), которая включает пять классов лесов (I-V) и один предкласс (Ia). Преобладающей породой в классах лесов Ia и I является сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris L.*), с той лишь разницей, что Ia класс объединяет в себе молодняки (до 20 лет), а I класс – насаждения старше 20 лет. Классы II-V представлены лиственными породами – дуб черешчатый (*Quercus robur L.*), береза, осина, вяз, клен, тополь, ива и т.п.

Распределение лесов Саратовской области по классам пожарной опасности представлено в таблице 1 (Лесной план Саратовской области).

Таблица 1 – Распределение лесов Саратовской области по классам пожарной опасности (на 1 января 2018 года)

Table 1 – Distribution of forests flammability classes in the Saratov region (to January 1, 2018)

Класс природной пожарной опасности лесов / Class of forest fire danger type	Площадь, тыс. га / Area, thousand hectares	Процент от общей площади лесного фонда региона / Percentage of the total forest area of the region
I	97,53	13,5
II	47,91	6,7
III	453,23	62,8
IV	89,07	12,3
V	34,11	4,7

Наиболее опасные в пожарном отношении леса I-го и II-го классов занимают 20,1 % площади лесов Саратовской области. Наибольший вклад в площадь лесонасаждений дают леса III-го класса пожарной опасности. Средневзвешенный показатель по природной пожарной опасности составляет 2,9.

Для разработки мероприятий по профилактике лесных пожаров необходимо выявить лесничества Саратовской области, в которых из года в год наблюдается наиболее сложная лесопожарная обстановка. Всего в регионе сформировано 26 лесничеств. В таблице 2 представлена статистика пожаров с 2015 по 2023 гг. в лесах различной природной пожарной опасности для лесничеств Саратовской области.

Таблица 2 – Вклад лесных пожаров (в процентах) в общую лесопожарную обстановку лесничеств Саратовской области (2015-2023 гг.)

Table 2 – Contribution (percent) of wild fires in forestiers depending on forests flammability classes in Saratov region (in 2015-2023)

Лесничество / Forestry	Вклад (%) лесных пожаров в зависимости от классов пожарной опасности по породному составу (шкала Саратовской области) / Contribution (%) of forest fires depending on the classes of fire danger by breed composition (scale of the Saratov region)				
	Ia	I	II	III	IV
Аткарское / Atkarskoe	-	0,8	1,1	1,1	0,4
Базарно-Карабулакское / Bazarно-Karabulakskoe	1,1	3,0	1,1	1,9	-
Балашовское / Balashovskoe	3,8	-	-	-	-
Балтайское / Baltaiskoe	-	1,5	-	0,8	-
Вольское / Volskoe	1,1	4,2	0,8	2,3	-
Вязовское / Viazovskoe	-	0,4	1,1	3,0	-
Дьяковское / Diakovskoe	0,4	1,5	-	0,4	-
Екатериновское / Ekaterinovskoe	0,4	4,2	-	-	0,8
Калининское / Kalininskoe	-	0,4	-	0,8	-
Красноармейское / Krasnoarmeiskoe	-	1,1	1,9	6,8	-
Лысогорское / Lisogorskoe	-	2,3	0,4	0,4	-
Марсковское / Marskovskoe	-	1,9	-	-	-
Нижнебанновское / Nizhnekubanskoe	-	-	-	1,9	-
Новобурасское / Novoburasskoe	-	0,8	-	-	-
Пензенское МО / Penzenskoe	0,8	1,9	4,9	2,3	1,9
Пугачевское / Pugachevskoe	-	-	-	1,9	-
Романовское / Romanovskoe	-	-	-	0,4	-
Саратовское / Saratovskoe	-	2,3	0,8	8,7	-
Усовское / Usovskoe	0,4	1,9	0,4	3,4	-
Черкасское / Cherkasskoe	1,1	1,5	-	-	-
Ширококарамышское / Shirokokaramishskoe	1,9	-	0,4	4,2	-
Энгельсское / Engelsskoe	0,4	1,9	-	-	-
НП «Хвалынский» / Settlement Khvalinskii	-	0,8	-	0,4	-

Из представленных в таблице 2 результатов видно, что за период 2015-2023 гг. обстановка с лесными пожарами в лесничествах Саратовской области неоднозначная, тем не менее в четырех лесничествах (Вольское, Красноармейское, Пензенское и Саратовское) наблюдается максимальное число лесных пожаров. Именно для них наиболее необходимо проведение мероприятий по совершенствованию противодействия лесным пожарам.

Условия погоды также влияют на лесопожарную обстановку в регионе. В Саратовской области, согласно (Приказ Федерального агентства лесного хозяйства от октября 2013 года № 288) не сформирована индивидуальная шкала природной пожарной опасности по условиям погоды, поэтому работники лесного хозяйства используют шкалу В. Г. Нестерова (Приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 5 июля 2011 г. № 287). К представленной шкале за последние 50 лет возникло много претензий, т.к. она

некорректно отражает состояние лесов и лесных горючих материалов, что изложено в работах [6-9], что заставляет искать подходы для разработки региональных шкал. Для Саратовской области [10] также обнаружено расхождение, показывающее, что лесной опад готов к горению уже через 10 дней после схода снежного покрова, в то время как комплексный показатель пожарной опасности (по Нестерову В. Г.) показывает отсутствие пожарной опасности в лесах (250 баллов – I класс) в данный период времени.

За период 2015-2023 годы в регионе зарегистрировано 527 лесных пожаров, согласно сведениям (ФБУ «Авиалесохрана» <https://aviales.ru/>). Распределение лесных пожаров по годам представлено на рисунке 1.

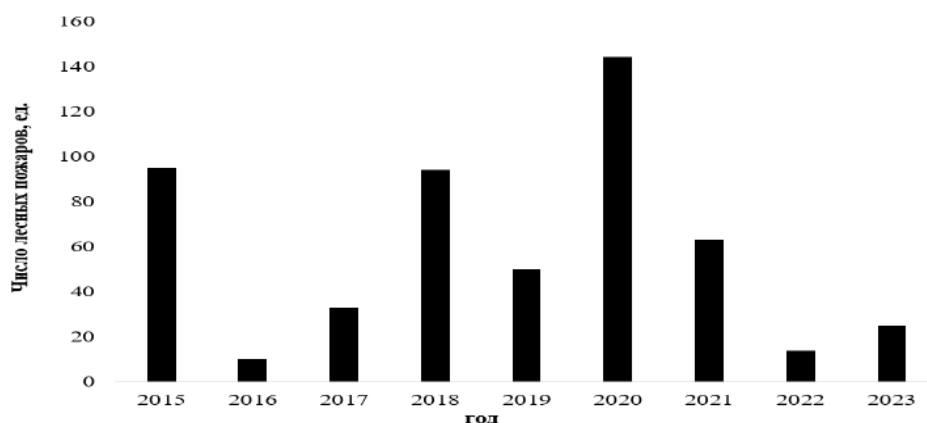


Рисунок 1 – Динамика лесных пожаров в Саратовской области (2015-2023 гг.)

Figure 1 – Wild fires dynamics in Saratov region (in 2015-2023)

Результаты, представленные на рисунке 1, показывают, что наибольшее число лесных пожаров Саратовской области наблюдалось в 2020 году – 144 ед. Наименьшее количество в 2016 г. (10 ед.) и 2022 г. (16 ед.). В среднем в регионе за ПОС наблюдается от 50 до 70 лесных пожаров. Частота возникновения лесных пожаров на 1 млн га лесного фонда региона, составленная согласно [11], представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Частота возникновения лесных пожаров на 1 млн га лесного фонда в Саратовской области (2015-2023 гг.)

Table 3 – Wild fires frequency by 1 million of hectares of Saratov region forest fund (in 2015-2023)

Год / Year	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Частота ЛП / Frequency of forest fires	127,5	13,6	44,8	127,5	67,8	195,4	85,5	19,0	33,9

На основе представленных результатов средняя частота пожаров по региону за исследуемый период составила 79,5 случаев на 1 млн га лесного фонда в год, что соответствует 2-му классу фактической горимости лесов, со степенью относительной горимости лесов – «Выше средней».

Саратовская область занимает территорию между 50 и 51 градусом северной широты и должна, согласно шкале Мелехова (И. С. Мелехов, *О теоретических основах лесной пирологии*. Архангельск, 1944), характеризоваться апрельскими пожарами. Распределение возникновения лесных пожаров по месяцам представлено на диаграмме (см. рисунок 2).

Вклад апрельских лесных пожаров в общую лесопожарную обстановку невелик и составляет 10-15 % от общего числа. Тем не менее в последние годы Правительство Саратовской области уже в конце марта публикует Постановления правительства о введении на территории региона противопожарного режима, последним из которых явилось Постановление № 340-п от 18 апреля 2025 г. Наиболее поздние лесные пожары регистрируются в октябре, таким образом, в Саратовской области наблюдается длительный пожароопасный сезон – с 1 апреля по 31 октября, что сравнимо с другими регионами Центрального (Липецкая, Рязанская, Московская, Тверская и т.п. области) и Приволжского (Самарская, Пензенская и т.п. области) федеральных округов.

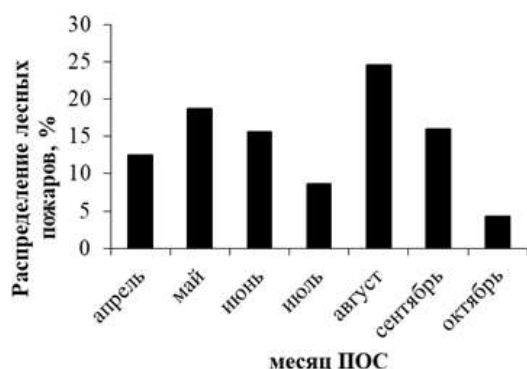


Рисунок 2 – Усредненное распределение лесных пожаров в Саратовской области за 2015-2023 гг.

Figure 2 – Average distribution of wild fires in the Saratov region (in 2015-2023)

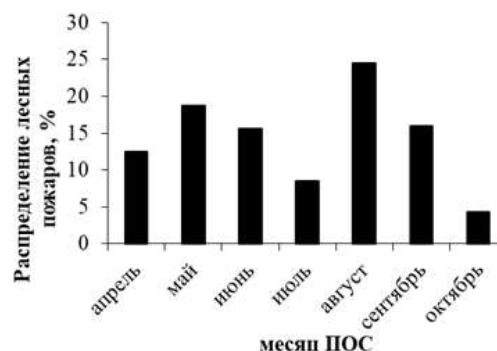


Рисунок 3 – Распределение лесных пожаров по классам пожарной опасности лесов по породному составу (шкала для Саратовской области, 1993)

Figure 3 – Wild fires distribution by forest flammability classes (for the Saratov region, 1993)

Длительное время ПОС обязательно приводит к возникновению внутри него периодов высокой и низкой лесопожарной активности. Как видно из представленной диаграммы (см. рисунок 2), в среднем период апрель-июнь дает вклад в число лесных пожаров 40-45 %, что фактически составляет половину от общего числа лесных пожаров, что связано с периодом праздников (1-10 мая) и ведением весенних полевых работ. Основной пик лесных пожаров наблюдается в августе, что также связано с ведением летних сельскохозяйственных работ и периодом отпусков у населения. Затем в течение двух последующих месяцев (сентябрь и октябрь) число лесных пожаров идет на спад.

Влияние класса пожарной природной опасности лесов на лесопожарную обстановку представлено на рисунке 3. Показано, что наиболее горимыми являются леса I и III классов пожарной опасности, что суммарно составляет почти 78 % от их общего числа. Распределение лесных пожаров по классам породного состава лесов коррелирует с распределением лесов региона по породному составу (см. таблицу 1), в исследуемом регионе наибольшую площадь (62,8 %) занимают леса именно III класса. Представим распределение лесных пожаров по месяцам ПОС (см. таблицу 4).

Таблица 4 – Распределение лесных пожаров в лесах различных пожарных классов по месяцам ПОС в Саратовской области (2015-2023 гг.)

Table 4 – Wild fires distribution in forests of different fire flammability classes by fire season months in the Saratov region (in 2015-2023)

	Распределение лесных пожаров в течение пожароопасного сезона (2015-2023 гг.) / Distribution of forest fires during the fire season (2015-2023)					
	Ia	I	II	III	IV	V
Апрель / April	2,3	5,8	1,6	2,7	0,0	0,0
Май / May	1,2	4,7	3,1	9,3	0,4	0,0
Июнь / June	1,2	4,7	3,1	9,3	0,4	0,0
Июль / July	1,2	2,7	1,2	3,1	0,4	0,0
Август / August	0,0	8,2	3,1	12,1	1,2	0,0
Сентябрь / September	0,0	7,4	3,1	5,4	0,0	0,0
Октябрь / October	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0	0,0

Из представленных результатов видно, что лесные пожары наиболее опасного класса Ia наблюдаются в первой половине ПОС, в то время как пожары в лесах других классов наблюдаются в более длительный период, а самый длинный – 7 месяцев наблюдается для III класса. Пожарный максимум для лесов I-IV классов наблюдается в августе, а для лесов Ia класса – в апреле.

Различные классы пожарной опасности лесов внутри себя состоят из характерных типов леса и типов вырубок других категорий насаждений и безлесных пространств. В таблице 5 представлены результаты горимости лесов различных типов, отнесенных к различным классам по пожарной опасности.

Таблица 5 – Встречаемость лесных пожаров в лесах различных классов пожаров опасности (шкала для Саратовской области)

Table 5 – Wild fires occurrence in forests different flammability classes (scale for the Saratov region)

Класс природной пожарной опасности лесов / Class of forest fire danger type	Характерные типы леса и типы вырубок, другие категории насаждения и безлесных пространств / Characteristic types of forests and types of deforestation, other categories of plantations and treeless spaces	Наиболее вероятные виды пожаров, условия и продолжительность периода их возможного возникновения и распространения / The most likely types of fires, conditions and duration of their possible occurrence and spread	Вклад в лесопожарную обстановку Саратовской области, % / Contribution to the forest fire situation in the Saratov region, %
Ia	Культуры сосны до 20-летнего возраста / Pine crops up to the age of 20	В течение всего пожароопасного сезона возможны как низовые, так и верховые пожары на участках с наличием хвойного древостоя / During the entire fire season, both grass-roots and riding fires are possible in areas with coniferous stands	4,7
I	Сосновые насаждения свыше 20-ти летнего возраста / Pine plantations over 20 years of age		27,6
I	Мяголиственные насаждения до 10 лет / Soft-leaved plantings up to 10 years old		2,5
II	C1 – Крутосклонная боромятликовая дубрава / C1 – Steeply sloping boromyatlikovaya oak grove	В течение всего пожароопасного сезона возможны низовые пожары / Grassroots fires are possible throughout the fire season	3,4
II	C0-1 Остепленная дубрава / C0-1 Insulated oak forest		26,7
III	C1-2 – Боромятликовая, узкомятликовая, орляковая дубрава / C1-2 – Boromyatlikovaya, uzkomyatlikovaya, orlyakovaya oak forests	Низовые пожары в течение всего пожароопасного сезона, а особенно в летний и осенний пожарные максимумы / Grassroots fires throughout the fire season, and especially during the summer and autumn fire peaks	23,3
III	C1-2 – Производный от дубравы липняк боромятликовый / C1-2 is a boromyatlikovy linden derived from oak		0,9
III	C1-2 – Березняк боромятликовый (производный от дубравы боромятликовой / C1-2 – boromyatlikovy birch (derived from boromyatlikovy oak		2,2
III	D1 – Полевокленовая дубрава / D1 – Vole-maple oak grove		0,9
III	D1 – Кленово-ландышевая дубрава с терном / D1 – Maple-lily-of-the-valley oak grove with blackthorn		3,1
III	D2-3 – Осинник волосисто-осоковый производный от дубравы волосисто-осоковой / D2-3 – Hairy-sedge aspen derived from hairy-sedge oak		2,2
IV	D1-2 – Дубо-осинник ландышевый / D1-2 – Oak-aspen lily of the valley	Низовые пожары в летний пожарный максимум / Grassroots fires in the summer fire season	1,6
IV	Выгона, ремизы, сады, питомники, сенокосы, биополяны, ландшафтные поляны, каменистые россыпи, газопроводы, усадьбы, пески, поселки, крутосклоны / Pastures, reserves, gardens, nurseries, hayfields, biofields, landscape clearings, rocky placers, gas pipelines, farmsteads, sands, villages, steep slopes		0,9

Из представленных результатов видно, что лесные пожары встречаются не во всех типах лесов, существующих по классификации, а только в некоторых. Наибольший вклад в лесопожарную обстановку дают: сосновые насаждения свыше 20-ти летнего возраста (I класс, 27,6 %); С0-1 – остепленная дубрава (II класс, 26,7 %); С1-2 – боромятликовая, узкомятликовая, орляковая дубрава (III класс, 23,3 %).

С момента формирования шкалы пожарной опасности лесов Саратовской области (1993 г.) произошли изменения и в лесах, и в лесопожарной обстановке. Так, в отдельных протоколах тушения лесного пожара обнаруживается много случаев, когда описание породного состава участка тушения лесного пожара не всегда соответствует лесохозяйственному регламенту лесничеств. Так, например, пожару подвергся квартал, засаженный ясенем обыкновенным (*Fraxinus excelsior*), а согласно лесопожарной карте участкового лесничества, данный квартал отнесен ко второму классу пожарной опасности, объекты загорания в которых (согласно региональной шкале природной пожарной опасности лесов, 1993 г.) состоят исключительно из дубрав. На рисунке 4 представлено такое распределение.

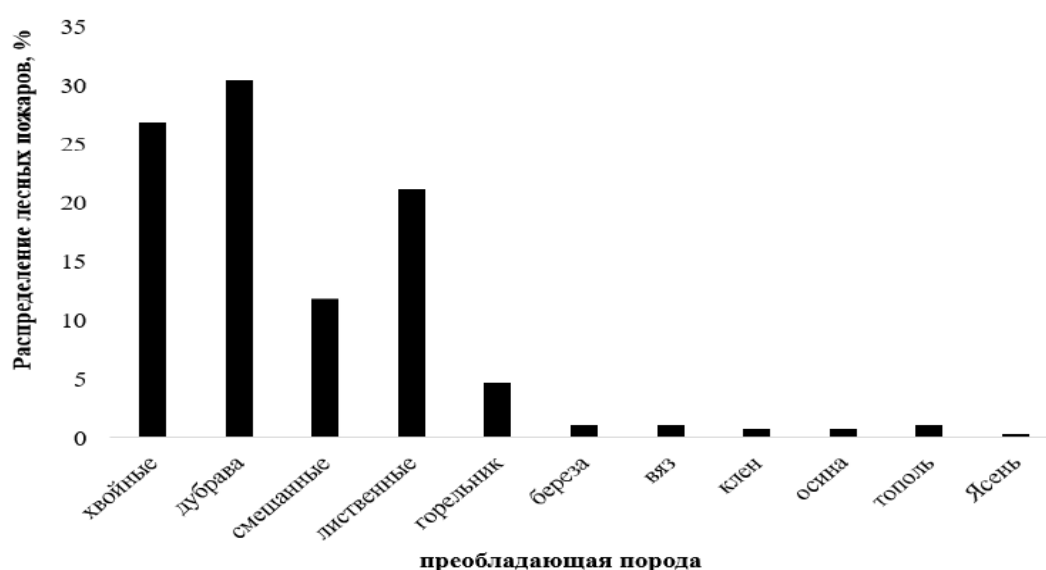


Рисунок 4 – Распределение лесных пожаров по типу преобладающей породы в лесах Саратовской области (2015-2023 гг.)

Figure 4 – Wild fires distribution by type of dominant species in Saratov region forests (in 2015-2023)

Из представленной диаграммы видно, что наиболее часто упоминаемыми в протоколах являются хвойные леса и лиственные леса, из которых более точно определяемы дубравы различных типов (Крутосклонная боромятликовая дубрава, Остепленная дубрава, боромятликовая, узкомятликовая, орляковая дубрава и т.п.). За последние 30 лет произошли изменения и во временном распределении лесных пожаров, причиной чему специалисты называют изменение климата [13-16]. Для доказательства возможных изменений в лесопожарной обстановке был произведен анализ временных интервалов возникновения лесных пожаров в лесах различных классов природной пожарной опасности (см. таблицу 6).

Результаты, представленные в таблице 6, свидетельствуют о том, что за прошедшие со времени создания региональной шкалы природной пожарной опасности лесов (1993 г.) произошли некоторые изменения. Пожары в лесах категории Ia и I наблюдаются только в первой половине ПОС, в лесах II, III и IV классов ситуация не изменилась. Пожаров в лесах V класса в исследуемый период не наблюдалось.

Согласно (Н. П. Курбатский, *Возникновение лесных пожаров*. М., 1964; П. М. Матвеев, *Лесная пирология*. Красноярск, 2002; С. В. Залесов, *Лесная пирология: учебник для вузов*. Екатеринбург, 2013 и И. С. Мелехов, *Лесные пожары и борьба с ними*. Архангельск, 1935) лесные пожары в зависимости от места их развития подразделяются на верховые, низовые, подземные (почвенные). На вид лесного пожара обязательно будут влиять лесорастительные, погодные условия, а также состояние лесных массивов (ярусность, захламенность и пр.). Наиболее распространенными, за исследуемый период, в Саратовской области являются низовые пожары (98,9 %), верховые пожары не более 1,1 %, а почвенных (из-за отсутствия болот) не наблюдается вообще.

Таблица 6 – Сравнение статистики лесных пожаров в лесах различных классов пожарной опасности по породному составу Саратовской области за последние 30 лет

Table 6 – Wild fires statistics comparison of different forests flammability classes of forests of in the Saratov region over the past 30 years

Класс природной пожарной опасности лесов / Class of forest fire danger type	Наиболее вероятные виды пожаров, условия и продолжительность периода их возможного возникновения и распространения (на 1993 г.) / The most probable types of fires, conditions and duration of their possible occurrence and spread (as of 1993)	Период ПОС Саратовской области (2015-2023 гг.) / The PIC period of the Saratov region (2015-2023)
Ia	В течение всего пожароопасного сезона возможны как низовые, так и верховые пожары на участках с наличием хвойного древостоя / During the entire fire season, both grass-roots and riding fires are possible in areas with coniferous stands	апрель-июнь / April-June
I	В течение всего пожароопасного сезона возможны как низовые, так и верховые пожары на участках с наличием хвойного древостоя / During the entire fire season, both grass-roots and riding fires are possible in areas with coniferous stands	апрель-июнь / April-June
II	В течение всего пожароопасного сезона возможны низовые пожары / Grassroots fires are possible throughout the fire season	апрель-сентябрь / April-September
III	Низовые пожары в течение всего пожароопасного сезона, а особенно в летний и осенний пожарные максимумы / Grassroots fires throughout the fire season, and especially during the summer and autumn fire peaks	апрель-сентябрь / April-September
IV	Низовые пожары в летний пожарный максимум / Grassroots fires in the summer fire season	май-август / May-August
V	Возникновение пожара возможно при особо неблагоприятных условиях (длительная засуха) / The occurrence of a fire is possible under particularly unfavorable conditions (prolonged drought)	не наблюдаются / not observed

Лесные низовые пожары распределяются по режиму горения (беглые и устойчивые), а также по интенсивностям горения на слабые, средние и сильные. Анализ протоколов тушения лесных пожаров выявил следующую картину (см. рисунок 5).

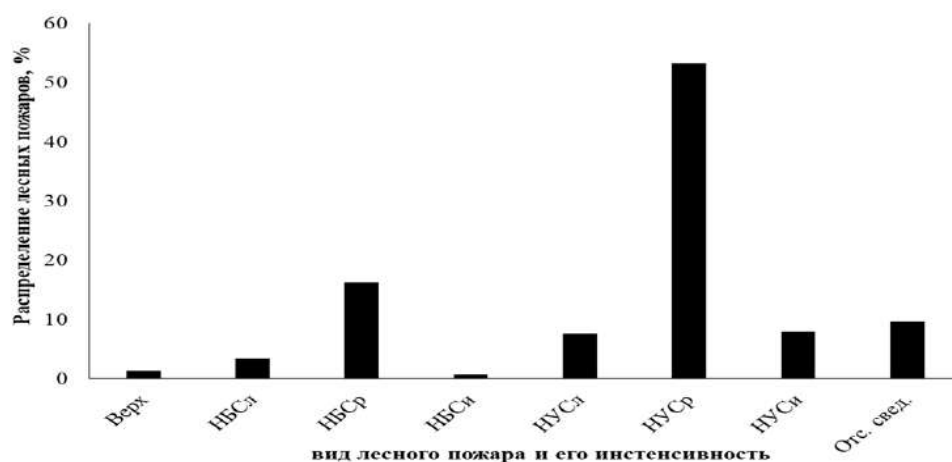


Рисунок 5 – Диаграмма распределения лесных пожаров в Саратовской области по типам (2015-2023 гг.)

Figure 5 –Wild fires types which were observed in Saratov region (in 2015-2023)

Примечание: Верх. – верховые пожары, Б – беглые пожары, Н – низовые пожары, У – устойчивые пожары, Сл – слабые пожары, Ср – средние пожары, Си – сильные пожары.

Из представленной диаграммы видно, что в Саратовской области наиболее распространены низовые устойчивые пожары средней интенсивности. Следует отметить, что интенсивность лесного пожара определяется по высоте пламени над поверхностью лесного горючего материала (ЛГМ) и может меняться в зависимости от складывающихся на данном участке условий (тип, масса, влажность ЛГМ, скорость ветра и т.п.). В реальной обстановке тушения лесного пожара его интенсивность горения чаще всего определяется довольно приблизительно. Видимо поэтому в протоколы чаще всего попадает информация о среднем характере интенсивности горения.

Для понимания особенностей сценария развития лесного низового пожара и влияния на него погодных условий необходимо проследить динамику беглых и устойчивых пожаров в течение всего ПОС. Результаты распределения представлены на рисунке 6 и 7.

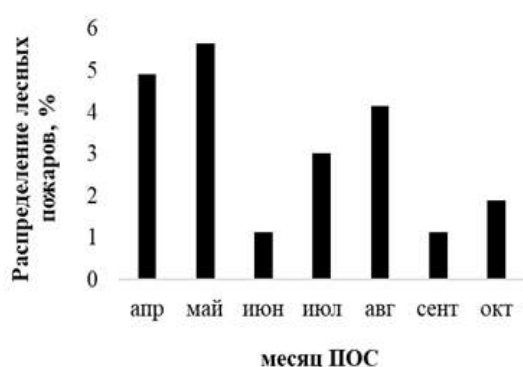


Рисунок 6 – Динамика низовых беглых лесных пожаров в течение ПОС
Figure 6 – Runaway wild fires dynamics within the fire season

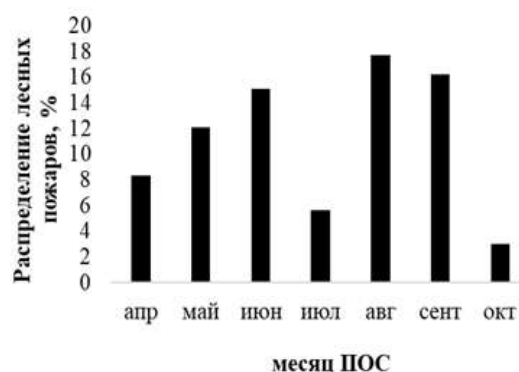


Рисунок 7 – Динамика низовых устойчивых лесных пожаров в течение ПОС
Figure 7 – Persistent wild fires dynamics within the fire season

Из представленных диаграмм видно, что количество беглых пожаров максимально в апреле-мае и снижается к октябрю. Самый минимум таких пожаров наблюдается в июне и сентябре, что связано с минимальной влажностью ЛГМ и формированию условий для устойчивых пожаров. В противоположность этому устойчивые пожары минимальны в июле и октябре из-за распределения осадков согласно погодным условиям. В общем число устойчивых пожаров нарастает и становится максимальным в августе-сентябре – т.е. во второй половине ПОС.

Развитие пожара, его тяжесть для лесного биоценоза зависит от интенсивности горения. На рисунке 8-13 представлено распределение интенсивности беглых и устойчивых низовых пожаров по месяцам ПОС в Саратовской области.

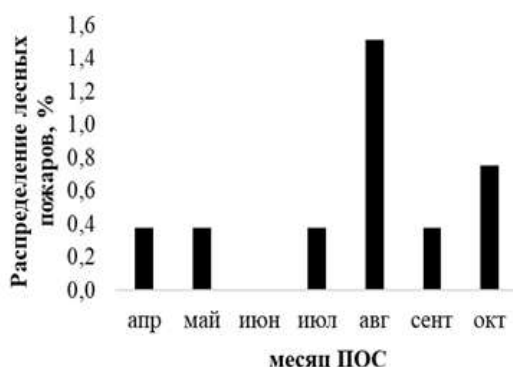


Рисунок 8 – Низовой беглый слабый
Figure 8 – Runaway ground fires (low intensity)

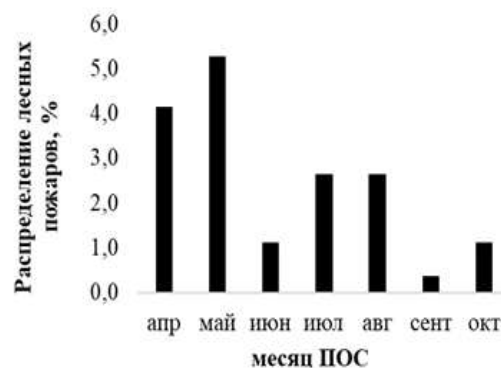


Рисунок 9 – Низовой беглый средний
Figure 9 – Runaway ground fires (moderate intensity)

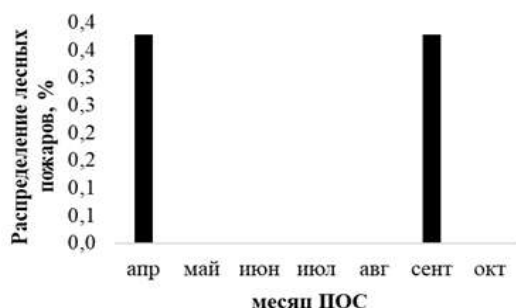


Рисунок 10 – Низовой беглый сильный
Figure 10 – Runaway ground fires
(high intensity)

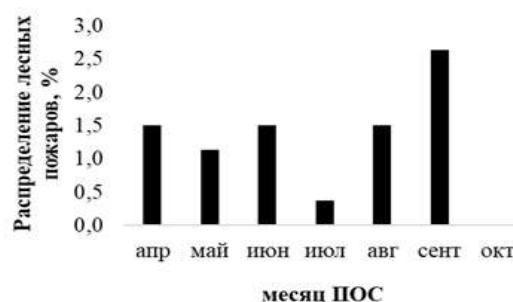


Рисунок 11 – Низовой устойчивый слабый
Figure 11 – Persistent ground fires
(low intensity)

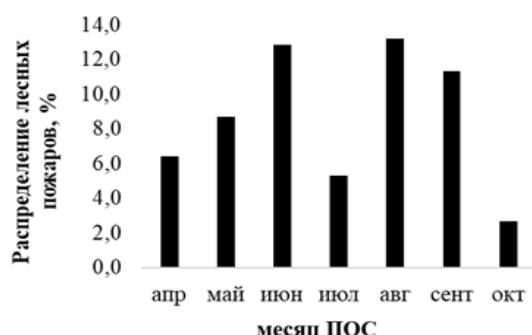


Рисунок 12 – Низовой устойчивый средний
Figure 12 – Persistent ground fires
(moderate intensity)

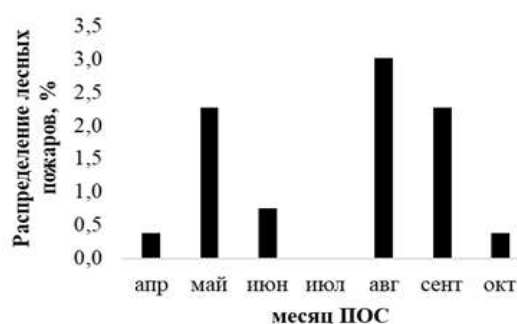


Рисунок 13 – Низовой устойчивый сильный
Figure 13 – Persistent ground fires
(high intensity)

Из представленных диаграмм видно, что однозначную картину в распределении лесных пожаров по интенсивности выявить нельзя, сказывается субъективность в оценке интенсивности пожара и различия в погодных условиях в течение ПОС. Для беглых лесных пожаров средняя интенсивность реализуется в начале ПОС, а слабая во второй половине. Для устойчивых пожаров слабая и сильная интенсивность реализуется во второй половине ПОС, а средняя в течение всего ПОС с максимумами в июне и августе.

Таблица 7 – Площадь поврежденная (уничтоженная) лесными пожарами в Саратовской области (2015-2023 гг.)

Table 7 – Wild fire damaged area of forestry in Saratov region (in 2015-2023)

Год / Year	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Кол-во ЛП, ед / Number of wild fires	95	10	33	94	50	144	63	14	25
Суммарная площадь ЛП, га / Total area of wild fires, ha	719,6	19,0	543,8	1560,5	289,5	5751,4	1341,9	31,7	174,7
Горимость лесов в год* / Forest flammability per year	0,98	0,026	0,74	2,12	0,39	7,80	1,82	0,043	0,24
Степень относительной горимости лесов* / Forest flammability*	Средняя / Average	Низкая / Low	Средняя / Average	Высокая / High	Ниже средней / Below average	Чрезвычайная / Emergency	Высокая / High	Низкая / Low	Ниже средней / Below average
Класс фактической горимости* / Forest flammability degree*	3	5	3	1	4	1a	1	5	4

* определены согласно [11, 12].

Лесные пожары закономерно наносят материальный ущерб, который в наиболее общем виде выражается в гектарах лесного фонда, поврежденного или уничтоженного пожаром. Ежегодно по окончании пожароопасного сезона ущерб подсчитывается и публикуется. Сведения о площадях лесного фонда, поврежденных лесными пожарами в Саратовской области за исследуемый период представлена в таблице 7.

Из представленных результатов видно, что между числом лесных пожаров (см. рисунок 1) в регионе и их суммарной площадью (см. таблицу 7) имеется прямая пропорциональная зависимость, т.е. с ростом числа лесных пожаров растет и их площадь. Наиболее всего лесной фонд Саратовской области от лесных пожаров пострадал в 2018, 2020 и 2021 годах.

Заключение. На основе анализа статистических данных о лесных пожарах в Саратовской области проанализирована горимость лесов региона. Показано, что в среднем (за 9 лет наблюдений) происходит 50-70 лесных пожаров на средней площади 1000-1200 га. Леса региона, по частоте возникновения лесных пожаров в них и их суммарной площади, отнесенной к 1 тыс. га лесного фонда, соответствуют степени относительной горимости – «Высокая». Если отнести количество лесных пожаров в исследуемом регионе к его лесистости, то становится ясным, что лесопожарная обстановка в регионе является гораздо более напряженной даже в сравнении с многолесными регионами Сибири. Это требует пересмотра подходов к профилактике лесных пожаров и противопожарной защиты лесов в Саратовской области, т.к. леса и лесополосы выполняют важную функцию – защитную, а лесовосстановление, в условиях остепнения региона, в значительной мере затруднено.

Conclusions. Based on the analysis of statistical data on wild fires in the Saratov region, the flammability of forests in the region is analyzed. It is shown that on average (over 9 years of observations) 50-70 wild fires occur on an average area of 1000-1200 hectares. The region's forests, based on the frequency of forest fires and their total area per 1000 hectares of forest fund, correspond to the relative flammability level as "High". If we relate the number of wild fires in the studied region to its forest cover, it becomes clear that the forest fire situation in the region is much more tense even in comparison with the forest-rich regions of Siberia. This requires a revision of approaches to the prevention of wild fires and forest fire protection in the Saratov region, since Forests and forest belts perform an important function – protection, and forest restoration, in the conditions of steppe formation of the region, is significantly complicated.

Библиографический список

1. Петрунин Н. А. Индикативный анализ горимости лесов в России. Труды СПб НИИ ЛХ. 2022. № 4. С. 115-137.
2. Котельников Р. В., Чугаев А. Н. Сравнительная оценка качества индексов пожарной опасности в лесах. Сибирский лесной журнал. 2023. № 6. С. 32-38.
3. Москальченко С. А., Пономарёв Е. И., Иванов А. В. Горимость лесов Красноярского края в современных условиях. Хвойные бореальной зоны. 2014. № 1-2. С. 33-39.
4. Цветков П. А., Путинцева А. Е. Горимость пригородных сосняков рекреационного значения г. Красноярска. Сибирский лесной журнал. 2018. № 4. С. 76-80.
5. Залесов С. В., Годовалов Г. А., Нагашпаев С. Г., Залесова Е. С., Кутыева Г. А., Тукачева А. В. Анализ горимости лесов Уральского учебно-опытного лесхоза и пути совершенствования охраны их от пожаров. Леса России и хозяйство в них. 2015. № 2. С. 35-39.
6. Волокитина А. В., Софронова Т. М., Корец М. А. Региональные шкалы оценки пожарной опасности в лесу: усовершенствованная методика составления. Сибирский лесной журнал. 2017. № 2. С. 52-61.
7. Шур Ю. З., Степченко А. А., Горовая Е. Н., Мельников М. А., Шаповал Н. В., Шепелева И. С. Региональные шкалы оценки пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды. Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2019. № 3. С. 72-87.
8. Плотникова А. С. Шкала природной пожарной опасности лесных экосистем И. С. Мелехова. Обзор современных российских методических подходов. Вопросы лесной науки. 2021. № 2. С. 1.
9. Котельников Р. В., Мартынюк А. А. Методические подходы к оценке эффективности региональных шкал пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии имени С. М. Кирова. 2023. № 246. С. 162-176.
10. Козаченко М. А., Удалова О. Г., Панкин К. Е. Процессы пожарного созревания лесных горючих материалов в лесах Саратовского лесничества саратовской области. Успехи современного естествознания. 2021. № 9. С. 5-12.
11. Ковалев А. П., Шешуков М. А., Позднякова В. А. Критерии приоритетности тушения лесных пожаров при их массовом возникновении. Лесохозяйственная информация. 2015. № 3. С. 47-55.
12. Головина А. Н., Иванов В. А. Сравнительная оценка горимости лесов России и зарубежных стран. Лесохозяйственная информация: электронный сетевой журнал. 2020. № 4. С. 87-93.
13. Швиденко А. З., Щепаченко Д. Г. Климатические изменения и лесные пожары в России. Лесоведение. 2013. № 5. С. 50-61.

14. Валендик Э. Н., Кисильхов Е. К., Рыжкова В. А., Пономарев Е. И., Голдаммер Й. Г. Лесные пожары в средней Сибири при аномальных погодных условиях. Сибирский лесной журнал. 2014. № 3. С. 43-52.

15. Снакин В. В. Неустойчивость природных процессов: глобальный климат. Использование и охрана природных ресурсов России. 2022. № 3. С. 3-11.

16. Третьяков П. Д., Пономарев Е. И. Горимость Арктической зоны Сибири в условиях климатических изменений XX - начала XXI вв. Сибирский лесной журнал. 2023. № 6. С. 17-31.

References

1. Petrunin N. A. Indicative analysis of forest flammability in Russia. Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry. 2022. No. 4. Pp. 115-137.

2. Kotelnikov R. V., Chugaev A. N. Comparative assessment of the quality of fire hazard indices in forests. Siberian Forestry Journal. 2023. No 6. Pp. 32-38.

3. Moskalchenko S. A., Ponomarev E. I., Ivanov A. V. Combustibility of forests of Krasnoyarsk Krai under modern conditions. Conifers of the boreal zone. 2014. No 1-2. Pp. 33-39.

4. Tsvetkov P. A., Putintseva A. E. Combustibility of suburban pine forests of recreational value in Krasnoyarsk. Siberian Forestry Journal. 2018. No 4. Pp. 76-80.

5. Zalesov S. V., Godovalov G. A., Nagashpaev S. G., Zalesova E. S., Kutyeva G. A., Tukacheva A. V. Analysis of flammability of forests of the Ural educational and experimental forestry enterprise and ways to improve their protection from fires. Forests of Russia and their management. 2015. No 2. Pp. 35-39.

6. Volokitina A. V., Sofronova T. M., Korets M. A. Regional scales for assessing forest fire hazard: an improved compilation methodology. Siberian Forestry Journal. 2017. No 2. Pp. 52-61.

7. Shur Yu. Z., Stepchenko A. A., Gorovaya E. N., Melnikov M. A., Shapoval N. V., Shepeleva I. S. Regional scales for assessing forest fire hazard depending on weather conditions. Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry. 2019. No 3. Pp. 72-87.

8. Plotnikova A. S. Natural fire hazard scale of forest ecosystems by I. S. Melekhova. Review of modern Russian methodological approaches. Issues of forest science. 2021. No 2. P. 1.

9. Kotelnikov R. V., Martynyuk A. A. Methodological approaches to assessing the effectiveness of regional fire hazard scales in forests depending on weather conditions. Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy named after S. M. Kirov. 2023. No 246. Pp. 162-176.

10. Kozachenko M. A., Udalova K. E., et al. Processes of fire maturation of forest combustible materials in the forests of the Saratov forestry of the Saratov region. Successes of modern natural science. 2021. No 9. Pp. 5-12.

11. Kovalev A. P., Sheshukov M. A., Pozdnyakova V. A. Criteria for the Priority of Extinguishing Forest Fires in the Event of Their Mass Occurrence. Forestry Information. 2015. No 3. Pp. 47-55.

12. Golovina A. N., Ivanov V. A. Comparative assessment of forest flammability in Russia and foreign countries. Forestry information: electronic online journal. 2020. No. 4, P. 87-93.

13. Shvidenko A. Z., Shchepashchenko D. G. Climate change and forest fires in Russia. Lesovedenie. 2013. N 5. Pp. 50-61.

14. Valendik E. N., Kisilyakhov E. K., Ryzhkova V. A., Ponomarev E. I., Goldammer J. G. Forest fires in central Siberia under abnormal weather conditions. Siberian Forestry Journal. 2014. No 3. Pp. 43-52.

15. Snakin V. V. Instability of natural processes: global climate. Use and protection of natural resources of Russia. 2022. N 3. Pp. 3-11.

16. Tret'yakov P. D., Ponomarev E. I. Flammability of the Arctic Zone of Siberia under Climate Change Conditions of the 20th – Early 21st Centuries. Siberian Forestry Journal. 2023. No 6. Pp. 17-31.

Информация об авторах

Ивченко Ольга Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3.), ORCID 0000-0003-0710-5123, e-mail: olgalexan607@mail.ru

Тютин Александр Васильевич, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3.), ORCID 0000-0002-5982-8983, e-mail: aleksandartiutin@yandex.ru

Козаченко Максим Анатольевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3.), ORCID 0000-0002-9165-0759, e-mail: lesfak-saratov@mail.ru

Панкин Кирилл Евгеньевич, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3.), ORCID 0000-0002-3023-1410, e-mail: texmexium@mail.ru

Authors' Information

Ivchenko Olga Aleksandrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, 410012, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., 4/3), ORCID 0000-0003-0710-5123, e-mail: olgalexan607@mail.ru

Tyutin Aleksandr Vasilyevich, Senior Lecturer, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, 410012, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., 4/3), ORCID 0000-0002-5982-8983, e-mail: aleksandartiutin@yandex.ru

Kozachenko Maksim Anatolyevich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, 410012, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., 4/3), ORCID 0000-0002-9165-0759, e-mail: lesfak-saratov@mail.ru

Pankin Kirill Evgenievich, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, 410012, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., 4/3), ORCID 0000-0002-3023-1411, e-mail: texmexium@mail.ru

**THE PROSPECTS FOR THE MILLET VARIETY SAMPLES USING
AS A STARCH-CONTAINING RAW MATERIAL****Kameneva O. B., Vasilyeva E. V., Kireeva O. V.***Russian research and design – technological institute of sorghum and corn
Saratov, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: olga_kireeva_77@mail.ru

Received 31.07.2025

Submitted 28.10.2025

Summary

Based on the study of the source material of millet with a high starch content in the grain, a working collection of 14 samples with a starch content of 75 % or more was compiled to obtain high-yielding millet varieties. Based on the study of the working collection, a model of the millet variety was developed. Genotypes with positive characteristics will be included in the breeding process.

Abstract

Introduction. Currently, the production of starch in Russia is developing at a rapid pace, and this is due to the growing demand for starch bioconversion products in various industries. In the food industry, they serve as an alternative to sugar for the production of a wide range of products for various purposes. The need for native starches is particularly evident in the textile, cardboard, and paper industries, as well as in many other sectors. Starch plays a crucial role in the production of biodegradable polymers [1, 2] (Vinogradov K. I. The Future of Russian Starch // Food Industry. – 2005. – No. 8. – Pp. 46-47; Aksenov V. V. Complex Processing of Vegetable Starch-Containing Raw Materials in Russia // Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University. – 2007. – No. 4. – Pp. 213-218). The study of alternative drought-resistant starch-containing crops with stable yields in arid regions will allow for the creation of new varieties with specified technological properties for processing into starch and starch products. Due to the complex of biological and economically valuable traits and properties possessed by common millet, it has gained significance as a crop suitable for processing grain into starch. The high reproduction rate, high grain yields, drought resistance, and low soil fertility requirements indicate the potential for its use [5]. **Object.** 14 varieties and cultivars of millet (*Panicum miliaceum*): k-9217, k-9838, k-9840, k-9842, k-9845, k-9846, k-10214, k-10411, k-10323, k-10361, k-10178, Zolotaya Orda, Albatross, Apollon. **Materials and methods.** The nurseries of millet-type crops are located in the breeding crop rotation of the Federal State Budgetary Scientific Institution Russian Research Institute of Agricultural Crops "Rossorgo" in accordance with the methodology of state variety testing of agricultural crops and the generally accepted methods of field experience. Observations of growth and development, as well as the assessment of economically valuable traits, are conducted in accordance with the Methodology of State Variety Testing of Agricultural Crops and the classifier of the *Setaria Italica* L. species (Methodology for State Variety Testing of Agricultural Crops. Issue 2. Grown, Cereals, Legumes, Corn and Fodder Crops // Gosagro-prom USSR. State Commission for Variety Testing of Agricultural Crops. – Moscow. – 1989. – 194 p.; Yakushevsky E. S., Varadinov S. G., Korneychuk V. A., Banyai L. Broad unified classifier of COMECON and international classifier of COMECON cultivated species of the genus *Sorghum* Moench. – L. – 1982. – 34 p.; Classifier of the species *Panicum miliaceum* L. (millet) // All-Union Research Institute of Plant Breeding named after N. Vavilova. – L. – 1981. – 19 p.). 11 collection varieties and 3 varieties of millet were evaluated for their starch content in the grain and other biochemical parameters. After sowing, they were evaluated for their morphometric characteristics and yield elements. The biochemical analysis of the grain for starch content was conducted in the laboratory of the Department of Biochemistry and Biotechnology according to GOST 10845-98 [9] and using an express method on a Spectra Star XT BIC analyzer. **Results and conclusions.** The starch content in millet groats varied from 65.59 to 77.02 %, and the highest value (>75.0 %) was found in the k-9845 variety and the Golden Horde and Apollo varieties. Based on the results of the yield assessment of the collection samples of millet, it was found that the yield varied from 1.6 t/ha to 2.6 t/ha. The varieties Apollo, Yark, and Zolotaya Orda have a higher yield. The mass of 1,000 seeds in the studied samples ranged from 6.2 to 9.2 g. A new high-starch millet variety has been developed.

Keywords: millet sowing varieties, millet varieties, millet starch, starch crops, starch products.

Citation. Kameneva O. B., Vasilyeva E. V., Kireeva O. V. The prospects for the millet variety samples using as a starch-containing raw material. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 165-173 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-18.

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

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

УДК 633.171:664.235

**ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОРТООБРАЗЦОВ ПРОСА ПОСЕВНОГО
В КАЧЕСТВЕ КРАХМАЛОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ**

Каменева О. Б., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
Васильева Е. В., доктор экономических наук, профессор, главный научный сотрудник
Киреева О. В., кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник

ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы»
г. Саратов, Российская Федерация

Аннотация. На основании изучения исходного материала проса посевного с высоким содержанием крахмала в зерне составлена рабочая коллекция из 14 образцов с содержанием крахмала – 75 % и более, для получения высокопродуктивных сортов проса. На основании изучения рабочей коллекции разработана модель сорта проса посевного. Генотипы с положительными признаками будут включены в селекционный процесс.

Актуальность. В настоящее время производство крахмала в России развивается быстрыми темпами, и это связано с ростом спроса на продукцию биоконверсии крахмала в разных сферах промышленности. В пищевой промышленности они составляют альтернативу сахару для выработки широкой номенклатуры продукции различного назначения. Потребность в нативных крахмалах остро обозначена в текстильной, картоно-бумажной и многих других видах промышленности. Особое значение имеет крахмал в производстве биоразлагаемых полимеров [1, 2] (Виноградов К. И. Будущее российского крахмала // Пищевая промышленность. – 2005. – № 8. – С. 46-47; Аксенов В. В. Комплексная переработка растительного крахмалосодержащего сырья в России // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2007. – № 4. – С. 213-218). Изучение альтернативных засухоустойчивых крахмалосодержащих культур, обладающих стабильной урожайностью в условиях аридного региона, позволит создать новые сорта с заданными технологическими свойствами для переработки на крахмал и крахмалопродукты. Благодаря комплексу биологических и хозяйственно ценных признаков и свойств, которыми обладает просо посевное и получило значение культуры пригодной для переработки зерна на крахмал. Высокий коэффициент размножения, высокие урожаи зерна, засухоустойчивость, нетребовательность к плодородию почв свидетельствует о перспективности его применения [3, 4]. **Объекты.** 14 сортобразцов и сортов проса посевного (*Panicum miliaceum*): к-9217, к-9838, к-9840, к-9842, к-9845, к-9846, к-10214, к-10411, к-10323, к-10361, к-10178, Золотая Орда, Альбатрос, Аполлон. **Материалы и методы.** Питомники просовидных культур заложены в селекционном севообороте ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» согласно методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур и общепринятым методикам полевого опыта. Наблюдения за ростом и развитием, проведение оценки хозяйственно-ценных признаков проводится согласно Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур и классификатору вида *Setaria Italica* L. (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры // Госагропром СССР. Государственная комиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур. – Москва. – 1989. – 194 с.; Якушевский Е. С., Варадинов С. Г., Корнейчук В. А., Баня Л. Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ возделываемых видов рода *Sorghum* Moench. – Л. – 1982. – 34 с.; Классификатор вида *Panicum miliaceum* L. (просо посевное) // Всесоюзный НИИ растениеводства имени Н. И. Вавилова. – Л. – 1981. – 19 с.). Проведена оценка 11 коллекционных сортобразцов и 3 сортов проса посевного на содержание крахмала в зерне и других биохимических показателей. После посева оценены по морфометрическим признакам, а также по элементам урожайности. Биохимический анализ зерна на содержание крахмала проведен в лаборатории отдела биохимии и биотехнологии по ГОСТ 10845-98 и экспресс-методом на БИК-анализаторе Spectra Star XT. **Результаты и выводы.** Содержание крахмала в крупе проса варьировало от 65,59 до 77,02 %, а наибольший показатель установлен у сортобразцов к-9845 и сортов собственной селекции Золотая Орда, Аполлон. По результатам учета урожайности семян коллекционных образцов проса посевного выявлено, что этот показатель варьирует 1,6 т/га до 2,6 т/га. У сортов Аполлон, Ярлык, Золотая Орда данный показатель выше. Значение массы 1000 семян у исследуемых образцов варьировало от 6,2 до 9,2 г. Разработана модель нового высококрахмалистого сорта проса.

Ключевые слова: просо посевное, сорта проса, просяной крахмал, крахмалосодержащие культуры, крахмалопродукты.

Цитирование. Каменева О. Б., Васильева Е. В., Киреева О. В. Перспективность использования сортобразцов проса посевного в качестве крахмалосодержащего сырья. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 165-173. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-18.

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. Крахмал и крахмалопродукты играют важную роль, поскольку они имеют широкое применение во всех отраслях пищевой промышленности в качестве углеводных продуктов, а также используются в медицине и техническом производстве. Согласно статистическим данным за 2024 год в стране получено свыше 400 тысяч тонн крахмала из различных видов крахмалоносных культур [5].

В связи с поиском новых перспективных крахмалосодержащих культур открываются перспективы вовлечения культуры проса посевного. Научный и селекционный интерес к этой культуре заключается еще и в том, что имеется возможность увеличения валовых сборов зерна с каждого гектара за счет повторных (поукосных и пожнивных) посевов, прежде всего в южных областях и при условиях, в которых другие зерновые культуры малопродуктивны. Главным направлением селекционной работы проса посевного является получение сортов с высокой урожайностью и высоким содержанием крахмала в зерне. Основное предъявляемое требование к сортам и гибридам это высокое содержание крахмала в зерне. Кроме того, применение в селекционной работе генетического разнообразия внутри одной и той же культуры позволит получать сорта, содержащие в зерне крахмал разного состава. Так мучнистый вид эндосперма состоит из амилозного и амилопектинового крахмала в соотношении от 20 до 25 % амилозы и 75-80 % амилопектина, восковидный эндосperm семян накапливает 100 % амилопектинового крахмала, который очень востребован и используется в технических целях и для получения модифицированных крахмалов различного использования [6-10].

Успешное решение проблемы по созданию раннеспелых сортов проса посевного с высоким содержанием крахмала, адаптированных к условиям Нижнего Поволжья, во многом зависит от подбора исходного материала. Поволжский регион характеризуется суммой активных температур от 2065 до 3500 °С. По климатическим характеристикам региона можно отметить, что температурный режим позволяет возделывать на территории региона ранние и среднеранние сорта посевного проса [11, 12].

Материалы и методы. Питомник проса посевного заложен в селекционном севообороте ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» согласно методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур по общепринятым методикам полевого опыта. Посев проса посевного проведен 17 мая 2024 г. селекционной кассетной сеялкой СКС-6-10, широкорядным способом посева с шириной междурядий 0,70 м, площадь делянок – 7,7 м². В межфазный период «всходы – начало кущения» вручную сформировали густоту стояния растений проса посевного 250 шт./м², биохимический анализ зерна на содержание крахмала проведен в лаборатории отдела биохимии и биотехнологии по ГОСТ 10845-98 и экспресс методом на инфракрасном анализаторе Spectra Star XT. В лабораторных условиях были получены образцы крахмалов посредством гравитационного метода осаждения из размоленного зерна проса. Зерно размолоти на лабораторной мельнице ЛЗМ-1. Далее в полученную муку добавили воду по объему значительно превышающую объем муки. Полученную массу пробивали блендером мощностью 1200 Вт. Крахмальное молоко отстаивали в течение 5 часов для набухания и осаждения крахмальной кашицы. Пропускали через сито № 0,15 мм. Крахмал отстаивали и раскладывали на поддоны с бортиками и высушивали в сушильном шкафу при температуре 40 °С. Высушенные пласты крахмала имели рыхлую ломкую структуру, их подвергали размалыванию на лабораторной мельнице. При получении крахмала из проса слизеобразующих веществ, в том числе пентозанов, препятствующих осаждению крахмального слоя не обнаружено.

В 2024 году проведены полевые и лабораторные исследования для решения следующих задач:

- изучение рабочей коллекции проса посевного по биохимическому составу зерна и крупы, полевых морфометрических параметров и урожайности;
- разработка модели сорта проса посевного, ориентированного на промышленное получение крахмала.

Таблица 1 – Образцы рабочей коллекции проса посевного
Table 1 – Samples of the working collection of millet

Порядковый номер / Serial number	Сортообразец / Variety Sample	Происхождение / Origin
1	к-9217	Саратовская область / Saratov region
2	к-9841	Саратовская область / Saratov region
3	к-9842	Саратовская область / Saratov region
4	к-9845	Саратовская область / Saratov region
5	к-9846	Саратовская область / Saratov region
6	к-10214	Татарстан / Tatarstan
7	к-10380	Орловская область / Oryol region
8	к-10306	Самарская область / Samara region
9	к-10036	Орловская область / Oryol region
10	к-10178	Воронежская область / Voronezh region
11	к-1669	Саратовская область / Saratov region
12	Сорт Золотая Орда, РосНИИСК Россорт / Variety Zolotaya Orda	
13	Сорт Альбатрос, РосНИИСК Россорт / Variety Albatross	
14	Сорт Аполлон, РосНИИСК Россорт / Variety Apollo	

Результаты. Полученная из зерна проса крупа характеризовалась следующими показателями: выход от 80,4 до 90,0 %, выравненность – 97,5 %. Крупа содержит 99,4 % качественного ядра, 0,6 % битых и некачественных зерен, примеси и нашелушенные зерна отсутствуют, что соответствует крупе высшего качества по ГОСТ 572-60.

Рабочая коллекция проса проанализирована по содержанию крахмала в крупе. Установлено, что все включенные в изучение образцы отличились высоким содержанием крахмала от 65,59 до 77,02 %, а наибольший показатель (>75,0 %) установлен у сортообразцов к-9845, Золотая Орда, Аполлон (рисунок 1, 2).



Рисунок 1 – Оценка содержания крахмала
Figure 1 – Evaluation of starch content

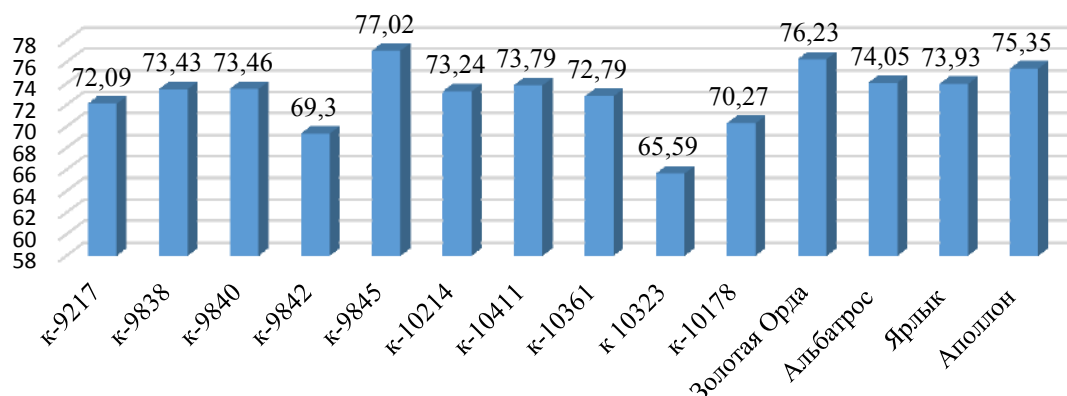


Рисунок 2 – Содержание крахмала в крупе проса посевного (%)
Figure 2 – Starch content in millet cereals (%)

Практический выход крахмала прямо пропорционально коррелирует с содержанием его в зерне и величиной зерновки проса.

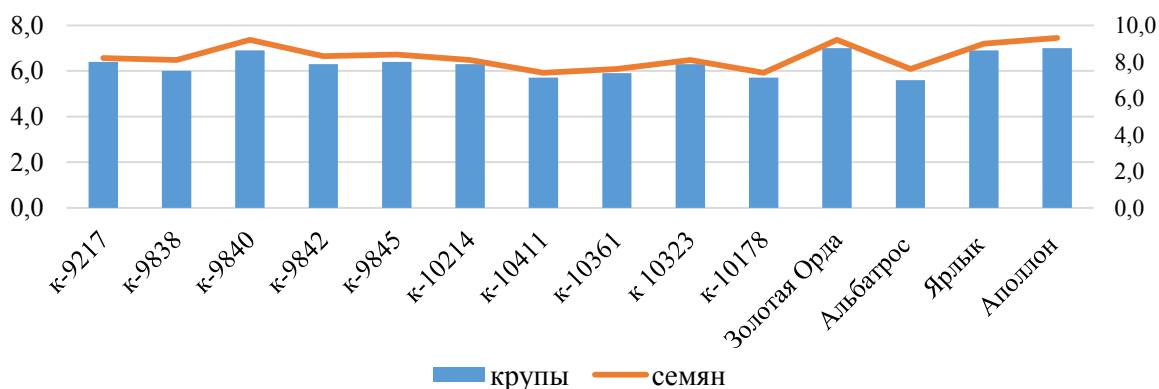


Рисунок 3 – Масса 1000 семян и крупы проса посевного (г)
Figure 3 – Weight of 1000 seeds and cereals of millet (g)

По результатам учета урожайности семян коллекционных образцов проса посевного выявлено, что этот показатель варьирует от 1,6 т/га до 2,6 т/га. У сортов Аполлон, Ярлык, Золотая Орда данный показатель выше. Значение массы 1000 семян у исследуемых образцов варьировало от 6,2 до 9,2 г (таблица 2, рисунок 3).

Таблица 2 – Урожайность и масса 1000 семян коллекционных сортообразцов проса посевного, 2024 г.
Table 2 – Productivity and weight of 1000 seeds of collection varieties of millet, 2024

Название сорта и № по каталогу ВИР / Variety name and No according to the VIR catalogue	Масса 1000 семян, г / Weight of 1000 seeds, g	Урожайность, т/га / Yield, t/ha
к-1669	6,9	1,6
к-9838	6,2	1,9
к-9842	7,9	1,8
к-9845	8,1	2,3
к-10036	8,0	1,9
к-10178	7,4	2,2
к-10212	6,8	1,9
к-10214	7,2	1,8
к-10306	7,3	2,6
к-10380	6,6	2,5
к-10378	8,1	2,1
Аполлон / Apollon	9,2	3,2
Альбатрос / Albatros	7,5	2,9
Золотая Орда / Zolotaya Orda	8,7	3,1

Таблица 3 – Статистические параметры элементов урожайности и массы 1000 семян показателей испытываемых сортообразцов и сортов проса посевного коллекция ВИР

Table 3 – Statistical parameters of yield elements and the mass of 1,000 seeds of the tested varieties and cultivars of millet from the VIR collection

Параметр / Parameter	Масса 1000 семян, г / Weight of 1000 seeds, g	Урожайность, т/га / Yield, t/ha
$\bar{x} \pm S\bar{x}$	7,450±0,182	2,271 ± 0,381
$S^2 \pm S$	0,464± 0,681	0,265 ± 0,515
V, %	9,146	22,675
As ± Sa	-0,075 ns ± 0,594	0,653 ns ± 0,594
Ex ± Se	0,338 ns ± 1,124	- 0,806 ns ± 1,124
Lim: min-max	6200-8700	1600-3200
n	14	14

Примечание: ns – различия незначимы, n – объем выборки.

Note: ns is the difference is insignificant, n is the sample size.

Разработана модель сорта проса посевного. Согласно морфометрическим показателям, одним из наиболее важных признаков при выборе перспективной комбинации для гибридизации и отбора образцов является продуктивная урожайность. Оптимальная высота растения у сортов проса составляет 105,0 см. Такая высота растений способствует высокой степени устойчивости к полеганию, и поникания метелки. Согласно разработанной модели новых сортов проса продуктивность зерна от 2,0 до 3,1 т/га (таблица 2, 3, 4).

Планируемое содержание крахмала в крупе проса определено показателем более 77,0 %.

Таблица 4 – Параметры модели сорта проса посевного с высоким содержанием крахмала

Table 4 – Parameters of the model of the millet variety with high starch content

Признак / Sign	Значение / Meaning
Биологические особенности / Biological features	
Вегетационный период, от всходов до хозяйственной спелости, дней / Vegetation period, from germination to economic ripeness, days	80-89
Холодостойкость / Cold Resistance	высокая / high
Засухоустойчивость / Drought Tolerance	высокая / high
Устойчивость к болезням / Disease resistance	высокая / high
Устойчивость к вредителям и болезням / Resistance to pests and diseases	высокая high
Устойчивость к прорастанию на корню / Resistance to germination on the root	5 баллов / 5 points
Вымолачиваемость зерна / Grain threshing capacity	5 баллов / 5 points
Хозяйственные признаки / Economic characteristics	
Высота растений, см / Plant height, cm	95-105
Длина метелки, см / Panicle length, cm	18-25
Урожайность зерна, т/га / Grain yield, t/ha	2,5-3,0
Масса 1000 семян, г / Weight of 1000 seeds, g	7,5-9,5
Окраска зерна / Окраска зерна	светлая / light
Степень вымолачиваемости / Degree of threshing	легкая / easy
Содержание крахмала в крупе, % / Starch content in groats, %	73,0-77,0
Теоретический выход крахмала, т/га / Theoretical starch yield, t/ha	1,54-2,0
Теоретический выход биоэтанола, л/га / Theoretical yield of bioethanol, l/ha	1093,4-1420,0

Для выявления физико-химических и органолептических свойств просяной крахмал сравнивали с картофельным крахмалом из торговой сети: крахмал картофельный ГОСТ Р 53876-2010 высшего сорта.

Визуально полученные образцы представлены порошкообразной однородной массой с запахом, свойственным крахмалу. Цвет полученной массы является важным компонентом, поскольку от степени белизны зависит качество крахмала (рисунок 4).



1)



2)

Рисунок 4 – Оценка белизны и цвета образцов крахмала 1-картофельный, 2 – просяной
Figure 4 – Evaluation of whiteness and color of starch samples 1 – potato, 2 – millet

Для оценки качества крахмалов проведен сравнительный биохимический анализ крахмала (таблица 4).

Таблица 4 – Биохимический анализ и энергетическая ценность образцов крахмала
Table 4 – Biochemical analysis and energy value of starch samples

Наименование крахмала / Name of starch	Протеин, % / Protein, %	Жир, % / Fat, %	Клетчатка, % / Fiber, %	Зола, % / Ash, %	БЭВ, доброкачественность крахмала, % / Good quality of starch, %	Энергетическая ценность, ккал / Energy value, kcal
Картофельный ГОСТ Р 53876-2010 / Potato, State Standard 53876-2010	0,61	0,24	0,00	0,31	98,84	398,20
Просяной / Millet	6,10	0,94	0,76	0,33	91,87	400,34

Влажность является важной характеристикой сыпучести, у картофельного крахмала составила (%) – 14,88, у просяного – 10,9. Для оценки технологических свойств крахмалов проводили нагревание 10 % водных растворов крахмалов (рисунок 5).

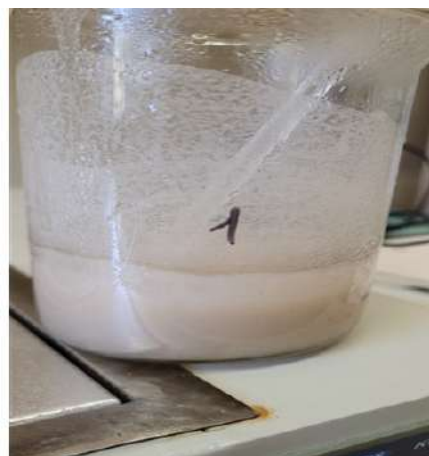


Рисунок 5 – Процесс определения интервала температур клейстеризации
Figure 5 – Process of determining the gelatinization temperature range

При этом фиксировали начальную и конечную температуру клейстеризации раствора крахмала. Низкая температура клейстеризации крахмала считается негативным признаком, ограничивающим предел нагревания сырья для его разрушения и извлечения крахмала в промышленных технологиях.

Полученные образцы крахмала отличаются высокими температурами начала клейстеризации. Самой высокой температурой начала клейстеризации характеризовался образец проса посевного, она составила 70 °С (таблица 5).

Таблица 5 – Интервалы температур клейстеризации 10 % растворов крахмала
Table 5 – Temperature ranges for gelatinization of 10 % starch solutions

Наименование крахмала / Name of starch	Начальная температура клейстеризации, °С / Initial gelatinization temperature, °C	Максимальная температура клейстеризации, °С / Maximum gelatinization temperature, °C
Картофельный ГОСТ Р 53876-2010 / Potato State Standard R 53876-2010	55	60
Просяной / Millet	70	78

Клейстерные растворы из крахмала проса посевного не прозрачны, имеют плотную структуру.

Закключение. Данные исследования доказывают тот факт, что многие традиционные крахмалоносные культуры не всегда могут формировать высокий урожай в засушливых регионах страны, поэтому поиск и изучение свойств альтернативных источников имеет важное значение. Подбор новых засухоустойчивых культур позволит не только оценить и сравнить свойства крахмалов из вовлекаемых в переработку нетрадиционных видов крахмалосодержащего сырья, но и поставить задачу по селекции сортов и гибридов с заданными технологическими свойствами. Новые альтернативные источники сырья для переработки должны соответствовать предъявляемым требованиям.

Изучение рабочей коллекции проса посевного, состоящей из 11 сортообразцов и 3 сортов проса посевного, выявило сортообразцы с высоким содержанием крахмала в зерне и высокими продуктивными признаками. Содержание крахмала в крупе проса варьировало от 65,59 до 77,02 %, а наибольший показатель (>75,0 %) установлен у сортообразца к-9845 и сортов Золотая Орда, Аполлон.

Разработана модель нового сорта проса посевного, который будет адаптирована в конкретных агроклиматических условиях при возделывании, так и по качеству зерна для переработки на крахмал и крахмалопродукты. В данной разработанной модели у новых сортов проса посевного урожайность должна быть не менее 3,0 т/га. Оптимальная высота растения у новых сортов проса не должна превышать 105,0 см, что будет способствовать высокой степени устойчивости против полегания, и поникания метелки. Планируемое содержание крахмала в крупе проса определено от 73,0 до 77,0 %.

Научный подход к решению проблемы вовлечения в переработку на крахмал нетрадиционных, но жаровыносливых зерновых культур, таких как просо посевное, а также изучение, анализ и обобщение данных о технологических свойствах получаемых крахмалов позволит выявить образцы, которые могут стать для регионов с засушливым климатом, сырьем для обеспечения продовольственной безопасности России.

Conclusions. These studies prove that many traditional starch-bearing crops are not always able to produce high yields in the country's arid regions, making it important to search for and study the properties of alternative sources. The selection of new drought-resistant crops will not only allow for the evaluation and comparison of the properties of starches from non-traditional sources of starch-bearing raw materials, but also provide an opportunity to select varieties and hybrids of starch-bearing crops with specific technological properties. The new alternative sources of raw materials for processing must meet the required specifications.

The study of a working collection of millet, consisting of 11 varieties and 3 cultivars of millet, revealed varieties with a high starch content in the grain and high productive characteristics. The starch content in millet flour ranged from 65.59 % to 77.02 %, with the highest value (>75,0 %) found in the variety k-9845 and the cultivars Zolotaya Orda and Apollon.

A model of a new variety of millet has been developed, which will be adapted to specific agricultural and climatic conditions during cultivation, as well as to the quality of grain for processing into starch and starch products. In this developed model, the yield of new varieties of millet should be at least 3.0 t/ha. The optimal plant height of new varieties of millet should not exceed 105.0 cm, which will contribute to a high degree of resistance against lodging and panicle drooping. The planned starch content in millet groats is determined to be between 73.0 and 77.0 %.

A scientific approach to solving the problem of using non-traditional but heat-tolerant grain crops, such as millet, for starch production, as well as studying, analyzing, and summarizing data on the technological properties of the resulting starches, will allow us to identify samples that can serve as a source of food security for Russia's arid regions.

Библиографический список

1. Лукин Д. Н., Андреев Н. Р. К вопросу импортозамещения продуктов глубокой переработки зерна и картофеля. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2014. № 4. С. 291-294.
2. Соломин Д. А., Лукин Д. Н. Развитие крахмалопаточной отрасли в условиях рыночной экономики. Пищевая промышленность. 2011. № 9. С. 56-58.
3. Неймышева А. Н. Питательная и кормовая ценность проса и продуктов его переработки. Научно-агрономический журнал. 2015. № 2 (97). С. 33-35.
4. Неймышева А. Н. Селекция проса в Нижневолжском НИИСХ. Научно-агрономический журнал. 2015. № 2 (97). С. 35-37.
5. <https://specagro.ru/news/202504/proizvodstvo-osnovnykh-vidov-krakhmala-v-rf-v-2024-godu-vyroslo-na-29>
6. Заболотец А. А., Литвяк В. В., Ермаков А. И. Характеристики нативных крахмалов и способы их разделения. Наука, питание и здоровье: материалы II Международного конгресса. 2019. С. 395-404.
7. Кулемина Т. В., Хорева В. И., Шеленга Т. В., Курцева А. Ф., Сидоренко В. С. Биохимические показатели качества зерна просовидных культур в условиях юга Нечерноземной зоны РФ. Аграрная Россия. 2010. Т. 1. С. 48-53.
8. Каменева О. Б., Бычкова В. В., Кибальник О. П., Калинин Ю. А., Колганов Н. А. Изучение некоторых свойств нативных крахмалов различного происхождения. Агроэкоинфо. 2024. № 6 (66).
9. Хина Кумар Н., Сингх Р., Упад Хьяй А., Гири Б. С. Применение и функциональные свойства пшеничного крахмала: процесс экстракции мокрым помолом и различные подходы к модификации. Heliyon. 2024. № 10 (3).
10. Янова М. А., Колесникова Н. А., Мучкина Е. Я. Исследования проса и продуктов его переработки. Вестник КрасГАУ. 2015. № 11 (110). С. 130-135.
11. Зеленев А. В., Неймышева А. Н., Смутнев П. А. Адаптация перспективного сорта проса Золушка к условиям Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 1 (53). С. 54-60.
12. Зеленев А. В., Неймышева А. Н., Смутнев П. А. Достижения селекции проса в сухостепной зоне Нижнего Поволжья. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 2. С. 79-85.

References

1. Lukin D. N., Andreev N. R. On the issue of import substitution of deep processing products of grain and potatoes. Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2014. No. 4. Pp. 291-294.
2. Solomin D. A., Lukin D. N. Development of the starch and flour industry in a market economy. Food Industry. No. 9. 2011. Pp. 56-58.
3. Neimysheva A. N. Nutritional and fodder value of millet and its processing products. Scientific and agro-nomic journal. 2015. No. 2 (97). Pp. 33-35.
4. Neimysheva A. N. Selection of Millet in the Lower Volga Research Institute of Agriculture. Scientific and Ag-nomic Journal. 2015. No. 2 (97). Pp. 35-37.
5. <https://specagro.ru/news/202504/proizvodstvo-osnovnykh-vidov-krakhmala-v-rf-v-2024-godu-vyroslo-na-29>
6. Zabolotets A. A., Litvyak V. V., Ermakov A. I. Characteristics of Native Starches and Methods of Their Separation. In: Science, Nutrition, and Health: Proceedings of the II International Congress. 2019. Pp. 395-404.
7. Kulemina T. V., Khoreva V. I., Shelenga T. V., Kurtseva A. F., Sidorenko V. S. Biochemical indicators of grain quality of millet-like crops in the conditions of the south of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation. Agrarian Russia. 2010. V. 1. Pp. 48-53.
8. Kameneva O. B., Bychkova V. V., Kibalnik O. P., Kalinin Yu. A., Kolganov N. A. Study of Some Properties of Native Starches of Different Origins. Agroekoinfo. 2024. No. 6 (66).
9. Khina Kumar N., Singh R., Upadhyay A., Giri B.S., Application and Functional Properties of Millet Starch: Wet Grinding Extraction Process and Various Modification Approaches. Heliyon. 2024. No 10 (3).
10. Yanova M. A., Kolesnikova N. A., Muchkina E. Ya. Research on Millet and Its Processing Products. Vestnik KrasGAU. 2015. No. 11 (110). Pp. 130-135.
11. Zelenev A. V., Neimysheva A. N., Smutnev P. A. Adaptation of the promising millet variety Zolushka to the conditions of the Volgograd region. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2019. No. 1 (53). Pp. 54-60.
12. Zelenev A. V., Neimysheva A. N., Smutnev P. A. Achievements of millet breeding in the dry steppe zone of the Lower Volga region. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2017. No. 2. Pp. 79-85.

Информация об авторах

Каменева Ольга Борисовна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» (Российская Федерация, 410050, г. Саратов, 1-й Институтский проезд, 4 (пос. Зональный), e-mail: rossor-go@yandex.ru

Васильева Елена Васильевна, доктор экономических наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» (Российская Федерация, 410050, г. Саратов, 1-й Институтский проезд, 4 (пос. Зональный), e-mail: rossor-go@yandex.ru

Киреева Ольга Валерьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник, ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» (Российская Федерация, 410050, г. Саратов, 1-й Институтский проезд, 4 (пос. Зональный), e-mail: rossor-go@yandex.ru

Authors' Information

Kameneva Olga Borisovna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Russian research and design – technological institute of sorghum and corn (Russian Federation, 410050, Saratov, 1st Institutsky proezd, 4 (Zonalny village), e-mail: rossor-go@yandex.ru

Vasilyeva Elena Vasilievna, Doctor of Economics, Professor, Chief Researcher, Russian research and design – technological institute of sorghum and corn (Russian Federation, 410050, Saratov, 1st Institutsky proezd, 4 (Zonalny village), e-mail: rossor-go@yandex.ru

Kireeva Olga Valerievna, Candidate of Agricultural Sciences, Junior Researcher, Russian research and design – technological institute of sorghum and corn (Russian Federation, 410050, Saratov, 1st Institute passage, 4 (Zonalny settlement), e-mail: rossor-go@yandex.ru

**THE APPROBATION OF THE RIN, NOR AND ALC GENES PRIMERS FOR CONTROLLING
THE SHELF LIFE AND THE RIPENING OF TOMATOES****Konstantinova T. V., Sharonov D. S., Prikhodko S. A., Feofilova L. A., Nesmiyanov I. A.***Volgograd State Agrarian University, Scientific Research Institute
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: dimasharonov@lenta.ru

Received 22.09.2025

Submitted 25.11.2025

Abstract

Introduction. The article presents a comprehensive analysis of the current state and prospects for the development of tomato production in Russia. Based on an analysis of the chemical composition of tomato fruits, which contain a significant amount of vitamin C (150-300 mg/kg), β -carotene (15-17 mg/kg) and essential mineral elements, the high nutritional value of this crop is justified. A significant gap between actual tomato consumption and recommended norms has been identified, which determines the need to increase production capacity. It is noted that the Russian seed market is 80 % controlled by foreign producers, which creates food security risks. Special attention is paid to modern trends in tomato breeding, including the use of genomic editing and molecular selection methods. The effectiveness of using genetic markers for selecting plants with improved shelf life characteristics at early stages of development is shown. The necessity of creating specialized breeding and seed production centers to ensure the country's food independence is emphasized. Priority research areas have been identified, including the development of varieties with high ecological adaptability to various climatic conditions in Russia and resistance to local pathogens. The research results are of great practical importance for the development of domestic tomato production and solving import substitution tasks under current economic challenges. **Materials and Methods.** The study was conducted using modern equipment and commercial reagent kits. A sample of plant material weighing 80-120 mg was used for DNA isolation. The process included successive stages of lysis, precipitation, and purification using a lysis buffer and ethanol. Centrifugation was carried out at a speed exceeding 13,000 rpm. DNA amplification was performed using a Bio-Rad Real-time CFX amplifier according to a standard protocol. A total of 45 amplification cycles were conducted using specific shelf life markers. To visualize PCR products, electrophoresis in a 3 % agarose gel on a Tris-borate buffer was used, followed by visualization on the GelDoc EZ system. The developed methodology was tested on 144 experimental reactions, confirming its reliability and reproducibility in studying genetic markers of tomato fruit shelf life. **Results and Conclusions.** The results of a molecular genetic analysis of tomato varieties aimed at identifying genes determining fruit storage characteristics are presented. The study conducted gradient amplification using various primer pairs at annealing temperatures ranging from 57 °C to 64 °C. Analysis showed variability in the effectiveness of different primer pairs. The best results were demonstrated by tF/tR primers at a temperature of 57 °C, where the target sequence was successfully identified. For most other primers (OgCf/OgCr, BpormF/BpormR, RinF1/RinwR1/RinmR2, NorF/NorR, F/R, TD-M2F/TD-M2R, gf-3F/gf-3R), certain limitations were identified, requiring further optimization of amplification conditions or application of additional analysis methods. The obtained data form the basis for subsequent studies of genetic determinants of tomato fruit shelf life and the development of effective markers for marker-assisted selection. To improve the resolution of the analysis, laboratory facilities are planned to be upgraded, including the acquisition of a vertical electrophoresis chamber in polyacrylamide gel and a set of restriction endonucleases. The study demonstrates the promise of using molecular genetic methods to study tomato shelf life characteristics and create improved varieties with an extended fruit storage period.

Keywords: *tomato breeding, molecular genetic methods, shelf life of tomato fruits, PCR, tomato breeding material.*

Citation. Konstantinova T. V., Sharonov D. S., Prikhodko S. A., Feofilova L. A., Nesmiyanov I. A. The approbation of the RIN, NOR and ALC genes primers for controlling the shelf life and the ripening of tomatoes. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 174-182 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-19.

Authors' contribution. All authors of this study took direct part in planning, performing, or analyzing this research. All authors of this article have read and approved the submitted final version.

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

УДК 635.64:631.527.5

АПРОБАЦИЯ ПРАЙМЕРОВ ГЕНОВ RIN, NOR И ALC ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕЖКОСТЬЮ И СОЗРЕВАНИЕМ ТОМАТОВ**Константинова Т. В.**, кандидат сельскохозяйственных наук**Шаронов Д. С.**, аспирант**Приходько С. А.**, кандидат ветеринарных наук**Феофилова Л. А.**, кандидат сельскохозяйственных наук**Несмиянов И. А.**, доктор технических наук, доцентФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, НИИФиПАБТ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Проведен комплексный анализ современного состояния и перспектив развития тоματοпроизводства в России. На основании анализа химического состава плодов томата, содержащих значительное количество витамина С (150-300 мг/кг), β -каротина (15-17 мг/кг) и важнейших минеральных элементов, обоснована высокая пищевая ценность данной культуры. Выявлено существенное отставание фактического потребления томатов от рекомендуемых норм, что определяет необходимость увеличения производственных мощностей. При этом отмечено, что российский рынок семян на 80 % контролируется иностранными производителями, что создает риски продовольственной безопасности. Особое внимание уделено современным тенденциям в селекции томата, включая применение методов геномного редактирования и молекулярной селекции. Показана эффективность использования генетических маркеров для отбора растений с улучшенными характеристиками лежкости на ранних стадиях развития. Подчеркивается необходимость создания специализированных центров селекции и семеноводства для обеспечения продовольственной независимости страны. Определены приоритетные направления исследований, включающие разработку сортов с высокой экологической адаптивностью к различным климатическим условиям России и устойчивостью к местным патогенам. Результаты исследования имеют важное практическое значение для развития отечественного тоματοпроизводства и решения задач импортозамещения в условиях современных экономических вызовов. **Материалы и методы.** Исследование проведено с использованием современного оборудования и коммерческих наборов реагентов. Для выделения ДНК был использован образец растительного материала массой 80-120 мг. Процесс включал последовательные этапы лизиса, преципитации и очистки с использованием лизирующего буфера и этанола. Центрифугирование проводилось при скорости свыше 13000 об/мин. Амплификация ДНК осуществлялась с помощью амплификатора Bio-Rad Real-time CFX согласно стандартному протоколу. Всего было проведено 45 циклов амплификации с применением специфичных маркеров лежкости. Для визуализации продуктов ПЦР использован электрофорез в 3 % агарозном геле на трис-боратном буфере с последующей визуализацией на системе GelDoc EZ. Разработанная методика апробирована на 144 экспериментальных реакциях, что подтверждает её надежность и воспроизводимость при изучении генетических маркеров лежкости плодов томата. **Результаты и выводы.** Представлены результаты молекулярно-генетического анализа сортообразцов томата, направленного на выявление генов, определяющих характеристики хранения плодов. В исследовании была проведена градиентная амплификация с использованием различных пар праймеров при температурах отжига от 57 °C до 64 °C. Анализ показал вариабельность эффективности разных пар праймеров. Наилучшие результаты продемонстрировали праймеры tF/tR при температуре 57 °C, где была успешно идентифицирована целевая последовательность. Для большинства других праймеров (OgCf/OgCr, BpormF/BpormR, RinF1/RinwR1/RinmR2, NorF/NorR, F/R, TD-M2F/TD-M2R, gf-3F/gf-3R) выявлены определенные ограничения, требующие дальнейшей оптимизации условий амплификации или применения дополнительных методов анализа. Полученные данные формируют основу для последующих исследований генетических детерминант лежкости плодов томата и разработки эффективных маркеров для маркер-assisted селекции. Для повышения разрешающей способности анализа запланирована модернизация лабораторной базы, включая приобретение дополнительного оборудования. Исследование демонстрирует перспективность использования молекулярно-генетических методов для изучения характеристик лежкости томата и создания улучшенных сортов с продленным сроком хранения плодов.

Ключевые слова: селекция томата, молекулярно-генетические методы, лежкость плодов томата, ПЦР, селекционный материал томата.

Цитирование. Константинова Т. В., Шаронов Д. С., Приходько С. А., Феофилова Л. А., Несмиянов И. А. Апробация праймеров генов RIN, NOR и ALC для управления лежкостью и созревaniem томатов. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 174-182. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-19.

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 геноме томата существует несколько важных генов, контролирующих процесс созревания плодов. Среди них особое место занимают гены RIN, NOR и ALC, которые играют ключевую роль в формировании качественных характеристик плодов.

Ген RIN (от англ. Ripening Inhibitor – ингибитор созревания) отвечает за регуляцию процессов созревания на ранних стадиях. Он кодирует особый фактор транскрипции MADS-RIN, который начинает работу ещё до активного синтеза этилена – важного гормона созревания. Интересно, что в мутантной форме этого гена наблюдается удаление участка ДНК размером 1,7 т.п.н. Растения с такой мутацией имеют характерные признаки: плоды приобретают жёлтую окраску, чашелистики становятся увеличенными, а соцветия приобретают недетерминированный характер развития. Такие плоды могут храниться до 92 дней в обычных условиях.

Ген NOR (от англ. Non-ripening – несозревание), расположенный на 10-й хромосоме томата, также участвует в контроле созревания. У растений с активной формой этого гена наблюдается целый комплекс особенностей: пониженный уровень дыхания, слабый синтез этилена, низкая активность фермента полигалактуроназы и уменьшенное содержание каротиноидов. Всё это приводит к значительному увеличению срока хранения плодов.

Ген ALC (от названия сорта Alcobaca) представляет собой особую форму гена NOR. Его уникальность заключается в наличии точечной мутации, которая меняет аминокислоту валин на аспарагин. Благодаря этой особенности, ген ALC также влияет на замедление процессов созревания, повышает лёжку плодов и делает их более устойчивыми к гниению.

Все эти гены имеют огромное значение для селекции томатов. Когда они находятся в гомозиготном состоянии, срок хранения плодов увеличивается на 250-500 %, но при этом плоды могут иметь бледную окраску и менее выраженный вкус. Однако природа нашла выход: в гетерозиготном состоянии эти гены обеспечивают оптимальный баланс характеристик – плоды сохраняют хорошую лёжку, устойчивы к гниению, при этом имеют нормальный цвет и вкус, что делает их привлекательными для потребителя. Среди овощных культур в России особое место занимает томат, выделяющийся превосходными вкусовыми качествами и богатым питательным составом. Его плоды – настоящий кладезь полезных веществ: витаминов, минеральных соединений, органических кислот, ароматических компонентов и углеводов, легко усваиваемых организмом. В 1 кг плодов содержится значительное количество витамина С (150-300 мг), β-каротина (15-17 мг), витаминов группы В, а также важные минеральные элементы: калий, магний, кальций, железо, цинк [1, 2, 8].

Современный рынок семян овощных культур на 80 % контролируется зарубежными производителями, что создает риски нехватки посевного материала в условиях санкций. Это требует активизации развития отечественной селекции, совершенствования семеноводства и формирования стратегических запасов семян. Необходимо создание специализированных центров селекции и семеноводства, способных обеспечить продовольственную независимость страны [2, 5].

Особое внимание исследователей в области молекулярной биологии и агрономии привлекает вопрос увеличения срока хранения плодов томата [3]. Создание качественных и устойчивых сортов – ключ к повышению их коммерческой ценности и обеспечению продовольственной безопасности. Ведущие компании-производители семян активно изучают генетические маркеры для улучшения лёжки плодов. Современные тенденции в этой области включают применение геномного редактирования и молекулярной селекции для выведения улучшенных сортов. Важную роль играют исследования молекулярных механизмов, определяющих длительность хранения плодов, включая процессы созревания и старения.

В контексте развития импортозамещения и необходимости внедрения отечественных сортов томата с высокой экологической адаптивностью, данное направление приобретает особую актуальность. Необходимо создание сортов, способных эффективно адаптироваться к различным климатическим условиям России, обладающих устойчивостью к местным патогенам и стрессовым факторам [14, 15].

Для достижения поставленных целей требуется интеграция передовых молекулярно-генетических методов в селекционный процесс [11, 12]. В исследованиях применяются генетические маркеры – короткие участки ДНК с известной локализацией в геноме. Эти

участки имеют изученные механизмы наследования и отвечают за ценные хозяйственные признаки. Благодаря им, можно определять такие характеристики, как лежкость, на ранних стадиях развития растений [7]. Использование молекулярных маркеров существенно повышает эффективность селекционной работы, позволяя сократить сроки создания новых сортов с улучшенными характеристиками.

Материалы и методы. В рамках исследования был отобран один образец-донор для изучения комплекса характеристик, связанных с длительностью хранения плодов [5, 6]. Данный образец использовался для разработки методики ПЦР и определения контрольного стандарта (144 экспериментальных реакции на образец).

Выделение ДНК проводили при комнатной температуре, центрифугирование осуществлялось при скорости свыше 13000 об/мин. (более $11000 \times g$).

1. Образец объемом от 80-120 мг был подготовлен в пробирке типа Эппендорф объемом 1,5 мл по стандартной методике отбора растительного материала.

2. К образцу было добавлено 300 мкл лизирующего буфера, после чего содержимое пробирки было тщательно гомогенизировано. Смесь инкубировалась в течение 15 минут при $+65^\circ\text{C}$.

3. После лизиса проведено центрифугирование пробирки в течение 10 минут. Супернатант был перенесен в новую пробирку объемом 1,5 мл.

4. К образцу было добавлено 400 мкл раствора для преципитации, содержимое перемешано на вортексе, после чего проведено центрифугирование в течение 15 минут.

5. После аккуратного удаления супернатанта без затрагивания осадка, к последнему было добавлено 500 мкл промывочного раствора содержащего 95 % изопропилового спирта и проведено центрифугирование в течение 5 минут.

6. Процедуру повторили с добавлением в пробу 70 % этилового спирта в том же объеме, также проведя перемешивание на вортексе и 5-минутное центрифугирование.

7. После тщательного удаления супернатанта осадок был подсушен в течение 5 минут в пробирке с открытой крышкой при температуре $+65^\circ\text{C}$.

8. На следующем этапе было добавлено 50 мкл предварительно прогретого до $+65^\circ\text{C}$ элюирующего буфера.

Пробирка с образцом инкубировалась 5-10 минут при $+65^\circ\text{C}$, после чего содержимое было перемешано на вортексе и капли были сброшены центрифугированием.

Процесс амплификации ДНК включал 45 циклов с применением специфичных маркеров, определяющих характеристики лежкости плодов. Реакция проводилась в объеме 25 мкл с использованием амплификатора Bio-Rad Real-time CFX (производитель – “BioRad”, США) и технологией “горячего старта”. Для проведения ПЦР использовался коммерческий набор БиоМастер HS-Taq ПЦР-Color (2×) содержащий 2× реакционную смесь БиоМастер HS-Taq ПЦР-Color (2×), 50 мМ MgCl_2 и стерильную воду. 2× реакционная смесь БиоМастер HS-Taq ПЦР-Color (2×) предназначена для проведения ПЦР-анализа большого количества образцов согласно руководству пользования.

Температурный профиль ПЦР:

- Денатурация: 95°C (5 минут, затем 30 секунд).
- Отжиг праймеров: температурный градиент $50-68^\circ\text{C}$ (30 секунд).
- Элонгация: 72°C (60 секунд).
- Финальная полимеризация: 72°C (3 минуты).

Для разделения ДНК применялось электрофоретическое исследование в агарозном геле согласно общепринятой методике [12, 13].

При проведении электрофореза использовался 3 % агарозный гель на трис-боратном буфере с напряжением 5 В/см. Визуализация результатов осуществлялась с помощью гель-документирующей системы “GelDoc EZ” производства “Bio-Rad Laboratories, Inc.” (США) после окрашивания этидиум-бромидом.

Результаты и обсуждение. В ходе исследования были использованы праймеры, позволяющие выявлять наличие генов, отвечающих за лежкость томатов. Все праймеры и их характеристики представлены в таблице с подробным описанием соответствующих генов (таблица 1).

Таблица 1 – Праймеры, определяющие характеристики лежкости плодов томата
Table 1 – Primers determining the keeping characteristics of tomato fruits

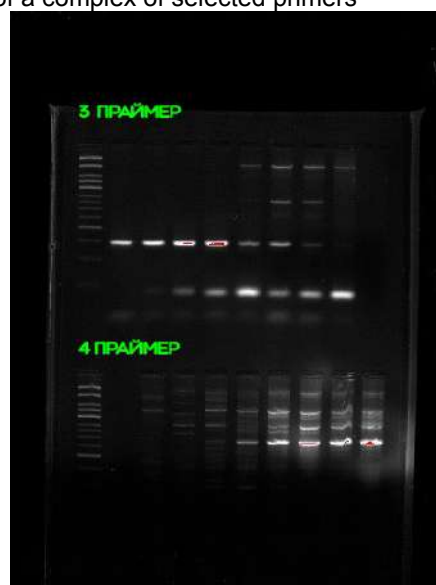
Праймеры (названия) / Primers (names)	Праймеры (последовательности) / Primers (sequences)	Длина ампликона / Amplicon length	Функциональное описание / Functional description
tF	ACCAATGCTCCGAATGA	856 п.н.	Специфичен для гена CRTISO, кодирующего фермент, участвующий в изомеризации каротиноидов. Данный фермент катализирует превращение цис-форм в полностью транс-ликопин, являющийся мощным антиоксидантом и предшественником α - и β -каротинов, а также ксантофиллов / It is specific for the CRTISO gene encoding an enzyme involved in the isomerization of carotenoids. This enzyme catalyzes the conversion of cis forms into fully trans lycopene, which is a powerful antioxidant and precursor of α - and β -carotenes, as well as xanthophylls
tR	TGGGCTCCCTGGAAAGT		
OgCF	TAGGTCTATTTTCCAACAA	140 п.н.	Определяет ген CYCB, ответственный за синтез хромопласт-специфической ликопин β -циклазы. Этот фермент преобразует ликопин в β -каротин. Ген локализован на хромосоме 6L и сцеплен с локусом sp. Доминантный аллель B способствует повышенному накоплению β -каротина и придает плодам оранжево-красный окрас / Defines the CYCB gene responsible for the synthesis of chromoplast-specific lycopene β -cyclase. This enzyme converts lycopene into beta-carotene. The gene is localized on chromosome 6L and is linked to the sp locus. The dominant B allele promotes increased accumulation of beta-carotene and gives fruits an orange-red color
OgCR	AAGACTCTGGCTTTGATG		
BpromF	CTATGTTTGTTAGTGCTTGG	144 п.н., 150 п.н., 152 п.н.	Выявляет наличие доминантного аллеля B, связанного с повышенным содержанием β -каротина и характерной окраской мякоти плодов / It reveals the presence of a dominant B allele associated with an increased beta-carotene content and the characteristic color of the fruit pulp
BpromR	GAAAATTGTTTCATGTGCC		
RinF1	TGAACAGCCTTCTCATCATG	568 п.н., 118 п.н., 153 п.н.	Определяет аллели pp и nor, связанные с пониженным дыханием, сниженной продукцией этилена, пониженной активностью полигалактуроназы и замедленным созреванием плодов. Эти аллели перспективны для создания гибридов с длительным сроком хранения / It identifies the rin and nor alleles associated with decreased respiration, decreased ethylene production, decreased polygalacturonase activity, and delayed fruit maturation. These alleles are promising for creating hybrids with a long shelf life
RinwR1	ATTCAAAGCATCCATCCAGG		
RinF1	TGAACAGCCTTCTCATCATG	2,8 т.п.н.	Разработан для идентификации аллельного состава гена nor с использованием SCAR-маркера norF/norR / Designed to identify the allelic composition of the nor gene using the norF/norR SCAR marker
RinM2	ATTCCATATCAAAGTGAGTAGT		
NorF	ATGATTGGGTTTTATGTCTG	159 п.н., 161 п.н.	Выявляет мутацию в гене LeNAC-NOR, влияющую на консервативную аминокислоту в субдомене C домена NAC. Это приводит к нарушению структуры β -слоя и, как следствие, к нарушению взаимодействия с ДНК и замедлению процессов созревания. Последовательность депонирована в GeneBank под номером FJ404469 / Detects a mutation in the LeNAC-NOR gene that affects a conserved amino acid in subdomain C of the NAC domain. This leads to a violation of the structure of the β -layer and, as a result, to a violation of the interaction with DNA and a slowdown in the maturation processes. The sequence is deposited in GeneBank under the number FJ404469
NorR	CGATTCATTTTCGAGCAA		
F	GTAACACGACGGCCAGTTA CCGGAACCGACAATCCG	-	Определяет мутацию зеленой мякоти-3 (gf-3), наиболее распространенную в коллекции / Determines the mutation of green pulp-3 (gf-3), the most common in the collection
R	TCGATGCAAAATTTAGGAC		
gf-3F	CCAGGAAAGTTGCCAAGAAC	328 п.н.	Выявляет аллели, ответственные за накопление β -каротина и детерминантность sp / Identifies alleles responsible for beta-carotene accumulation and sp determinance
gf-3R	GAAAATTGGAATCGCCAAGA		
TD-M2 F	TTCTTCGGATTGTCCATGGT	697 п.н.	
TD-M2 R	CACCAATGCTATGTGCCAAA		

Последующие исследования были направлены на оптимизацию условий амплификации, включая настройку работы всех компонентов ПЦР-смеси и определение оптимальных параметров отжига праймеров [9].

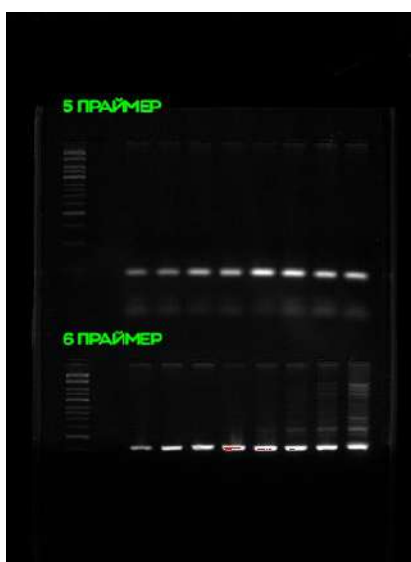
Таблица 2 – Результаты градиентной амплификации комплекса подобранных праймеров
Table 2 – Results of gradient amplification of a complex of selected primers



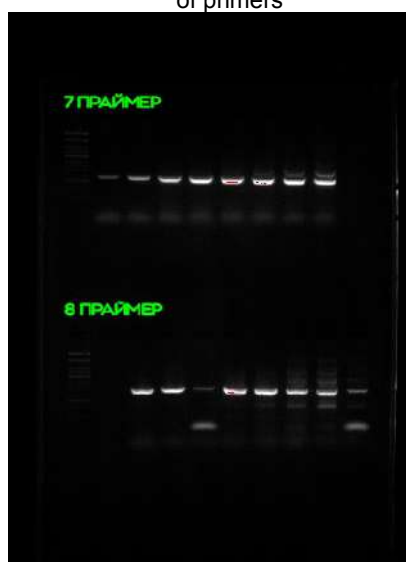
Результаты градиентной амплификации 1 (tF/tR) и 2 (OgCf/OgCr) пары праймеров. / The results of gradient amplification of 1 (tF/tR) and 2 (OgCf/OgCr) pairs of primers



Результаты градиентной амплификации 3 (BpormF/BpormR) и 4 (RinF1/RinwR1/RinmR2) пары праймеров. / The results of gradient amplification of 3 (BpormF/BpormR) and 4 (RinF1/RinwR1/RinmR2) pairs of primers



Результаты градиентной амплификации 5 (NorF/NorR) и 6 (F/R) пары праймеров. / The results of gradient amplification of 5 (NorF/NorR) and 6 (F/R) pairs of primers



Результаты градиентной амплификации 7 (TD-M2F/TD-M2R) и 8 (gf-3F/gf-3R) пары праймеров. / The results of gradient amplification of 7 (TD-M2F/TD-M2R) and 8 (gf-3F/gf-3R) pairs of primers

Анализ данных, представленных в таблице 2, выявил интересные закономерности в температурном режиме амплификации. Экспериментально определенная оптимальная температура отжига для большинства использованных праймеров оказалась значительно выше ожидаемой – в диапазоне 61.4-64 °С.

Для понимания причин такого расхождения был проведен сравнительный анализ с теоретически рассчитанными значениями температуры отжига. Расчетная температура, полученная по формуле $T_m = [(A+T) \times 2 \text{ }^{\circ}\text{C}] + [(G+C) \times 4 \text{ }^{\circ}\text{C}]$, существенно отличалась от экспериментально установленной.

Данное несоответствие объясняется несколькими факторами. Ключевую роль играет концентрация ионов магния в используемой коммерческой ПЦР-смеси. Повышенное содержание MgCl_2 влияет на стабильность двойной спирали ДНК и усиливает образование комплементарных пар оснований между праймерами и матрицей.

Этот эффект требует корректировки температурного режима для обеспечения специфического отжига праймеров. Более высокая температура отжига необходима для компенсации стабилизирующего влияния ионов магния на гибридизацию праймеров с матрицей.

Полученные данные указывают на необходимость адаптации протокола амплификации с учетом особенностей используемой ПЦР-смеси. Это особенно важно при разработке новых протоколов ПЦР, где необходимо учитывать как состав коммерческой реакционной смеси, так и характеристики используемых праймеров.

Таким образом, наблюдаемое расхождение между расчетной и фактической температурой отжига является закономерным явлением, обусловленным концентрацией компонентов реакционной смеси и их влиянием на процесс отжига праймеров.

Выводы. В результате молекулярно-генетического анализа сортов томата был проведен комплексный скрининг генов, определяющих характеристики хранения плодов. В результате проведенной градиентной амплификации получен обширный массив данных, представляющий фундаментальную ценность для последующих исследований.

Результаты анализа по каждой паре праймеров показали следующие закономерности:

1. Праймеры tF/tR продемонстрировали высокую эффективность амплификации с оптимальной температурой отжига $57 \text{ }^{\circ}\text{C}$. В ходе исследования был успешно идентифицирован целевой фрагмент у донорского материала, что подтверждает специфичность данной пары праймеров.

2. При использовании праймеров OgCf/OgCr была достигнута успешная амплификация при температуре $61.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$, однако целевой фрагмент не был обнаружен. Для дальнейшей валидации результатов требуется привлечение дополнительных контрольных образцов.

3. Праймеры BpormF/BpormR показали положительный результат при температуре отжига $61.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Однако ввиду значительной гомологии аллельных вариантов возникла необходимость в использовании более высокоразрешающего оборудования для их достоверной дифференциации.

4. Комплекс праймеров RinF1/RinwR1/RinmR2 обеспечил эффективную амплификацию при температуре $61.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$, хотя целевой фрагмент также не был выявлен. Для корректной интерпретации результатов требуется привлечение референсных образцов.

5. Праймеры NorF/NorR показали необходимость модификации протокола ПЦР при оптимальной температуре отжига $64 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Это указывает на потребность в дополнительной оптимизации условий амплификации для данной пары.

6. Пары праймеров F/R и TD-M2F/TD-M2R продемонстрировали успешные результаты амплификации при температуре $61.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Однако для точной идентификации продуктов реакции требуется проведение рестрикционного анализа.

7. Праймеры gf-3F/gf-3R показали положительный результат при температуре отжига $61.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$, хотя для надежного определения аллельных вариантов требуется повышение разрешающей способности анализа из-за близкого размера ампликонов.

Для дальнейшего углубленного анализа полученных данных и повышения информативности исследований запланировано приобретение специализированного оборудования.

Полученные результаты формируют прочную основу для последующих исследований генетических детерминант лежкости плодов томата и разработки эффективных маркеров для маркер-assisted селекции.

Conclusions. As a result of the molecular genetic analysis of tomato cultivars, a comprehensive screening of the genes determining the characteristics of fruit storage was carried out. As a result of the gradient amplification, an extensive array of data was obtained, which is of fundamental value for subsequent research.

The analysis results for each pair of primers showed the following patterns:

1. tF/tR primers have demonstrated high amplification efficiency with an optimal annealing temperature of $57 \text{ }^{\circ}\text{C}$. During the study, the target fragment of the donor material was successfully identified, which confirms the specificity of this pair of primers.

2. When using GCF/OgCr primers, successful amplification was achieved at 61.4 °C, but the target fragment was not detected. Additional control samples are required for further validation of the results.

3. BpormF/BpormR primers showed a positive result at an annealing temperature of 61.4 °C. However, due to the significant homology of allelic variants, it became necessary to use higher-resolution equipment for their reliable differentiation.

4. The RinF1/RinwR1/RinmR2 primer complex provided effective amplification at 61.4 °C, although the target fragment was also not detected. The correct interpretation of the results requires the involvement of reference samples.

5. The NORF/NORR primers showed the need to modify the PCR protocol at an optimal annealing temperature of 64 °C. This indicates the need for additional optimization of amplification conditions for this pair.

6. Primer pairs F/R and TD-M2F/TD-M2R demonstrated successful amplification results at 61.4 °C. However, restriction analysis is required to accurately identify the reaction products.

7. The gf-3F/gf-3R primers showed a positive result at an annealing temperature of 61.4 °C, although an increase in the resolution of the analysis is required for reliable determination of allelic variants due to the close size of the amplicons.

It is planned to purchase specialized equipment for further in-depth analysis of the data obtained and to increase the informative value of the research.

The results obtained forms a solid basis for subsequent studies of the genetic determinants of tomato fruit shelf life and the development of effective markers for marker-assisted breeding.

Библиографический список

1. Babak O. G., Nekrashevich N. A., et al. Genetic bases of tomato marker-assisted selection in Belarus. 2011. V. 2. I. 2.
2. Panthee D. R., Randy G. G., Ragy I., Anderson C., Dilip R. Molecular markers associated with Ph-3 gene conferring late blight resistance in tomato. American Journal of Plant Sciences. 2015. No 6 (13). Pp. 2144-2150.
3. Shekasteband R., Hutton S. F., Scott J. W. Designing new DNA markers and determining the effective size of Ph-2 and Ph-3 introgressions for late blight resistance stacking purposes in tomato. TGC REPORT. 2015. No 65. Pp. 24-27.
4. Гулин А. В. Биоэнергетическая оценка получения семян томата в зависимости от сорта. Проблемы развития АПК региона. 2021. № 4. С. 52-55.
5. Ахмедова П. М. Продуктивность и сохранность плодов томата разных групп спелости в открытом грунте в условиях Дагестана. Современные тенденции в научном обеспечении агропромышленного комплекса. Суздаль-Иваново, 2022. С. 172-176.
6. Буц А. В., Цаценко Л. В. Использование гибридационных зондов Real-time PCR, на примере маркера гена устойчивости к ВТМ культуры томата. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). Краснодар: КубГАУ, 2020. № 04 (158). С. 168-180.
7. Горун О. Л., Дубина Е. В., Козлова И. В., Балясный И. В., Гаркуша С. В. ДНК-технологии (молекулярное маркирование) в селекции томата на устойчивость к tobacco mosaicvirus. Овощи России. 2021. № 4. С. 34-41.
8. Грязнева Ю. В., Мякова М. А. Маркерная селекция томата. Агротехнологические процессы в рамках импортозамещения. материалы Международной научно-практической конференции. Мичуринск, 2016. С. 199-200.
9. Добродькин А. М., Добродькин М. М., Пугачева И. Г., Никонович Т. В., Кильчевский А. В. Экономическая эффективность возделывания в открытом и защищенном грунте гибридов томата с повышенной лежкостью плодов (опыты в Белоруссии). Вестник белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 3. С. 148-152.
10. Добродькин А. М., Никонович Т. В., Добродькин М. М., Пугачева И. Г., Кильчевский А. В. Изучение экологической стабильности и адаптивной способности гетерозисных гибридов томата с повышенной лежкостью плодов в открытом грунте. Вестник белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 3. С. 128-132.
11. Нековаль С. Н., Беляева А. В., Маскаленко О. А., Долгов В. В., Горло В. Е., Ермоленко С. А. База данных "морфолого-биохимическая характеристика мутантных форм томата с индетерминантным типом куста. Свидетельство о регистрации базы данных RU 2019622014, 07.11.2019. Заявка № 2019621928 от 24.10.2019.
12. Нековаль С. Н., Захарченко А. В., Маскаленко О. А., Чурикова А. К. Оценка полевой устойчивости мутантных линий томата к альтернариозу в условиях Краснодарского края. Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем. 2022. С. 290-296.
13. Пугачёва И. Г., Добродькин М. М., Лещина Н. Ю., Баева И. Е., Некрашевич Н. А., Бабак О. Г., Кильчевский А. В. Оценка линий томата для открытого грунта, созданных с использованием методов классической и маркер-сопутствующей селекции. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 4. С. 110-116.
14. Нековаль С. Н., Беляева А. В., Маскаленко О. А. Перспективы производства органической продукции в России. Агрохимический вестник. 2019. № 5. С. 77-82.
15. Гавриш С. Ф., Редичкина Т. А., Буц А. В., Артемьева Г. М. Изучение коллекции гибридов F1 томата с генетической устойчивостью к вирусу желтой курчавости листьев томата для пленочных теплиц юга России. Картофель и овощи. 2020. № 12. С. 30-34.

References

1. Babak O. G., Nekrashevich N. A., et al. Genetic bases of tomato marker-assisted selection in Belarus. 2011. V. 2. I. 2.
2. Panthee D. R., Randy G. G., Ragy I., Anderson C., Dilip R. Molecular markers associated with Ph-3 gene conferring late blight resistance in tomato. American Journal of Plant Sciences. 2015. No 6 (13). Pp. 2144-2150.
3. Shekasteband R., Hutton S. F., Scott J. W. Designing new DNA markers and determining the effective size of Ph-2 and Ph-3 introgressions for late blight resistance stacking purposes in tomato. TGC REPORT. 2015. No 65. Pp. 24-27.
4. Gulin A.V. Bioenergetic assessment of tomato seed production depending on the variety. Problems of agro-industrial complex development in the region. 2021. No 4. Pp. 52-55.
5. Akhmedova P. M. Productivity and preservation of tomato fruits of different ripeness groups in the open ground in Dagestan. Current trends in scientific support of the agro-industrial complex. Suzdal-Ivanovo, 2022. Pp. 172-176.
6. Butz A. V., Tsatsenko L. V. The use of Real-time PCR hybridization probes, using the example of a marker of the VTM resistance gene in tomato culture. Polythematic online electronic scientific journal of Kuban State Agrarian University (Scientific Journal of KubGAU). Krasnodar: KubGAU, 2020. No 04 (158). Pp. 168-180.
7. Gorun O. L., Dubina E. V., Kozlova I. V., Balyasny I. V., Garkusha S. V. DNA technologies (molecular labeling) in tomato breeding for resistance to tobacco mosaic virus. Vegetables of Russia. 2021. No 4. Pp. 34-41.
8. Gryazneva Yu. V., Myagkova M. A. Marker selection of tomatoes. Agro-technological processes within the framework of import substitution. materials of the International Scientific and Practical Conference. Michurinsk, 2016. Pp. 199-200.
9. Dobrodin A.M., Dobrodin M. M., Pugacheva I. G., Nikonovich T. V., Kilchevsky A.V. Economic efficiency of cultivation in open and protected soil of tomato hybrids with increased fruit shelf life (experiments in Belarus). Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2018. No 3. Pp. 148-152.
10. Dobrodin A. M., Nikonovich T. V., Dobrodin M. M., Pugacheva I. G., Kilchevsky A.V. Study of ecological stability and adaptive ability of heterotic tomato hybrids with increased fruit shelf life in the open ground. Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2019. No 3. Pp. 128-132.
11. Nekoval S. N., Belyaeva A.V., Maskalenko O. A., Dolgov V. V., Gorlo V. E., Ermolenko S. A. Database "Morphological and biochemical characteristics of mutant tomato forms with indeterminate bush type. Certificate of registration of the database RU 2019622014, 07.11.2019. Application No. 2019621928 dated 24.10.2019.
12. Nekoval S. N., Zakharchenko A.V., Maskalenko O. A., Churikova A. K. Evaluation of field resistance of mutant tomato lines to alternaria in the Krasnodar Territory. Biological protection of plants is the basis for the stabilization of agroecosystems. 2022. Pp. 290-296.
13. Pugacheva I. G., Dobrodin M. M., Leshchina N. Yu., Baeva I. E., Nekrashevich N. A., Babak O. G., Kilchevsky A.V. Evaluation of tomato lines for open ground created using classical and marker-related breeding methods. Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2020. No 4. Pp. 110-116.
14. Nekoval S. N., Belyaeva A.V., Maskalenko O. A. Prospects of organic production in Russia. Agrochemical bulletin. 2019. No 5. Pp. 77-82.
15. Gavrish S. F., Redichkina T. A., Butz A. V., Artemyeva G. M. Study of a collection of F1 tomato hybrids with genetic resistance to the yellow curly leaf virus for film greenhouses in southern Russia. Potatoes and vegetables. 2020. No. 12. Pp. 30-34.

Информация об авторах

Константинова Татьяна Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, руководитель центра, НИИ фундаментальных и прикладных агробиотехнологий ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: tanya_konstantinova_72@mail.ru

Шаронов Дмитрий Сергеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший лаборант, НИИ фундаментальных и прикладных агробиотехнологий ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: dimasharonov@lenta.ru

Приходько Светлана Алексеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, НИИ фундаментальных и прикладных агробиотехнологий ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: bobls@mail.ru

Феофилова Людмила Анатольевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, НИИ фундаментальных и прикладных агробиотехнологий ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: ignateva.l@bk.ru

Несмиянов Иван Алексеевич, доктор технических наук, доцент, проректор по учебной работе, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: ivan_nesmiyanov@mail.ru

Authors' Information

Konstantinova Tatyana Vladimirovna, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Center, Research Institute of Fundamental and Applied agrarian and biological technologies, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: tanya_konstantinova_72@mail.ru

Sharonov Dmitry Sergeevich, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Laboratory Assistant, Research Institute of Fundamental and Applied agrarian and biological technologies, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: dimasharonov@lenta.ru

Prikhodko Svetlana Alekseevna, Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Research Institute of Fundamental and Applied agrarian and biological technologies, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: bobls@mail.ru

Feofilova Lyudmila Anatolievna, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Research Institute of Fundamental and Applied agrarian and biological technologies, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: ignateva.l@bk.ru

Nesmiyanov Ivan Alekseevich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Academic Affairs, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: ivan_nesmiyanov@mail.ru

**THE AGROFORESTRY AND RECLAMATION ASSESSMENT OF THE AGRICULTURAL
LANDS USING REMOTE SENSING DATA****Kochkar M. M., Vdovenko A. V., Vorobieva O. M., Voronina V. P.**Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: anastasiya.vdovenko@mail.ru

Received 11.11.2025

Submitted 20.11.2025

Summary

Based on the methodology of geoinformation analysis of mesorelief and existing protective forest stands, a remote analysis of the degree of protection of agroforestry landscapes was carried out and the need to increase erosion resistance at the «Uspenskoye» test site in the Krasnodar Territory was determined.

Abstract

Introduction. The functioning of highly productive agroforestry landscapes, where the preservation of soil fertility is ensured at the proper level, is most relevant for the arable lands of the Krasnodar Territory, where intensive high-yielding agricultural crops are grown. To identify erosion processes at an early stage, as well as to prevent them, it is necessary to apply a geoinformation assessment of agroforestry landscapes based on remote sensing data and digital terrain models, including a detailed description of the relief, protection of agricultural land by forest reclamation. The formation of an information (digital) base allows us to plan measures in order to preserve soil fertility and reduce the erosion burden. **Objects.** The object of the research was a typical agroforestry landscape and its components located in the Krasnodar Territory. **Materials and methods.** An agroforestry assessment of land resources, their susceptibility to erosion processes, the reasonableness of the placement of protective forest plantations (HLN) and the effectiveness of protecting arable fields was carried out at the Uspenskoye test site, where the ZLN system was formed. To study the morphometric parameters and characteristics of the polygon, the publicly available QGIS 3.40 program, satellite images Sentinel 2, and digital terrain model data SRTM 3 were used. For the first time, a remote analysis of the degree of protection of agricultural landscapes was carried out on the basis of the methodology of geoinformation analysis of mesorelief and existing soils and the need to increase erosion resistance was determined. **Results and conclusions.** The agroforestry analysis was carried out on agricultural lands at the Uspenskoye test site, with an area of 1,029 hectares. GIS cartographic layers have been developed: ranges of heights, steepness of slopes, catchments, and placement of forest plantations, which make it possible to create a digital model that will use remote data and geoinformation analysis to increase the effectiveness of anti-erosion measures that protect arable land from water erosion and deflation. The local basis of erosion is 46 m. Territories with an altitude range of 253-268 m occupy 82 % of the area. The agroforestry landscape is dominated by slopes that are slightly wooded and gentle. Sloping territories with a slope of up to 3° occupy 86 % of the area. The length of the hollow network is 23.9 km. The structure of arable lands and their protection by low-income tax has been revealed. It has been established that some fields are not protected from soil erosion by plantings and do not meet regulatory requirements. To create a complete agroforestry system, it is necessary to create 6.9 field-protective and 1.4 hectares of anti-erosion forest strips with a length of 9.2 km.

Keywords: agroforest landscape, geoinformation analysis of agroforest landscape, forest reclamation, protective forest plantations, agricultural lands.

Citation. Kochkar M. M., Vdovenko A. V., Vorobieva O. M., Voronina V. P. The agroforestry and reclamation assessment of the agricultural lands using remote sensing data. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 183-196 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-20.

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

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

УДК 630.232.22

**АГРОЛЕСОМЕЛИОРАТИВНАЯ ОЦЕНКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

Кочкар М. М., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Вдовенко А. В., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Воробьева О. М., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Воронина В. П., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. На базе методики геоинформационного анализа мезорельефа и существующих защитных лесных насаждений проведен дистанционный анализ степени защищенности агролесоландшафтов и определена необходимость повышения противозерозионной устойчивости на тестовом полигоне «Успенское» в Краснодарском крае.

Актуальность. Функционирование высокопродуктивных агролесоландшафтов, где сохранение плодородия почв обеспечивается на должном уровне наиболее актуально для пахотных земель Краснодарского края, где выращиваются интенсивные высокоурожайные сорта сельскохозяйственных культур. Для выявления эрозионных процессов на ранней стадии, а также их предотвращения, необходимо применять геоинформационную оценку агролесоландшафтов на основе данных дистанционного зондирования и цифровых моделей местности, включающую детальную характеристику рельефа, защищенность сельскохозяйственных угодий лесной мелиорацией. Формирование информационной (цифровой) базы позволяет своевременно спланировать мероприятия, чтобы добиться сохранения плодородия почв, снизить эрозионную нагрузку. **Объект.** Объектом исследований являлся типичный агролесоландшафт и его компоненты, располагающиеся в Краснодарском крае. **Материалы и методы.** Агролесомелиоративная оценка земельных ресурсов их подверженности эрозионным процессам, обоснованность размещения защитных лесных насаждений (ЗЛН) и эффективность защиты пахотных полей проводилась на тестовом полигоне «Успенское», где сформирована система ЗЛН. Для изучения морфометрических показателей и характеристик полигона были применены общедоступные программа QGIS 3.40, космоснимки спутника Sentinel 2 и данные цифровой модели местности SRTM 3. Впервые на базе методики геоинформационного анализа мезорельефа и существующих ЗЛН проведен дистанционный анализ степени защищенности агроландшафтов и определена необходимость повышения противоэрозионной устойчивости. **Результаты и выводы.** Агролесомелиоративный анализ проведен на сельскохозяйственных угодьях на тестовом полигоне «Успенское», площадью 1029 га. Разработаны картографические слои ГИС: диапазонов высот, крутизны склонов, водосборов, размещения лесонасаждений, позволяющие создать цифровую модель, которая позволит использовать дистанционные данные и геоинформационный анализ, чтобы повысить эффективность противоэрозионных мероприятий, обеспечивающих защиту пашни от водной эрозии и дефляции. Определен местный базис эрозии – 46 м. Территории с диапазоном высот 253-268 м занимают 82 % площади. В агролесоландшафте преобладают склоны слабополосые и пологие. Склоновые территории с крутизной до 3° занимают 86 % площади. Протяженность ложбинной сети 23,9 км. Выявлена структура пахотных земель и их защищенность ЗЛН. Установлено, что некоторые поля не защищены от эрозии почв насаждениями и не соответствуют нормативной потребности. Для создания законченной агролесомелиоративной системы необходимо создать 6,9 полевых защитных и 1,4 га противоэрозионных лесных полос протяженностью 9,2 км.

Ключевые слова: агролесоландшафты, геоинформационный анализ агролесоландшафтов, лесомелиоративное обустройство, полевые защитные лесные насаждения, сельскохозяйственные угодья.

Цитирование. Кочкарь М. М., Вдовенко А. В., Воробьева О. М., Воронина В. П. Агролесомелиоративная оценка сельскохозяйственных угодий с использованием данных дистанционного зондирования. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 183-196. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-20.

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. Агролесомелиорация является эффективным и долговечным комплексом мероприятий по обеспечению продовольственной безопасности, защите почв от эрозионных и дефляционных процессов [1, 2]. В настоящее время из-за высокой антропогенной и климатической нагрузки сельскохозяйственные земли Российской Федерации подвержены деградации на площади более 100 млн га [3, 4]. Несмотря на благоприятные агроклиматические условия, эрозионные и дефляционные процессы достаточно широко развиты на сельскохозяйственных угодьях Краснодарского края, особенно на территориях с повышенным ветровым режимом, склоновых ландшафтах. Защитные лесные насаждения (ЗЛН) трансформируют сельскохозяйственные угодья в агролесоландшафт, эффективно защищая территорию и являясь долговечным комплексом мероприятий по защите почв от эрозионных и дефляционных процессов. В Краснодарском крае обрабатывается 4 млн га пашни, где произрастает около 150 тыс. га защитных лесных насаждений. Они в основном представлены полевыми защитными лесополосами (90 %), при средней лесистости в крае около 3,75 %. Лесные полосы в агроландшафтах выполняют многофункциональные задачи, формируют благоприятный климат в междолевой полосе, снижают ветровую нагрузку, регулируют поверхностный сток [5, 6].

Агроэкологическая эффективность ЗЛН во многом определяется правильностью размещения, завершенностью систем лесонасаждений, их текущим состоянием. Естественное старение и отсутствие лесоводственных уходов приводят к ухудшению их состояния. Зачастую неправильное проектирование и размещение ЗЛН на площади не обеспечивают в полном объеме реализацию почвозащитных и иных функций свойственных древесно-кустарниковым насаждениям [7].

Современные методы исследования с использованием данных дистанционного зондирования, позволяют провести оценку состояния агролесоландшафтов [8, 9, 10].

Цель проведенных исследований заключалась в геоинформационной оценке лесомелиоративной защищенности и потенциальной эрозионной опасности в агроландшафтах на основе анализа характеристик мезорельефа и размещения защитных лесных насаждений с разработкой соответствующих тематических карт.

Новизна работы заключается в том, что впервые на базе методики геоинформационного анализа мезорельефа и существующих ЗЛН проведен дистанционный анализ степени защищенности агроландшафтов и определена необходимость повышения противоэрозионной устойчивости.

Материалы и методы. Объектом исследований являлись типичные агролесоландшафты в Успенском районе Краснодарского края в поясе предгорной разнотравно-злаковой степи. На востоке район граничит со Ставропольским краем, на юге с Отрадненским, на западе с Новокубанским районами Краснодарского края и территорий г. Армавира. Площадь анализируемого района составляет 1130 км². Русло р. Кубань разделяет район на две части: равнинно-холмистую по правобережью (Ставропольская возвышенность) и равнинную на левом берегу (Закубанская равнина). Почвенный покров агролесоландшафтов образуется предкавказскими и предгорными черноземами, а в поймах рек сформировались пойменные луговые почвы.

В границах хозяйства ООО «Агрофирма Агросахар» Успенского района был выбран тестовый полигон «Успенское». Общая площадь полигона составила 1028,6 га, периметр 14,2 км (рисунок 1) Для территории объекта были подобраны соответствующие космоснимки, имеющиеся в открытом доступе, и с помощью программы QGIS 3.40 получены и проанализированы показатели рельефа, характеристики пашни и ее лесомелиоративной обеспеченности.

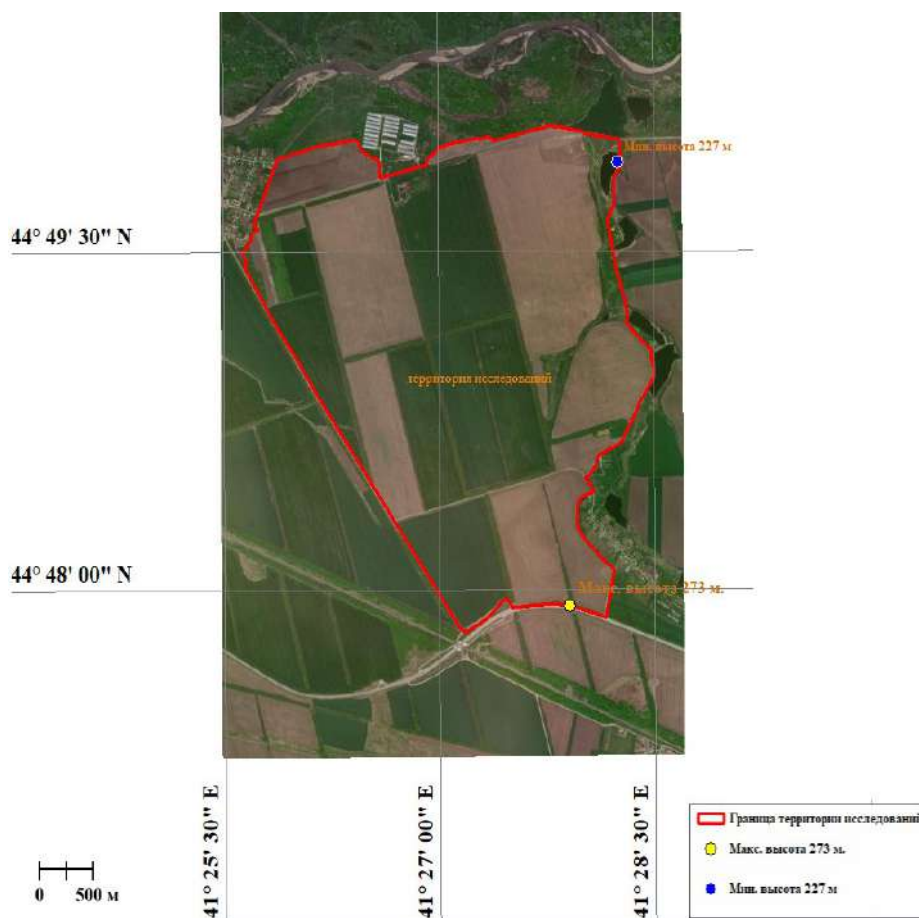


Рисунок 1 – Карта тестового полигона «Успенское», Успенский район Краснодарского края
Figure 1 – Map of the Uspenskoye test site, Uspenskiy district of the Krasnodar Territory

Методика определения геоморфологических характеристик позволяет использовать цифровые модели местности (ЦММ) и ГИС-технологии для создания векторных карт на основе космоснимков [13, 14]. На базе ЦММ были разработаны различные тематические карты рельефа местности. Тематическое картографирование с использованием инструмента создания изолиний позволило провести дискретное отображение данных о рельефе территории исследований с созданием электронных карт. Для агролесомелиоративной оценки пашни использовались крупномасштабные космокарты, которые формируются на основе архивных космоснимков сверхвысокого разрешения (0,3-1,0 м) спутника WorldView3. По космокартам выделялась макроструктура полей, имеющих по периметру защитные лесные насаждения [14]. Также определялись общее количество полей, защищенных и не защищенных лесными насаждениями, их площади и конфигурация. Анализ правильности размещения лесных насаждений в агролесоландшафте (в соответствии рельефом местности) осуществлялся в среде ГИС по космокарте с определением геометрических и пространственных характеристик лесонасаждений (площадь, периметр, длина, ширина, рядность). Также выявлялось соответствие существующей системы лесных насаждений и анализ выполнения заложенных ей защитных функций.

Картографические программы, находящиеся в свободном доступе, например, QGIS, позволили построить картографические модели. Тематическое картографирование с использованием инструмента создания изолиний позволяет провести дискретное отображение данных. На их основе можно создавать тематические картографические слои показателей рельефа, проводить агроэкологическую оценку полей и размещения линейных почвозащитных рубежей.

Результаты и их обсуждение. Успенский район входит в Закубанский и Ставропольский агроландшафтные районы Краснодарского края [12]. Сельскохозяйственные угодья занимают 90 % от общей площади, распаханность территории достигает 70-88 %. Пастбищные и сенокосные угодья составляют около 10-20 %. На пахотных угодьях доля полезащитных ЗЛН составляет около 3-6 %. Преимущественное распространение среди ЗЛН имеют монопородные лесные полосы из робинии лжеакация, а также смешанные по видовому составу, состоящие из робинии лжеакация (*Robinia pseudoacacia* L.) с гледичией трехколючковой (*Gleditsia triacanthos* L.), ясенем зеленым (*Fraxinus lanceolata* L.), тополем и вязом. Реже встречаются лесные полосы из дуба черешчатого (*Quercus robur* L.), ореха черного (*Juglans nigra*), вяза приземистого (*Ulmus pumila* L.), ивы древовидной (*Salix arbuscula* L.), клена ясенелистного (*Acer negundo* L.). Высота древостоя в полностью сформированных агролесомелиоративных системах составляет 12-20 м. Некоторые древесные насаждения, произрастающие в лесных полосах, нуждаются в проведении лесоводственных мероприятий, прежде всего в лесовозобновительных и выборочных санитарных рубках.

Растениеводческие хозяйства Успенского района в основном ориентированы на выращивание высококачественного зерна (около 41 % от посевных площадей). Характерной особенностью местных агроценозов является отведение значительных площадей под пропашные «эрозионно-опасные» культуры (сахарная свекла, подсолнечник), что приводит к развитию поверхностной водной эрозии почв на таких полях.

Современные высокотехнологичные аграрные предприятия начинают повсеместно проводить оцифровку землепользований, чтобы повысить экономическую эффективность и снизить экологическую нагрузку на почвенные ресурсы. Поэтому проведенный геоинформационный анализ позволит определить не только основные пространственные характеристики рельефа тестового полигона «Успенское», но и выявить наиболее уязвимые аспекты агролесоландшафта.

Общая площадь водосборного бассейна агролесоландшафта составила 1028,6 га. Максимальная высотная отметка достигает 273 м, минимальная 227 м. Базис местной эрозии – 46 м. Максимальный угол наклона склона 9,66°, при среднем значении крутизны склонов – 1,91°. Агролесоландшафты размещены на землях со слабо пологими и пологими склонами. На поверхностях с крутизной до 1,5-2° в основном получили распространение процессы дефляции, так как почвенные разности образованы супесчаными фракциями. Эрозионные процессы в виде плоскостного смыва распространены на поверхностях с углом наклона склона свыше 2°. На землях, примыкающих к балкам зафиксировано проявление линейной эрозии в виде промоин и оврагообразования.

На территории тестового полигона выделено 18 полей, общей площадью 852,4 га, образующих агролесоландшафт «Успенское» (рисунок 2).

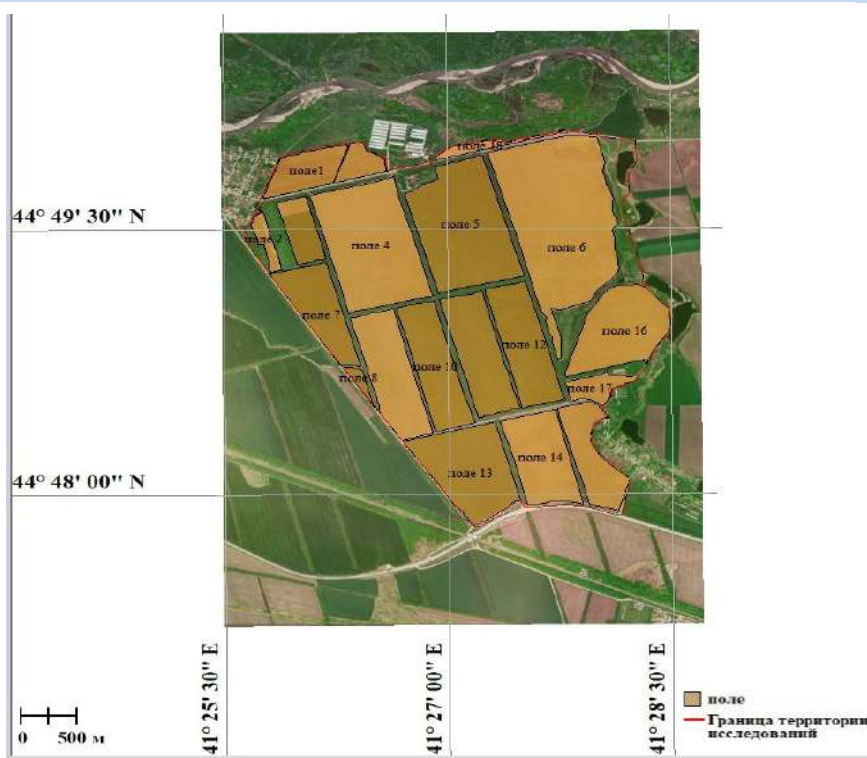


Рисунок 2 – Карта пространственного размещения полей, образующих агролесоландшафт «Успенское»

Figure 2 – Map of spatial distribution of fields forming the agroforestry landscape "Uspenskoe"

Таблица 1 – Структура пахотных земель агролесоландшафта «Успенское»

Table 1 – Structure of arable lands of the agroforestry landscape "Uspenskoe"

Характеристика полей в системе агроландшафта / Characteristics of fields in the agricultural landscape system			
площадь, га (№№ поля) / area, ha (field number)	периметр, км / perimeter, km	средняя высота над уровнем моря, м / average altitude above sea level, m	средняя крутизна склона, ° / average slope steepness, °
Поля площадью до 50 га / Fields of up to 50 hectares			
34,6 (1)	3,5	246,7	2,0
6,7 (2)	1,6	249,9	1,6
17,8 (3)	1,9	250,0	2,0
37,3 (7)	3,0	257,4	2,7
3,1 (8)	1,1	263,1	3,3
45,7 (10)	3,4	262,0	1,9
48,0 (11)	3,3	258,5	2,5
48,2 (12)	3,3	255,1	2,3
45,8(14)	2,9	264,3	2,2
33,4 (15)	3,1	263,0	2,4
11,6 (17)	1,7	256,4	2,3
6,6 (18)	2,5	243,2	2,6
Поля площадью от 50 до 100 га / Fields ranging from 50 to 100 hectares			
97,1 (4)	4,1	250,9	2,1
94,7(5)	4,1	251,0	2,0
51,1 (9)	3,4	262,6	2,0
63,3 (13)	3,3	266,2	1,9
56,6 (16)	3,0	252,3	1,8
Поля площадью свыше 100 га / Fields with an area of over 100 hectares			
151,3 (6)	6,1	249,0	1,8

Анализ структуры и характеристики полей агролесоландшафтов «Успенское» показал (таблица 1), что средняя площадь полей составляет 47,4 га. Пахотный агроландшафт образуют восемнадцать полей. Из них 12 полей имеют площадь до 50 га, 5-50-100 га и только размеры одного поля превышают 150 га. Крутизна пахотных участков варьируется от 1,6 до 3,3°, при среднем значении 2,2°. Это свидетельствует о существующей эрозионной опасности, а с учетом выращивания в хозяйстве пропашных культур, слабо защищающих почвенный покров от процессов деградации, необходимо дополнительно предусмотреть комплекс почвозащитных мероприятий.

Высотные отметки местности определяют местный базис эрозии и указывают на потенциальную опасность проявления эрозионных процессов. Учет данных показателей и рациональное размещение полей севооборотов позволяет свести к минимуму эрозионные потери и сохранить плодородие почв.

При изучении особенностей и анализа мезо- и макрорельефа агролесоландшафта «Успенское» были заложены 5 модельных гипсометрических профилей (рисунок 3).

Размещение цифровых модельных профилей предполагал сбор максимально полной информации о рельефных особенностях территории, где 2 и 3 ориентированы вдоль длинных сторон полей, 1-й поперек полей (максимальная протяженность), 4 и 5-й профили располагаются вблизи балочных территорий.

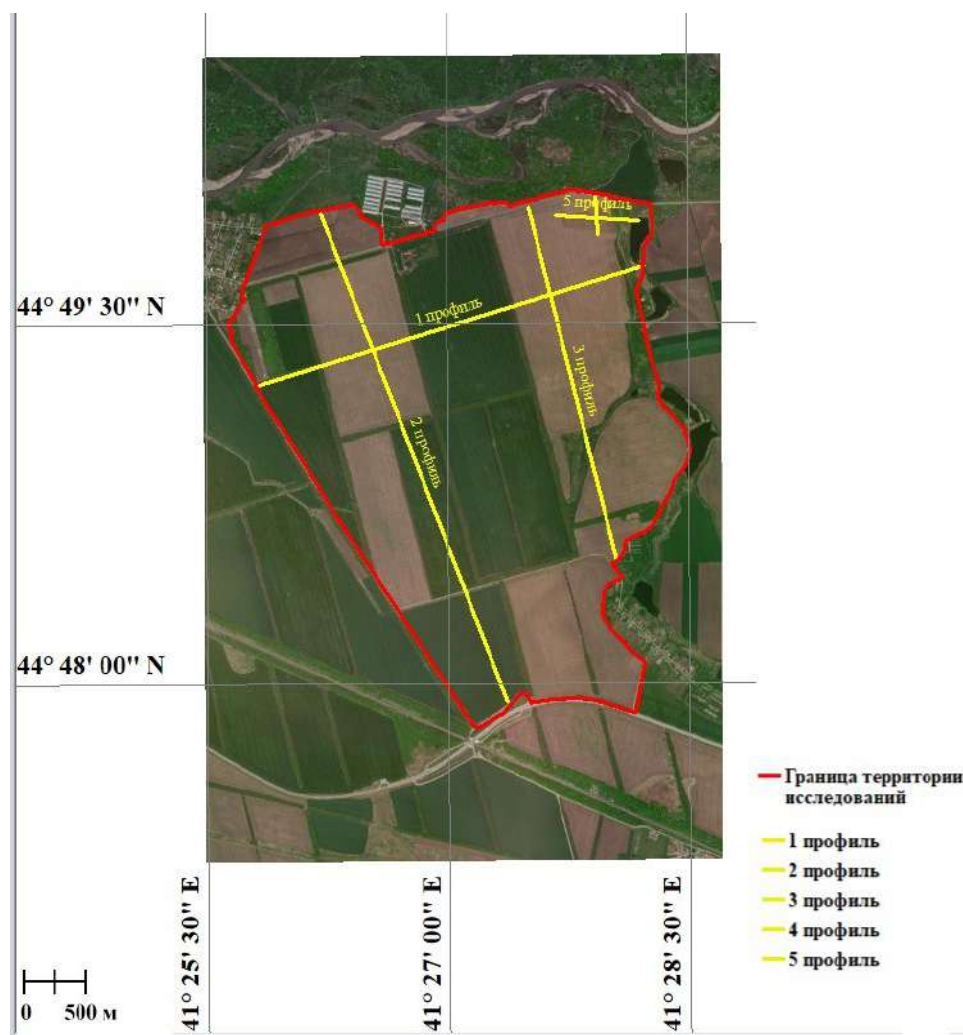


Рисунок 3 – Размещение цифровых модельных профилей в агролесоландшафте «Успенское»
Figure 3 – Placement of digital model profiles in the Uspenskoye agroforestry landscape

Характеристики гипсометрических профилей представлены на рисунке 4.

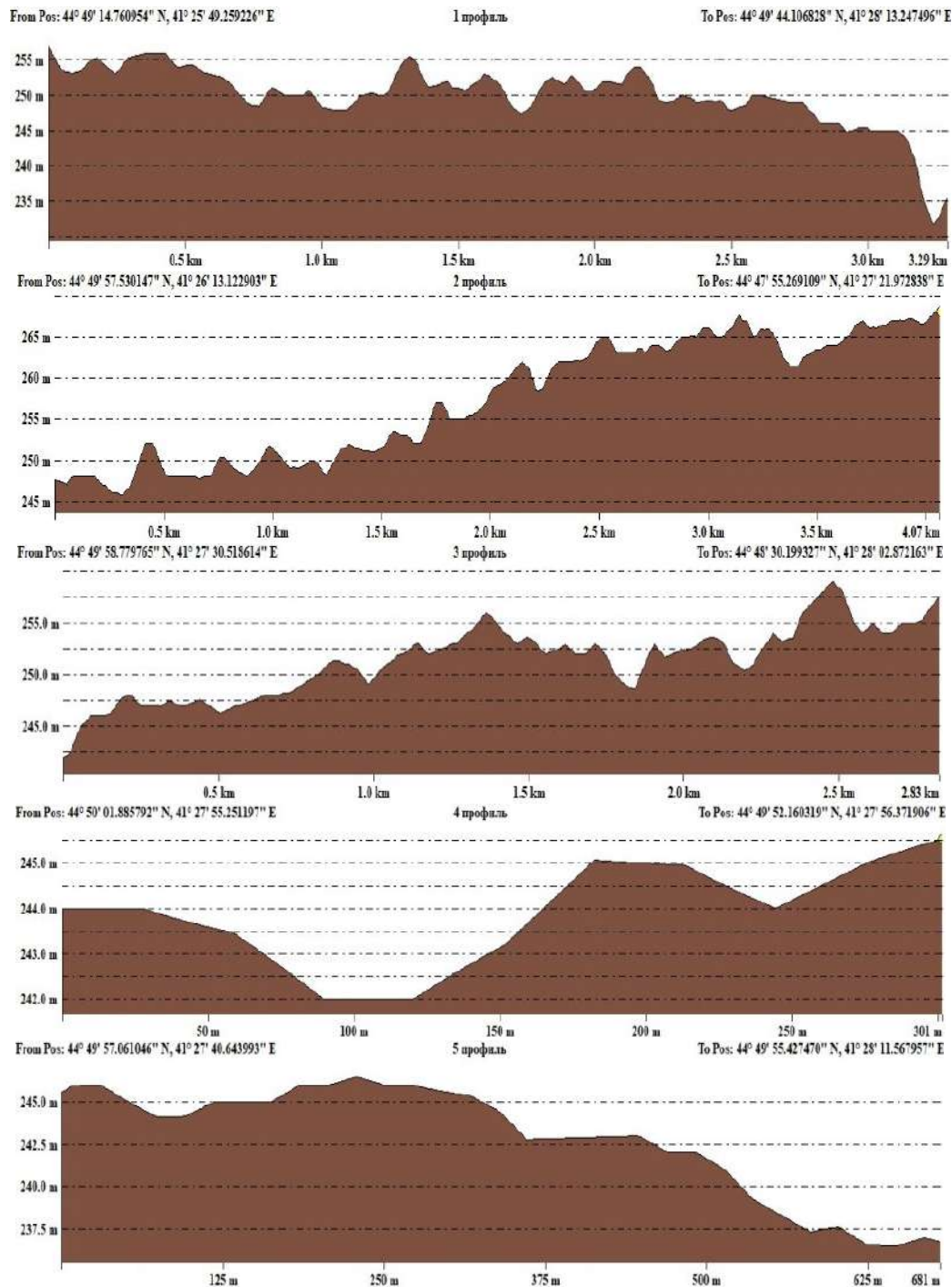


Рисунок 4 – Гипсометрические профили в агролесоландшафте «Успенское»
Figure 4 – Hypsometric profiles in the Uspenskoye agroforestry landscape

Протяженность профилей варьировала от 301 м до 4,07 км, максимальный перепад высот составил 21,5 м на профиле № 1 протяженностью 3,29 км в направлении с запада на восток. При средних показателях углов наклона склона $0,27...0,74^{\circ}$, максимальная крутизна составила $9,66^{\circ}$ на восточном окончании профиля № 1.

Гипсометрические профили (№ 2 и 3) показывают выраженное изменение высотных отметок (падение) территории в направлении с юга на север к речной долине р. Кубань.

Изолинейная карта высот агролесоландшафтов «Успенское» представлена на рисунке 5.

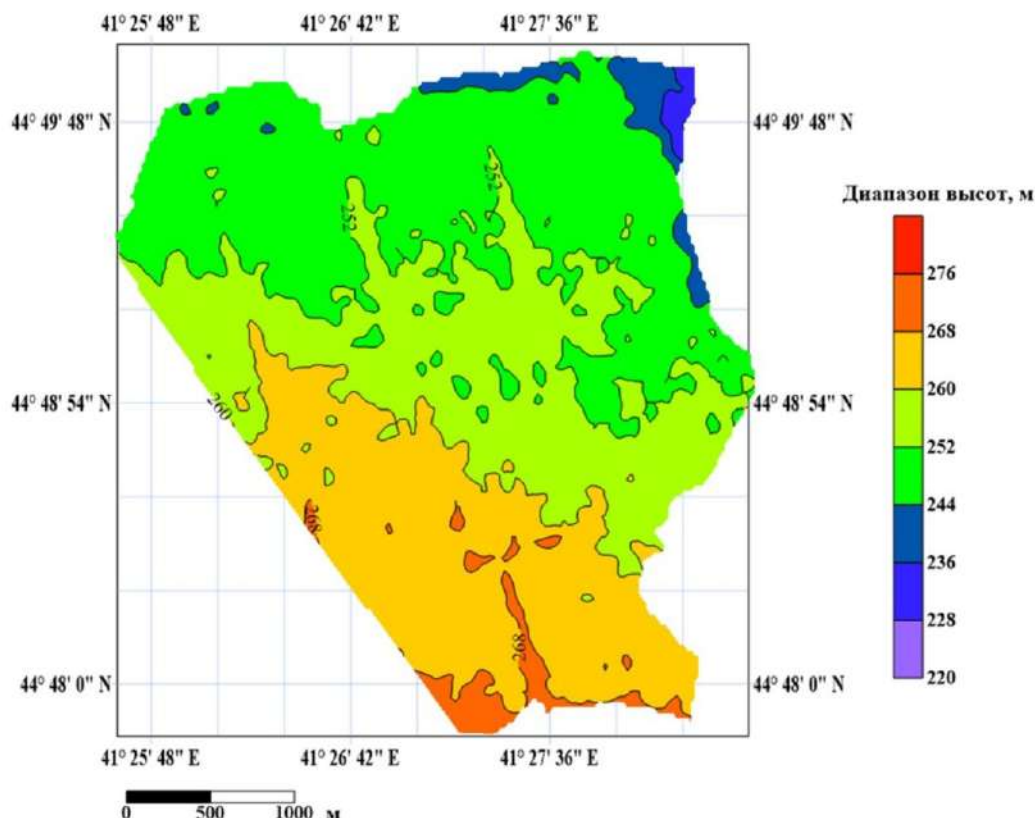


Рисунок 5 – Изолинейная карта высот агролесоландшафта «Успенское»
Figure 5 – Isolinear elevation map of the Uspenskoye agroforestry landscape

Гистограмма распределения высотных отметок по площади в агролесоландшафтах «Успенское» представлена на рисунке 6.

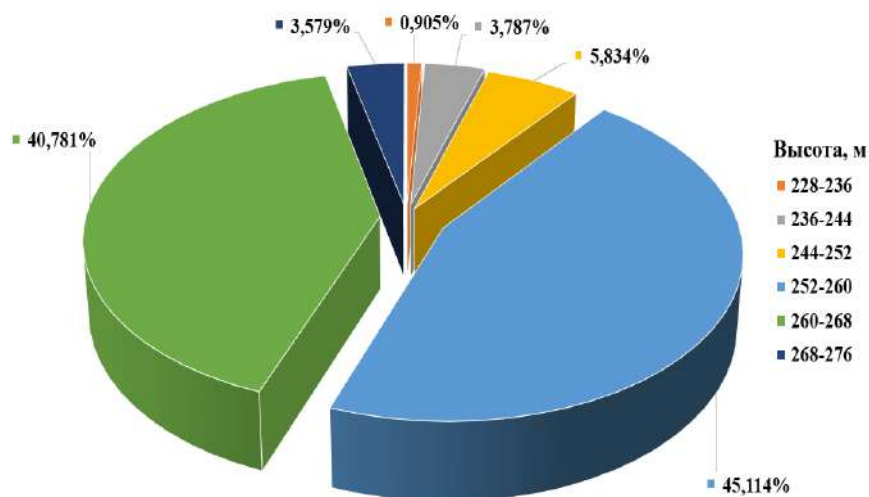


Рисунок 6 – Распределение территории агролесоландшафта «Успенское» по высотам
Figure 6 – Distribution of the territory of the agroforestry landscape "Uspenskoye" by height

Площади агролесоландшафтов «Успенское» с диапазоном высот от 228 до 236 м занимают менее 1 %, 236-244 м – 4 %, 244-252 м – 6 %, 252-260 м – 45 %, 260-268 м – 41 %, 268-276 м – около 4 % территории.

Изолинейная карта распределения углов наклона склонов агролесоландшафтов «Успенское» представлена на рисунке 7.

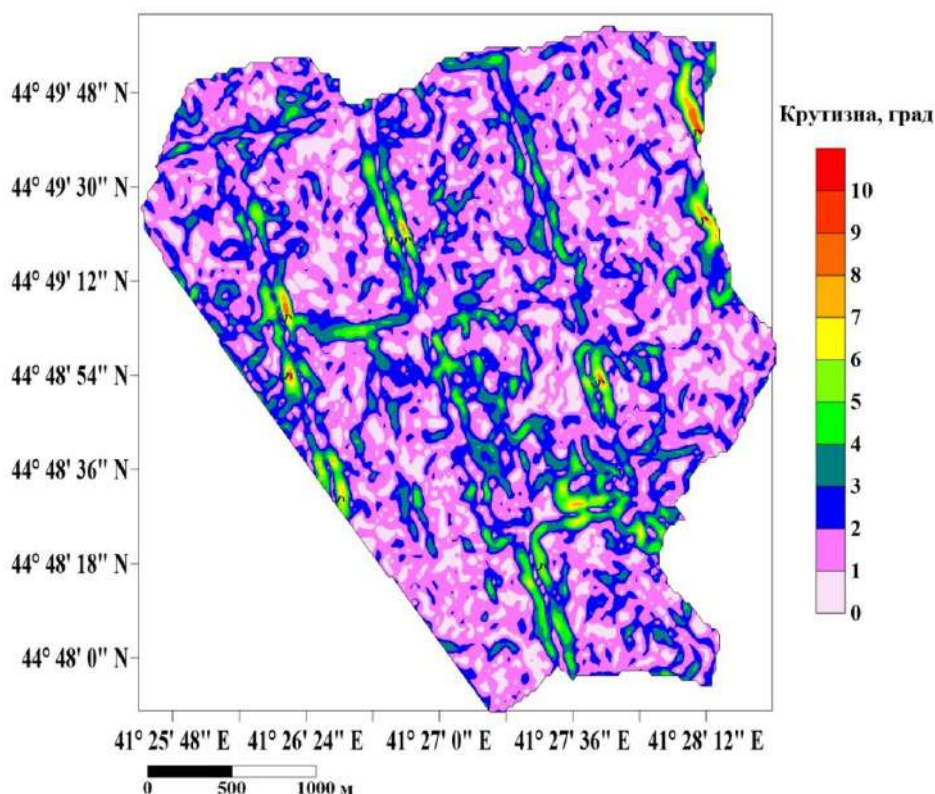


Рисунок 7 – Карта крутизны склонов агролесоландшафта «Успенское»
Figure 7 – Steepness map of the slopes of the agroforestry landscape "Uspenskoe"

Гистограмма распределения углов наклона склонов агролесоландшафтов «Успенское» представлена на рисунке 8.

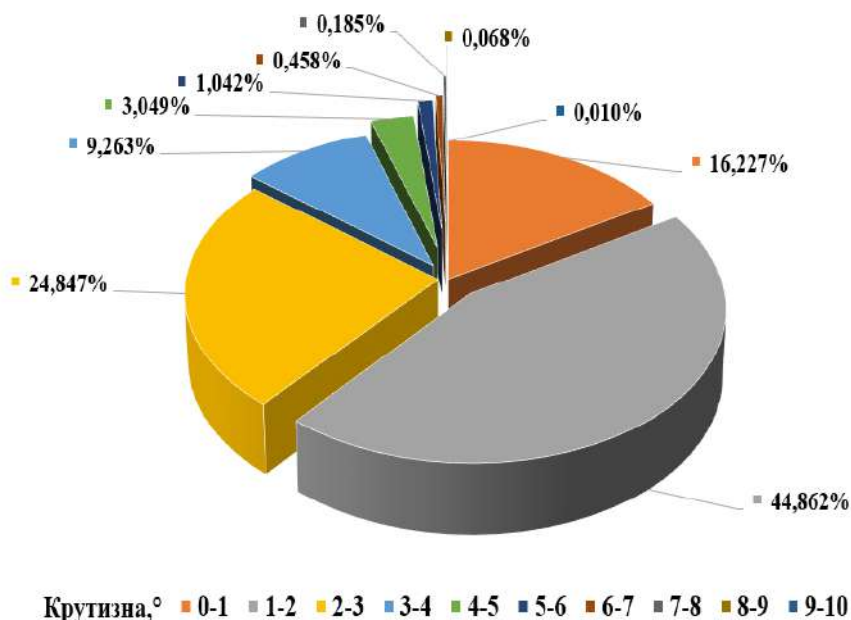


Рисунок 8 – Структура территории агролесоландшафта «Успенское» по углам наклона склонов
Figure 8 – The structure of the territory of the agroforestry landscape "Uspenskoe" by slope angles

Оценка территории агролесоландшафта «Успенское» по крутизне склонов показывает, что доля эрозионно безопасных склонов с крутизной от 0 до 1° составляет 16 %. Площадь пашни, которая является потенциально опасной для развития различных видов

эрозии почвы, приурочена к склонам $1-3^{\circ}$. Доля территории с возможным проявлением эрозионных процессов составляет 715,7 га или 70 %. Здесь также имеются эрозионно опасные пахотные земли, где крутизна склона на полях фиксируется выше 3° . Их доля составляет 14 %. Анализ и учет данных крутизны необходим при выборе сельскохозяйственных культур и севооборотов, исходя из их почвозащитной способности, проектировании комплекса почвозащитных мероприятий, размещении полезащитных и противоэрозионных насаждений [13, 14].

Карта водосборов агролесоландшафта «Успенское» представлена на рисунке 9.

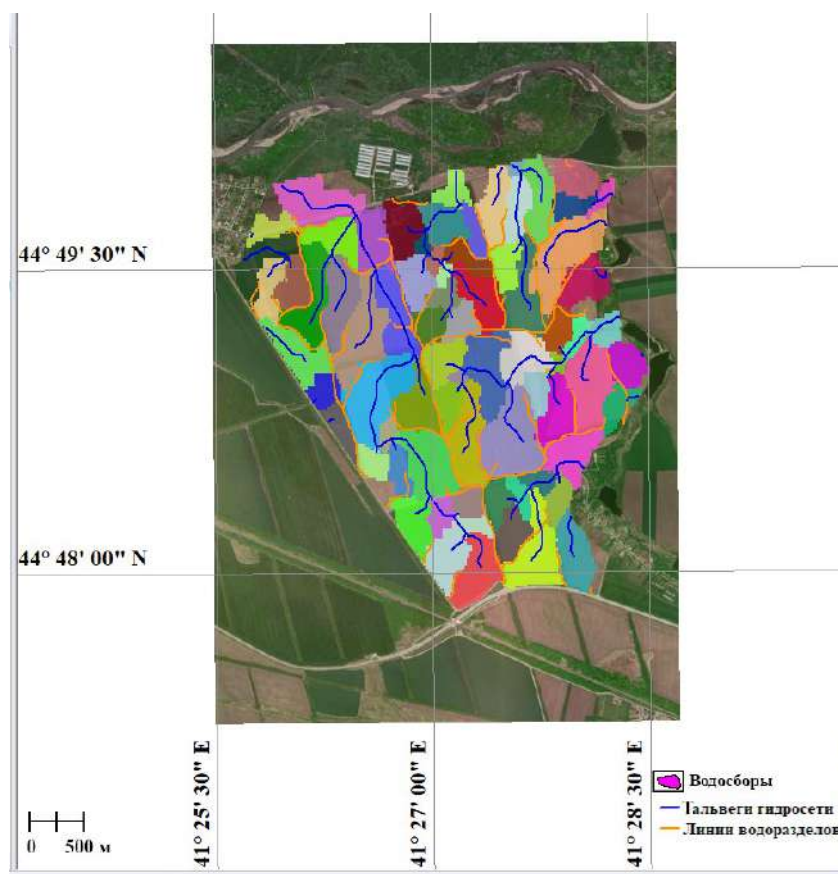


Рисунок 9 – Карта водосборов агролесоландшафта «Успенское»
Figure 9 – Map of the catchments of the agroforestry landscape "Uspenskoe"

Границы водосборов, линии водоразделов и тальвегов гидрографической сети важны при проектировании на местности стокорегулирующих (поглощающих поверхностный сток) рубежей из лесных полос. Протяженность ложбинной сети составила 23,9 км. Соответственно, необходимость создания стокорегулирующих лесных полос очевидна, чтобы они кольматировали мелкозем, обеспечивали перевод поверхностного стока во внутрипочвенный, а также предотвращали развитие овражной эрозии [17].

Как известно, что системы лесных насаждений на пашне обеспечивают благоприятное ведение сельскохозяйственного производства, устойчивую прибавку урожая, снижают эрозионные и дефляционные потери почвы. Полезащитная эффективность насаждений на пашне определяется межполосным расстоянием и размещением относительно господствующих (вредоносных) ветров.

С использованием геоинформационного анализа и опираясь на нормативы проектирования полезащитных и противоэрозионных насаждений была составлена карта размещения существующих и проектируемых ЗЛН в агролесоландшафте «Успенское» (рисунок 10).

Детальный анализ показал, что в агролесоландшафте «Успенское», межполосное расстояние на некоторых полях не соответствует агролесомелиоративным нормам. Оно значительно завышено, что снижает почвозащитную эффективность системы. Также необ-

ходимо отметить, что ширина некоторых полос имеет завышенные значения, по сравнению с нормативными показателями. Анализ размещения лесных насаждений относительно рельефа показал, что на участках, примыкающих к балочным землям необходимо дополнительно запроектировать противозерозионные насаждения (прибалочные и приовражные лесные полосы).

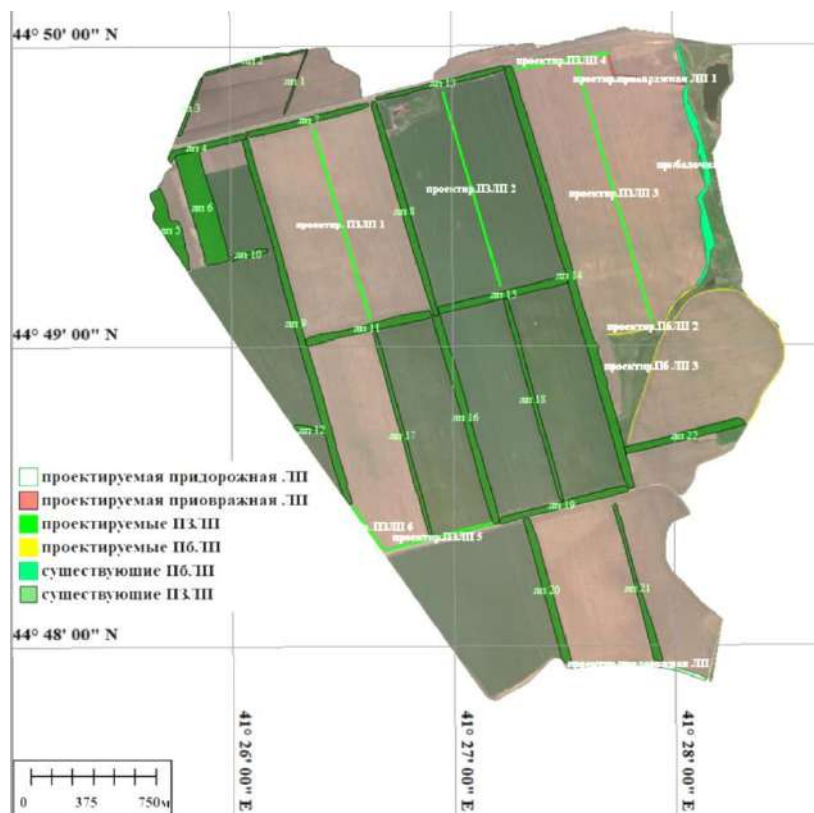


Рисунок 10 – Карта размещения существующих и проектируемых защитных лесонасаждений агролесоландшафте «Успенское»

Figure 10 – Map of the location of existing and projected protective forest plantations in the Uspenskoye agroforestry landscape

В настоящее время в агролесоландшафтах «Успенское» произрастает 22 полезащитные лесные полосы, приуроченные к периметру полей и 1 прибалочная лесная полоса. Общая площадь насаждений (ЗЛН) составляет 91,3 га. Общий периметр насаждений 45,6 км.

В таблице 2 приведены морфометрические характеристики существующих и проектируемых полезащитных (ПЗЛП), прибалочных (ПБЛП), приовражных (ПОЛП) и придорожных (ПДЛП) лесных полос.

Таблица 2 – Характеристика защитных лесных насаждений агролесоландшафта «Успенское»

Table 2 – Characteristics of protective forest plantations of the agroforestry landscape "Uspenskoye"

Функциональное назначение лесных полос / Functional purpose of forest strips	Площадь лесных полос, га / Area of forest strips, ha	Периметр лесных полос, км / Perimeter of forest strips, km
существующие ЗЛН / existing protective forest strips		
Полезащитные (ПЗЛП) / Fields protective forest strips	86,6	42,4
Противозерозионные (ПБЛП и ПОЛП) / Erosion control forest strips	4,7	3,2
проектируемые ЗЛН / projected protective forest strips		
Полезащитные (ПЗЛП) / Fields protective forest strips	6,9	11,5
Противозерозионные (ПБЛП и ПОЛП) / Erosion control forest strips	1,4	6,9
Придорожные (ПДЛП) / Roadside forest strips	1,2	1,7

Лесные насаждения в агроландшафте должны отвечать требованиям проектирования, обеспечивать долговременный мелиоративный эффект и защиту почв от процессов деградации.

В таблице 3 приведены характеристики проектируемых ЗЛН в агролесоландшафтах «Успенское».

Таблица 3 – Потребность агролесоландшафта «Успенское» в обеспечении нормативной защищенности территории лесными насаждениями
Table 3 – The need of the agroforestry landscape "Uspenskoe" to ensure the regulatory protection of the territory by forest plantations

Вид ЗЛН / Type of protective forest plantations	Протяжен- ность, м / Length, m	Ширина, м / Width, m	Конструкция / Construction	Количество рядов / ширина междурядий, м / Number of rows/row spacing width, m	Рекомендуемый породный состав / Recommended breed composition	
					главные / main	второстепен- ные / secondary
ПЗЛП / Field-protective forest belts	5695	12	ажурная / delicate	4/3	<i>Juglans nigra</i> , <i>Robinia</i> <i>pseudoacacia</i> L., <i>Gleditsia triacanthos</i> L.	<i>Fraxinus lanceolata</i> L., <i>Ulmus pumila</i> L.
ПБЛП и ПоЛП / anti-erosion forest belts	3470	21	плотная dense	7/3	<i>Quercus robur</i> L., <i>Juglans nigra</i> ,	<i>Hippophae rhamnoides</i> L., <i>Prunus divaricata</i> Ldb., <i>Rosa canina</i> L., <i>Malus silvestris</i> L.
ПдЛП / roadside forest belts	855	15	плотная dense	5/3	<i>Ulmus pumila</i> L., <i>Robinia</i> <i>pseudoacacia</i> L., <i>Gleditsia triacanthos</i>	<i>Fraxinus lanceolata</i> L., <i>Pyrus caucasica</i> Fed.

Для обеспечения противозерозионной и противодефляционной защиты и создания законченной агролесомелиоративной системы в агролесоландшафтах «Успенское» необходимо дополнительно высадить 6,9 га полезащитных и 1,4 га противозерозионных лесных полос протяженностью 9,2 км. Это позволит защитить почву от деградации и обеспечить высокую продуктивность сельскохозяйственных угодий.

Заключение. Агроландшафты Краснодарского края в значительной степени подвержены водной и ветровой эрозии почв из-за интенсивной агрохозяйственной нагрузки, обусловленной высокой распаханностью территории. Формирование агролесомелиоративного комплекса противозерозионных и противодефляционных лесных насаждений на основе информационно-картографических данных позволяет достичь устойчивости агроландшафтов.

На примере тестового полигона «Успенское» с использованием геоинформационного картографического анализа была дана оценка и составлены карты пространственных характеристик мезорельефа и размещения ЗЛН, обеспечивающих предотвращение деградации пахотных угодий, других сопряженных земель. На территории полигона земли с крутизной до 3° занимают около 86 % площади. Протяженность ложбинной сети составляет 23,9 км. Для повышения агролесомелиоративной эффективности и снижения почвенных потерь необходимо на пахотных полях сократить межполосные расстояния до нормативных показателей, посадив полезащитные лесополосы протяженностью 5695 м и площадью 6,9 га. Запроектировать противозерозионные насаждения вдоль бровок балок и оврагов протяженностью 2940 м и площадью 1,4 га. Примененные методы дистанционного зондирования дают возможность получить подробные характеристики рельефа, обеспеченности защитными лесными насаждениями, а на основе полученных данных геоинформационного анализа осуществлять лесомелиоративное обустройство, использовать соответствующие почвенно-климатическим условиям сельскохозяйственные культуры и технологии.

Conclusions. The agricultural landscapes of the Krasnodar Territory are largely exposed to water and wind erosion of soils due to the intense agricultural load caused by the high ploughing of the territory. The formation of an agroforestry complex of anti-erosion and anti-deflationary forest plantations based on information and cartographic data makes it possible to achieve the sustainability of agrolands.

Using the example of the Uspenskoye test site, using geoinformation cartographic analysis, an assessment was made and maps of the spatial characteristics of the mesorelief and the location of MOORS were compiled, ensuring the prevention of degradation of arable land and other associated lands. On the territory of the landfill, lands with a curvature of up to 3° occupy about 86 % of the area. The length of the hollow network is 23.9 km. To increase agroforestry efficiency and reduce soil losses, it is necessary to reduce lane spacing in arable fields to standard values by planting protective forest belts with a length of 5,695 m and an area of 6.9 hectares. To design anti-erosion plantings along the brows of gullies and ravines with a length of 2,940 m and an area of 1.4 hectares. The applied remote sensing methods make it possible to obtain detailed characteristics of the relief, provision of protective forest stands, and, based on the data obtained from geoinformation analysis, to carry out forest management, use crops and technologies appropriate to soil and climatic conditions.

Библиографический список

1. Беляев А. И., Кулик К. Н. Агролесомелиорация – основа экологически безопасного и экономически эффективного сельского хозяйства. Научно-агрономический журнал. 2022. № 2 (117). С. 7-11.
2. Мелихов В. В., Кулик К. Н. Защитное лесоразведение как основной элемент комплексных мелиораций и фактор экологической и продовольственной безопасности. Орошаемое земледелие. 2020. № 1. С. 6-7.
3. Шинкаренко С. С., Барталев С. А., Берденгалиева А. Н., Дорошенко В. В. Спутниковый мониторинг процессов опустынивания на юге Европейской России в 2019-2022 гг. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 5. С. 319-327.
4. Yuferev V. G. et al. Degradation of landscapes in the south of the Privolzhsky upland. Journal of Forest Science. 2019. V. 65. № 5. Pp. 195-202.
5. Kulik K. N., Belyaev A. I., Pugacheva A. M. The role of protective afforestation in drought and desertification control in agro-landscapes. Arid Ecosystems. 2023. V. 13. № 1. Pp. 1-10.
6. Кулик А. В., Воронина В. П., Узолин А. И. Опыт формирования агrolесомелиоративной системы на правом берегу среднего Дона с целью повышения продуктивности агроэкосистем. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 3 (55). С. 142-152.
7. Кулик К. Н. Современное состояние защитных лесонасаждений в Российской Федерации и их роль в смягчении последствий засухи и опустынивания земель. Научно-агрономический журнал. 2022. № 3 (118). С. 8-13.
8. Кулик К. Н., Кошелев А. В. Методическая основа агrolесомелиоративной оценки защитных лесных насаждений по данным дистанционного мониторинга. Лесотехнический журнал. 2017. Т. 7. № 3 (27). С. 107-114.
9. Кошелев А. В., Шатровская М. О. Агролесомелиоративная оценка защитных лесных насаждений с применением дистанционных данных и геоинформационных технологий. ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2022. Т. 28. № 2. С. 871-884.
10. Ovchinnikov A. S. et al. Remote cartographic assessment of the erosion condition of agrolandscapes. Journal of Forest Science. 2017. No 63. Pp. 485-489.
11. Дубенок Н. Н., Тянукевич В. В., Тюрин С. В. Состояние и мелиоративная эффективность защитных лесонасаждений Краснодарского края. Российская сельскохозяйственная наука. 2017. № 1. С. 36-38.
12. Манаенков А. С. Подходы к улучшению состояния полейзащитных лесных полос на Северном Кавказе. Лесоведение. 2023. № 4. С. 412-426.
13. Kulik K. N. et al. Geoinformational analysis of desertification of the Northwestern Caspian. Arid Ecosystems. 2020. V. 10. № 2. Pp. 98-105.
14. Юфереv В. Г., Ткаченко Н. А. Картографирование и моделирование агrolандшафтов с использованием геоинформационных систем. Научно-агрономический журнал. 2020. № 4 (111). С. 23-28.
15. Барабанов А. Т. Обоснование роли и места стокорегулирующих мероприятий в борьбе с деградацией почв и опустыниванием земель. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1 (69). С. 36-46.
16. Кочкарь М. М. и др. Условия функционирования агrolесоландшафтов Доно-Чирского междуречья. Научно-агрономический журнал. 2023. № 1 (120). С. 38-45.
17. Рулев А. С., Беляков А. М., Сарычев А. Н. Исследование проявления дефляции почв в условиях Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 2 (42). С. 101-107.

References

1. Belyaev A. I., Kulik K. N. Agroforestry is the basis of environmentally safe and economically efficient agriculture. Scientific and Agronomic Journal. 2022. No. 2 (117). Pp. 7-11.
2. Melikhov V. V., Kulik K. N. Protective afforestation as the main element of complex land reclamation and a factor of environmental and food security. Irrigated agriculture. 2020. No. 1. Pp. 6-7.
3. Shinkarenko S. S., Bartalev S. A., Berdengalieva A. N., Doroshenko V. V. Satellite monitoring of desertification processes in southern European Russia in 2019-2022. Modern problems of remote sensing of the Earth from space. 2022. Vol. 19. No.5. Pp. 319-327.
4. Yuferev V. G. et al. Degradation of landscapes in the south of the Privolzhsky upland. Journal of Forest Science. 2019. Vol. 65. No. 5. Pp. 195-202.
5. Kulik K. N., Belyaev A. I., Pugacheva A. M. The role of protective afforestation in drought and desertification control in agro-landscapes. Arid Ecosystems. 2023. Vol. 13. No. 1. Pp. 1-10.
6. Kulik A. V., Voronina V. P., Uzolin A. I. The experience of forming an agroforestry system on the right bank of the middle Don in order to increase the productivity of agroecosystems. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and higher professional education. 2019. No. 3 (55). Pp. 142-152.
7. Kulik K. N. The current state of protective forest plantations in the Russian Federation and their role in mitigating the effects of drought and desertification. Scientific and Agronomic Journal. 2022. No. 3 (118). Pp. 8-13.

8. Kulik K. N., Koshelev A. V. Methodological basis for agroforestry assessment of protective forest plantations based on remote monitoring data. *Forestry engineering magazine*. 2017. V. 7. No. 3 (27). Pp. 107-114.
9. Koshelev A. V., Shatrovskaya M. O. Agroforestry assessment of protective forest plantations using remote data and geoinformation technologies. *The InterCarto. InterGIS*. 2022. Vol. 28. No. 2. Pp. 871-884.
10. Ovchinnikov A. S. et al. Remote cartographic assessment of the erosion condition of agricultural landscapes. *Journal of Forest Science*. 2017. No 63. Pp. 485-489.
11. Dubenok N. N., Tanyukevich V. V., Tyurin S. V. The state and reclamation efficiency of protective forest plantations in the Krasnodar Territory. *Russian agricultural science*. 2017. No. 1. Pp. 36-38.
12. Manaenkov A. S. Approaches to improving the condition of protective forest belts in the North Caucasus. *Forestry*. 2023. No. 4. Pp. 412-426.
13. Kulik K. N. et al. Geo-informational analysis of desertification of the Northwestern Caspian. *Arid Ecosystems*. 2020. Vol. 10. No. 2. Pp. 98-105.
14. Yuferev V. G., Tkachenko N. A. Mapping and modeling of agricultural landscapes using geoinformation systems. *Scientific and agronomic journal*. 2020. No. 4 (111). Pp. 23-28.
15. Barabanov A. T. Substantiation of the role and place of stock-regulating measures in the fight against soil degradation and desertification. *Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and higher professional education*. 2023. No. 1 (69). Pp. 36-46.
16. Kochkar M. M. et al. Conditions of functioning of agroforestry landscapes of the Don-Chirsky interfluvium. *Scientific and agronomic journal*. 2023. No. 1 (120). Pp. 38-45.
17. Rulev A. S., Belyakov A. M., Sarychev A. N. Investigation of the manifestation of soil deflation in the Volgograd region. *Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: science and higher professional education*. 2016. No. 2 (42). Pp. 101-107.

Информация об авторах

Кочкар Максим Михайлович, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр., 26), ORCID: 0000-0003-1458-0731, e-mail: mmk_7@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.ru
Воробьева Ольга Михайловна, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр., д. 26), ORCID 0000-0001-6299-4977, e-mail: agro034@mail.ru
Воронина Валентина Павловна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26), ORCID: 0000-0002-3441-5314, e-mail: v.p.voronina@mail.ru

Authors' Information

Kochkar Maksim Mikhailovich, Candidate of Agricultural Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), ORCID: 0000-0003-1458-0731, e-mail: mmk_7@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.ru
Vorobieva Olga Mikhailovna, Candidate of Agricultural Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26) ORCID 0000-0001-6299-4977, e-mail: agro034@mail.ru
Voronina Valentina Pavlovna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), ORCID: 0000-0002-3441-5314, e-mail: v.p.voronina@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-21

THE STUDY OF THE SPRING WHEAT REACTION TO AZOMETHINE BY THE VARIABILITY OF THE OF SPROUT PARAMETERS**Mudrykh N. M., Akent'eva T. A., Zhakova S. N., Pinaeva M. I.***Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov
Perm, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: nata020880@hotmail.com

Received 20.10.2025

Submitted 14.11.2025

The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, 2023 and state theme № 1023051000003-9-4.1.1.**Summary**

The regulation of plant growth and development allows agricultural enterprises to achieve stable crop yields regardless of external factors. However, the use of growth regulators and disinfectants comes with additional costs, which ultimately affects the cost of production. Using existing mineral fertilizers with additional substances (growth regulators, plant protection, etc.) in one step will solve this problem and reduce the cost of production.

Abstract

Introduction. The relevance is determined by the reaction of wheat to urea enriched with azomethine with a biologically active tropyliden fragment, based on changes in the morphometric parameters of the seedlings, in order to establish the growth activity of wheat seeds and the possibility of using the test substances as a fertilizer with growth-regulating and disinfecting properties. **Object.** Urea enriched with azomethine and a biologically active tropyliden fragment, and spring wheat (*Triticum aestivum* L.) variety Irgina. **Materials**

and methods. The research was conducted in model experiments in the laboratories of the structural divisions of the Perm State Agrarian and Technological University. The wheat was grown in Petri dishes under controlled conditions. The research results were processed using the STATISTICA program. **Results and conclusion.** The authors obtained urea substances with different concentrations of azomethine with a biologically active tropiliden fragment. A mathematically proven ($p < 0.05$) positive effect of the tested substances on spring wheat seedlings of the Irgina variety at azomethine concentrations of 1×10^{-2} and 1×10^{-1} % was established. Under the influence of azomethine, which is part of the solutions, the length of the main germinal root and sprout increased respectively by 12.5-15.8 % and 11.3-12.1 %, (on the 3rd day of the experiment), and by 14.6-22.4 % and 8.3-8.9 % (on the 7th day of the experiment). Azomethine had a positive effect on the variability of traits within the experimental variants.

Keywords: urea, azomethine, morphometric parameters of wheat germ, plant growth regulators, wheat growth activity.

Citation. Mudrykh N. M., Akent'eva T. A., Zhakova S. N., Pinaeva M. I. The study of the spring wheat reaction to azomethine by the variability of the of sprout parameters. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 196-201 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-21.

Authors' contribution. N. M. Mudrykh – data collection and processing, data analyses, text writing, T. A. Akent'eva – data collection and processing, text writing, S. N. Zhakova – data collection, data analyses, M. I. Pinaeva – data collection, data analyses.

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

УДК 633.11:57.033:547.8

ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА АЗОМЕТИН ПО ИЗМЕНЧИВОСТИ ПАРАМЕТРОВ ПРОРОСТКОВ

Мудрых Н. М., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Акентьева Т. А., кандидат химических наук, доцент

Жакова С. Н., кандидат биологических наук, доцент

Пинаева М. И., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет
имени академика Д. Н. Прянишникова»
г. Пермь, Российская Федерация

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (номер госрегистрации 1023051000003-9-4.1.1).

Актуальность. Регулирование роста и развития растений позволяет предприятиям аграрного сектора получать стабильную урожайность сельскохозяйственных культур независимо от внешних факторов. В то же время применение регуляторов роста, а также веществ, обладающих обеззараживающим эффектом, накладывает дополнительные затраты, что в конечном итоге отражается на себестоимости продукции. Использование уже имеющихся минеральных удобрений с дополнительными веществами (регуляторы роста, защиты растений и т.п.) в один прием позволит решить указанную проблему и снизить себестоимость продукции. Актуальность определяется реакцией пшеницы на мочевины, обогащенную азометином с биологически активным фрагментом тропилидена, по изменениям морфометрических параметров проростков с целью установления ростовой активности семян пшеницы и возможности использования испытуемых веществ в качестве удобрения с росторегулирующими с обеззараживающими свойствами. **Объект.** Мочевина, обогащенная азометином с биологически активным фрагментом тропилидена и яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорт Иргина. **Материалы и методы.** Исследования проведены в модельных опытах в лабораториях структурных подразделений Пермского ГАТУ. Пшеницу выращивали в чашках Петри в регулируемых условиях. Обработку результатов исследований проводили с помощью программы STATISTICA. **Результаты и выводы.** Авторами получены вещества мочевины с разными концентрациями азометина с биологически активным фрагментом тропилидена. Установлено математически доказанное ($p < 0,05$) положительное влияние испытуемых веществ на проростки яровой пшеницы сорта Иргина в концентрациях азометина 1×10^{-2} и 1×10^{-1} %. Под действием азометина, входящего в состав растворов, отмечено увеличение длины главного зародышевого корешка и ростка соответственно на 12,5-15,8 и 11,3-12,1 % (на 3 день эксперимента) и 14,6-22,4 и 8,3-8,9 % (на 7 день эксперимента). Установлено положительное влияние азометина на вариативность признаков внутри вариантов опыта.

Ключевые слова: мочевина, азометин, морфометрические параметры ростков пшеницы, регуляторы роста растений, ростовая активность пшеницы.

Цитирование. Мудрых Н. М., Акентьева Т. А., Жакова С. Н., Пинаева М. И. Изучение реакции яровой пшеницы на азометин по изменчивости параметров проростков. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 196-201. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-21.

Авторский вклад. Н. М. Мудрых – сбор и обработка материалов, анализ полученных данных, написание текста, Т. А. Акентьева – сбор и обработка материалов, написание текста, С. Н. Жакова – сбор материалов, анализ полученных данных, М. И. Пинаева – сбор материалов, анализ полученных данных.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Без применения регуляторов роста растений в сельском хозяйстве не обходится ни одно из аграрных предприятий. Они позволяют корректировать (ускорять/замедлять) всхожесть культур, процессы созревания, защиту растений и т.д. [1-4]. Регуляторы, используемые на предприятиях, имеют разную природу происхождения: биологические препараты, химические, вытяжки из растений, комплексные и т.п. [5-7]. Одними из альтернативных и потенциальных веществ, обладающих ростостимулирующим и антибактериальным эффектом, являются азометины, интерес к которым с каждым годом растет [8-11]. Яровая пшеница является культурой стратегического значения для каждого региона России, поэтому получение стабильной урожайности ее является первоочередной задачей предприятий [12-14]. По данным Росстата в Пермском крае яровая пшеница является лидирующей яровой зерновой культурой, площадь посевов на 2024 год составила 92,9 тыс. га, урожайность ее находится на уровне 13-19 ц/га, что свидетельствует о низком уровне земледелия культуры, и в том числе недостатке химизации. Совмещение применения удобрений с другими вспомогательными веществами (препаратов защиты, регуляторов роста и т.п.) позволит сэкономить на затратах на отдельные агроприемы и тем самым снизить себестоимость.

Цель исследований – оценить действие мочевины, обогащенной азометином с биологически активным фрагментом тропилидена, на ростовую активность семян яровой пшеницы.

Материалы и методы. Для придания новых свойств мочедине нами на базе лаборатории экологии и химических технологий ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ были получены вещества обогащенные азометином с биологически активным фрагментом тропилидена. Оценку реакции проростков яровой пшеницы на мочедину, обогащенную азометином, проводили на базе кафедры агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ в модельном лабораторном опыте, включающем 3 варианта, предусматривающих сравнение возрастающих концентраций азометина (1×10^{-2} и 1×10^{-1} %) с раствором мочевины. Повторность вариантов в опыте двенадцатикратная. Концентрация раствора в чашке Петри соответствовала оптимальному содержанию азота в почве для зерновых культур и составила 1,55 мг N/100 г. Тест-культура – яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорт Иргина. Зерно по 10 штук проращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге, увлажненной растворами солей согласно схеме опыта. Растения выращивали в течение 7 дней в термостате с температурой 20 ± 2 °C. В эксперименте учитывали энергию прорастания, всхожесть, на 3 и 7 день – проводили замеры длины ростка и главного зародышевого корня, на 7 день учитывали массы ростка и корней. Для возможности сравнения масс проростков пшеницы проведен перевод массы к 16 %-ой влажности для каждой повторности. Математическую обработку полученных результатов исследований проводили с использованием программы STATISTICA 10.

Результаты и обсуждение. Изучение ростовой активности на пшенице проводили с веществами (мочевина + N-2-гидроксифенил-метилден-4¹-(7-циклогепта-1,3,5-триенил)анилин). В результате механического смешивания путем стирания двух компонентов в разном соотношении получены вещества мелкокристаллической структуры, хорошо растворимые в воде (рисунок).

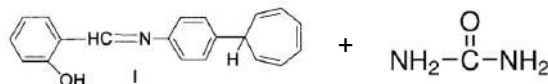


Рисунок – Мочевина + N-2-гидроксифенил-метилден-4¹-(7-циклогепта-1,3,5-триенил)анилин
Figure – The urea + N-2-hydroxyphenyl-methylene-4¹-(7-cyclohepta-1,3,5-trienyl)aniline

Исследования показали, что семена пшеницы во всех испытуемых растворах имели 100 % энергию прорастания и всхожесть. Испытуемые вещества оказывают неоднозначное влияние на морфометрические показатели проростков пшеницы (таблица 1-3).

Таблица 1 – Морфометрические параметры проростков (3 день)
Table 1 – The morphometric parameters of sprouts (3 day)

Варианты / Variants	Среднее количество зародышевых корешков / Average number of germinal roots		Длина корня / Root Length		Длина ростка / Sprout Length	
	$\bar{x}$, шт.	Cv, %	$\bar{x}$, мм	Cv, %	$\bar{x}$, мм	Cv, %
Мочевина – контроль / Urea – Control	4,6	21	41,5	56	44,0	38
Концентрация азометина в растворе – 1×10^{-2} % / Concentration of azomethine in the solution – 1×10^{-2} %	4,9	13	48,1	41	49,0	22
Концентрация азометина в растворе – 1×10^{-1} % / Concentration of azomethine in the solution – 1×10^{-1} %	4,8	14	46,8	43	49,3	26
HCP ₀₅ (LSD ₀₅)	0,1	-	3,1	-	2,0	-

Введение в состав раствора азометина к 3 дню эксперимента привело к увеличению среднего количества зародышевых корешков на 1 растении на 4-6 % относительно контроля. Варьирование длины главного зародышевого корня и ростка на контроле было максимальным. Отмечено положительное влияние азометина на варьирование признаков внутри варианта, уменьшение составило 7-16 %. На вариантах мочевины с азометином наблюдается активный рост проростков пшеницы. Математически доказанное удлинение главного корешка составило 5,3-6,6 мм, ростка – 5,0-5,3 мм.

К седьмому дню влияние азометина в растворе усилилось, особенно на развитие корешков (таблица 2).

Таблица 2 – Морфометрические параметры проростков (7 день)
Table 2 – The morphometric parameters of sprouts (7 day)

Варианты / Variants	Длина корня / Root Length		Длина ростка / Sprout Length	
	$\bar{x}$, мм	Cv, %	$\bar{x}$, мм	Cv, %
Мочевина – контроль / Urea – Control	62,5	42	126,2	30
Концентрация азометина в растворе – 1×10^{-2} % / Concentration of azomethine in the solution – 1×10^{-2} %	76,5	42	136,8	20
Концентрация азометина в растворе – 1×10^{-1} % / Concentration of azomethine in the solution – 1×10^{-1} %	71,6	41	137,4	23
HCP ₀₅ (LSD ₀₅)	4,3		4,8	

Прибавка длины главного корешка относительно варианта с мочевиной составила 9,1 и 14,0 мм (при HCP₀₅ = 4,3 мм). Вариабельность признака по вариантам опыта была значительной и на одном уровне (Cv более 40 %). Сравнивая концентрации азометина в растворах, можно сказать, что минимальная испытуемая концентрация обеспечила максимальную прибавку, разница между вариантами составила 6,8 %. Увеличение длины ростка пшеницы на вариантах с азометином относительно контроля составило 10,6-11,2 мм. При этом математически доказанной разницы между влиянием концентраций азометина на ростки установлено не было. Варьирование признака внутри варианта с растворами азометина ниже на 7-10 %.

Таблица 3 – Биомасса проростков яровой пшеницы
Table 3 – The biomass of spring wheat sprouts

Варианты / Variants	Корень / Root		Росток / Sprout	
	$\bar{x}$, мг	Cv, %	$\bar{x}$, мг	Cv, %
Мочевина – контроль / Urea – Control	91,7	5	140,0	8
Концентрация азометина в растворе – 1×10^{-2} % / Concentration of azomethine in the solution – 1×10^{-2} %	95,0	11	150,	7
Концентрация азометина в растворе – 1×10^{-1} % / Concentration of azomethine in the solution – 1×10^{-1} %	110,0	22	158,3	16
HCP ₀₅ (LSD ₀₅)	8,4	-	недостовечно / unreliable	-

В вариантах с азометином в концентрациях отмечено увеличение биомассы проростков пшеницы (при влажности 16 %), прибавка относительно контроля составила 13,3-36,6 мг (таблица 3).

Максимальная прибавка биомассы проростков яровой пшеницы отмечена в варианте с концентрацией азометина 1×10^{-1} %, в этом же варианте наблюдается наибольшее варьирование признака ($C_v = 16-22$ %). Разбавление вещества приводит к некоторому увеличению биомассы относительно контроля, прибавка математически доказана не была.

Заключение. Оценка действия мочевины, обогащенной азометином с биологически активным фрагментом тропилидена, на ростовую активность семян яровой пшеницы показала, что испытуемое соединение (мочевина + N-2-гидроксифенил-метилден-4¹-(7-циклогепта-1,3,5-триенил)анилин) в концентрациях 1×10^{-2} и 1×10^{-1} % оказывает стимулирующее действие на проростки яровой пшеницы сорта Иргина, что, по-видимому, связано с действием фрагмента тропилидена в составе азометина. Использование мочевины с азометином в испытанных концентрациях не только позволит улучшить питание растений в начальные фазы роста и развития пшеницы, но и обеспечит обеззараживание посевного материала и стимулирование ростовых процессов.

Conclusions. An assessment of the effect of urea enriched with azomethine with a biologically active tropyliden fragment on the growth activity of spring wheat seeds showed that the test compound (urea + N-2-hydroxyphenyl-methylen-4¹-(7-cyclohepta-1,3,5-trienyl)Aniline) in concentrations of 1×10^{-2} and 1×10^{-1} % has a stimulating effect on the sprouts of spring wheat of the Irgina variety, which is apparently due to the effect of the tropyliden fragment in the composition of azomethine. The use of urea with azomethine in the tested concentrations will not only improve the nutrition of plants in the initial phases of wheat growth and development, but also ensure the disinfection of the seed material and stimulate growth processes.

Библиографический список

1. Джагаева М. А., Рзаева В. В. Влияние регуляторов роста на продуктивность яровой пшеницы в северной лесостепи Тюменской области. Известия Дагестанского ГАУ. 2024. № 3 (23). С. 16-21.
2. Медведева И. Н., Чирков С. В., Упилкова Ж. А. Эффективность применения регуляторов роста из группы халконов против болезней яровых зерновых культур в Предуралье. Пермский аграрный вестник. 2022. № 1. С. 58-67.
3. Ступин А. С., Левин В. И. Комплексная антистрессовая защита зерновых культур при контрастных погодных условиях. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2024. № 6. С. 55-60.
4. Okbagabir S. G., Saquee F. S., Pakina E. N., Zargar M., Aldaibe A. A., Kholomyeva L. N. Integrated application of plant growth regulator and varieties on weed infestation: sustainable productivity of wheat in Russia. Journal of Agriculture and Environment. 2024. № 11 (51). Pp. 1-8.
5. Бобренко И. А., Кормин В. П., Попова В. И., Чернявская М. А. Влияние биопрепаратов на потребление элементов питания урожаем яровой пшеницы. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 5. С. 12-16.
6. Медведев Г. А., Екатериничева Н. Г. Реакция сортов озимой пшеницы на предпосевную обработку семян регуляторами роста в зоне каштановых почв Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 4 (82). С. 69-78.
7. Исламова Ч. М., Гореева В. Н., Корепанова Е. В., Медведева Г. Р., Фатыхов И. Ш. Действие обработки посевов жидкими комплексными удобрениями и регуляторами роста на качество зерна яровой пшеницы. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2025. Т. 17. № 1. С. 37-45.
8. Мамедова П. Ш., Мехдиева Л. А., Бабаев Э. Р. Основания Шиффа (азометины): свойства и области применения. Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. 2023. № 4 (72). С. 120-125.
9. Мехдиева Л. А., Мамедова П. Ш., Бабаев Э. Р. Биологически активные азометины и их применение. Башкирский химический журнал. 2024. Т. 31. № 2. С. 72-80.
10. Mondal P., Kumar R. Azomethine based Nano-chemicals as Antibacterials against Nitrifying Bacteria. Pesticide Research Journal. 2016. № 28 (2). Pp. 194-200.
11. Mudrykh N., Akent'eva T., Pinaeva M., Zhakova S. Synthesis of tropyrate azomethines exhibiting biological activity. BIO Web of Conferences. Methods for Synthesis of New Biologically Active Substances and Their Application in Various Industries of the World Economy – 2023: International Scientific and Practical Conference. Les Ulis, 2024. P. 01011.
12. Жаркова С.В. Влияние агротехнологии на развитие и урожайность яровой пшеницы. Современная школа России. Вопросы модернизации. 2022. № 2-1 (39). С. 21-22.
13. Кониева Г. Н., Адучиева М. Г. Анализ динамики и структуры посевной площади зерновых культур в Республике Калмыкия. Известия Дагестанского ГАУ. 2025. № 2 (26). С. 59-64.

References

1. Dzhagaeva M. A., Rzaeva V. V. Influence of growth regulators on the productivity of spring wheat in the northern forest-steppe of the Tyumen region. Daghestan SAU Proceedings. 2024. № 3 (23). Pp. 16-21.
2. Medvedeva I. N., Chirkov S. V., Upilkova Zh. A. Effectiveness of the use of growth regulators from the chalcones group against diseases of spring grain crops in Preduralie. Perm Agrarian Journal. 2022. № 1. Pp. 58-67.
3. Stupin A. S., Levin V. I. Comprehensive anti-stress protection of grain crops under contrasting weather conditions. Vestnik of the Russian Agricultural Science. 2024. № 6. Pp. 55-60.
4. Okbagabir S. G., Saquee F. S., Pakina E. N., Zargar M., Aldaibe A. A., Kholomyeva L. N. Integrated application of plant growth regulator and varieties on weed infestation: sustainable productivity of wheat in Russia. Journal of Agriculture and Environment. 2024. № 11 (51). Pp. 1-8.

5. Bobrenko I. A., Kormin V. P., Popova V. I., Chernyavskaya M. A. The effect of biologics on the consumption of nutrients by the spring wheat crop. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2025. № 5. Pp. 12-16.
6. Medvedev G. A., Yekaterinicheva N. G. The reaction of the winter wheat varieties to pre-sowing seed treatment with growth regulators in the chestnut soil area of the Volgograd region. Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: Science and higher education. 2025. № 4 (82). Pp. 69-78.
7. Islamova CH. M., Goreeva V. N., Korepanova E. V., Medvedeva G. R., Fatykhov I. SH. The effect of treatment of crops with liquid complex fertilizers and growth regulators on the quality of spring wheat grain. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2025. V. 17. № 1. Pp. 37-45.
8. Mammadova P. Sh., Mehdiyeva L. A., Babayev E. R. Schiff's bases (azomethines): properties and areas of application. Vestnik BSPU. 2023. № 4 (72). Pp. 120-125.
9. Mehdiyeva L. A., Mamedova P. Sh., Babayev E. R. Biologically active azomethines and their applications. Bashkirskii Khimicheskii Zhurnal. 2024. V. 31. № 2. Pp. 72-80.
10. Mondal P., Kumar R. Azomethine based Nano-chemicals as Antibacterials against Nitrifying Bacteria. Pesticide Research Journal. 2016. № 28 (2). Pp. 194-200.
11. Mudrykh N., Akent'eva T., Pinaeva M., Zhakova S. Synthesis of tropyrated azomethines exhibiting biological activity. BIO Web of Conferences. Methods for Synthesis of New Biologically Active Substances and Their Application in Various Industries of the World Economy – 2023: International Scientific and Practical Conference. Les Ulis, 2024. P. 01011.
12. Zharkova S. Influence of elements of agrotechnology on the development and yield of spring wheat. Modern school of Russia. Modernization issues. 2022. № 2-1 (39). Pp. 21-22.
13. Konieva G. N., Aduchieva M. G. Analysis of the dynamics and structure of the sowing area of grain crops in the Republic of Kalmykia. Daghestan Gau Proceedings. 2025. № 2 (26). Pp. 59-64.

Информация об авторах

Мудрых Наталья Михайловна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова (Российская Федерация, 614990, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23), e-mail: nata020880@hotmail.com

Акентьева Татьяна Анатольевна, кандидат химических наук, доцент, ФГБОУ ВО Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова (Российская Федерация, 614990, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23), e-mail: akentjeva-perm@yandex.ru

Жакова Светлана Николаевна, кандидат биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова (Российская Федерация, 614990, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23), e-mail: zhakova@pqsha.ru

Пинаева Мария Игоревна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова (Российская Федерация, 614990, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23), e-mail: pinaeva.mariya@mail.ru

Authors' Information

Mudrykh Natalia Mikhailovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Prianishnikov (Russian Federation, 614990, Perm, Petropavlovskaya str., 23), ORCID: 0000-0001-5855-977X, e-mail: nata020880@hotmail.com

Akent'eva Tatiana Anatolievna, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Prianishnikov (Russian Federation, 614990, Perm, Petropavlovskaya str., 23), ORCID: 0009-0004-5768-9336, e-mail: akentjeva-perm@yandex.ru

Zhakova Svetlana Nikolaevna, Candidate of Biology Sciences, Associate Professor, Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Prianishnikov (Russian Federation, 614990, Perm, Petropavlovskaya str., 23), e-mail: zhakova@pqatu.ru

Pinaeva Mariya Igorevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Prianishnikov (Russian Federation, 614990, Perm, Petropavlovskaya str., 23), ORCID: 0009-0008-4889-9277, e-mail: pinaeva.mariya@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-22

**THE ASSESSMENT OF THE IMPACT OF AGRICULTURAL AND RECLAMATION
TECHNIQUES ON THE SOIL DENSITY, PRODUCTIVITY, WATER CONSUMPTION AND
THE ECONOMIC FEASIBILITY OF THE RICE CULTIVATION USING SPRINKLING IN THE
ZONE OF THE SOUTHERN SLOPE OF THE VOLGA UPLAND**

Nevezhina A. B., Kruzhilin I. P., Rodin K. A.

*The All-Russian Research Institute of irrigated agriculture - the branch of the Federal Scientific Center for
Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: aina.kanaeva@mail.ru

Received 20.08.2025

Submitted 14.11.2025

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».

Summary

The article presents the results of research to identify the soil moisture regime in collaboration with soil treatment methods and the amount of fertilizers applied, soil density and aerobic rice yield against the background of sprinkling in the southern slope of the Volga upland.

Abstract

Introduction. When irrigation is carried out by sprinkling with a relatively high intensity of artificial rain and low water permeability of heavy and medium-sized light chestnut soils, the irrigation rate of 400 m³/ha for a layer of 0.6 m is accompanied by irrigation runoff, which sharply reduces the effectiveness of sprinkling as a method of watering crops. The purpose of the research is to scientifically substantiate the use of agro-reclamation techniques for the treatment of light chestnut heavy loamy soils in the cultivation of aerobic rice against the background of periodic irrigation by sprinkling in combination with water and food regimes. **An object.** Assessment of the effect of agro-reclamation techniques in aerobic rice crops with a different combination of water and food regimes of the soil on soil density and yield. **Materials and methods.** In 2023-2024, scientific research was carried out at the experimental base of VNII OZ on areas sown with aerobic rice of the Stalingrad 1 variety. The experiment was organized according to a three-factor scheme, including: factor A – soil moisture regime (two levels); factor B – methods of soil treatment (three options); factor C – volumes of fertilizers applied (two levels). In the course of the experiment, the methods of the general standard were applied. **Results and conclusions.** After sowing rice, an analysis of the 0.00-0.10 m soil layer revealed that the minimum density (1.15 t/m³) was observed when combining autumn plowing with spring deep loosening. The greatest compaction in the same layer (1.21 t/m³) was recorded during deep autumn loosening. By the time the grain was fully ripe, there was a general increase in soil density. In the control variant, the average density in the horizon of 0.00-0.10 m reached 1.28 t/m³. The lowest compaction relative to the control was observed with a combination of finch plowing and spring deep loosening – 1.23 t/m³. In layers 0.40-0.50 and 0.50-0.60, the compaction by the time of full ripeness practically did not differ from the indicators after sowing. The maximum yield (6.87 t/ha) under the A₂ humidification regime was achieved with a combination of options B₃ and C₂, which is 0.77 t/ha (11.5 %) higher than option A₁. The minimum total water consumption of rice was recorded with B₃ multi-depth tillage, ranging from 5576 to 5892 m³/ha, and the irrigation rate decreased up to 4600-4967 m³/ha. The combination of B₃ and C₂ under the A₁ and A₂ water regimes ensured the minimum cost of a ton of grain (15961.6-14814.7 rubles), as well as the maximum net income per hectare (95107.9-115141.8 rubles) and profitability of production (100.5-1160.0 %).

Keywords: aerobic rice, rice cultivation technologies, rice cultivation conditions, total rice water consumption, rice yield.

Citation. Nevezhina A. B., Kruzhilin I. P., Rodin K. A. The assessment of the impact of agricultural and reclamation techniques on the soil density, productivity, water consumption and the economic feasibility of the rice cultivation using sprinkling in the zone of the southern slope of the Volga Upland. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 201-210 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-22.

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 631.674.5:631.51.01

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АГРОМЕЛИОРАТИВНЫХ ПРИЕМОВ НА ПЛОТНОСТЬ ПОЧВЫ, ПРОДУКТИВНОСТЬ, РАСХОД ВОДЫ И ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ РИСА С ПРИМЕНЕНИЕМ ДОЖДЕВАНИЯ В ЗОНЕ ЮЖНОГО СКЛОНА ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

Невежина А. Б., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

Кружилин И. П., академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
главный научный сотрудник

Родин К. А., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

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».

Введение. При орошении методом дождевания на почвах светло-каштанового типа, характеризующихся тяжелым и средним гранулометрическим составом, а также низкой водопроницаемостью, применение высокой интенсивности искусственного дождя в сочетании с поливной нормой в 400 м³/га для увлажнения слоя почвы глубиной 0,6 м приводит к формированию поверхностного стока. Этот ирригационный сток существенно снижает эффективность дождевания как метода полива

сельскохозяйственных культур, поскольку вода не проникает в почву, а стекает с поверхности. **Цель исследований** заключается в разработке научного обоснования для использования агромелиоративного мероприятия при обработке светло-каштановых тяжелосуглинистых почв, для успешного культивирования аэробного риса, при котором применяется периодическое дождевальное орошение, а также оптимизируются водный и пищевой режимы растений. **Объект.** Оценка влияния агро-мелиоративных приёмов в посевах аэробного риса при разном сочетании водных и пищевых режимов почвы на плотность почвы и урожайность. **Материалы и методы.** В 2023-2024 годах на экспериментальной базе ВНИИОЗ были осуществлены научные изыскания на площадях, засеянных аэробным рисом сорта Сталинград 1. Эксперимент был организован по трехфакторной схеме, включающей: фактор А – режим увлажнения почвенного слоя (два уровня); фактор В – способы обработки почвы (три варианта); фактор С – объемы вносимых удобрений (два уровня). В ходе опыта применялись методики общего стандарта. **Результаты и выводы.** После посева риса, анализ слоя почвы 0,00-0,10 м выявил, что минимальная плотность ($1,15 \text{ т/м}^3$) наблюдалась при совмещении осенней вспашки с весенним глубоким рыхлением. Наибольшее уплотнение в этом же слое ($1,21 \text{ т/м}^3$) было зафиксировано при осеннем глубоком рыхлении. К моменту полного созревания зерна произошло общее увеличение плотности почвы. В контрольном варианте средняя плотность в горизонте 0,00-0,10 м достигла $1,28 \text{ т/м}^3$. Наименьшее уплотнение относительно контроля отмечено при сочетании зяблевой вспашки и весеннего глубокого рыхления – $1,23 \text{ т/м}^3$. В слоях 0,40-0,50 и 0,50-0,60 уплотнение к периоду полной спелости практически не отличалось от показателей после посева. Максимальная урожайность ($6,87 \text{ т/га}$) при режиме увлажнения A_2 была достигнута при комбинации вариантов B_3 и C_2 , что на $0,77 \text{ т/га}$ ($11,5 \%$) превышает показатели варианта A_1 . Минимальное суммарное водопотребление риса зарегистрировано при разноглубинной обработке почвы B_3 , варьируясь от 5576 до $5892 \text{ м}^3/\text{га}$, а оросительная норма снизилась до $4600\text{-}4967 \text{ м}^3/\text{га}$. Сочетание B_3 и C_2 при водных режимах A_1 и A_2 обеспечило минимальную себестоимость тонны зерна ($15961,6\text{-}14814,7 \text{ руб.}$), а также максимальный чистый доход с гектара ($95107,9\text{-}115141,8 \text{ руб.}$) и рентабельность производства ($100,5\text{-}1160,0 \%$).

Ключевые слова: аэробный рис, технологии возделывания риса, условия возделывания риса, суммарное водопотребление риса, урожайность риса.

Цитирование. Небезина А. Б., Кружилин И. П., Родин К. А. Оценка влияния агро-мелиоративных приемов на плотность почвы, продуктивность, расход воды и экономическую целесообразность возделывания риса с применением дождевания в зоне южного склона Приволжской возвышенности. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 201-210. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-22.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Благодаря своим высоким питательным и диетическим качествам, рис нашел широкое применение в русской кулинарии. Рисовая крупа служит основой для приготовления плова, каш, супов и множества других разнообразных блюд. Исходя из этого, в научно обоснованных рекомендациях по питанию, а также в нормах годового потребления, утвержденных Министерством здравоохранения России, на одного человека приходится 7 кг рисовой крупы [1]. Многочисленные научные работы и практический опыт показывают, что использование дождевания для орошения риса позволяет существенно (в 3-5 раз) сократить объем воды, необходимой для полива, по сравнению с традиционным затоплением рисовых чеков [1, 2, 3, 4, 5, 6]. При этом общая поливная норма составляет около $400 \text{ м}^3/\text{га}$ при увлажнении горизонта почвы в 0,6 метра. Изучение работ различных исследователей позволяет утверждать, что: «...применение дождевания, особенно при высокой интенсивности искусственного дождя на почвах с низкой водопроницаемостью (тяжелых и средних светло-каштановых), может приводить к нежелательному ирригационному стоку. Этот сток значительно снижает эффективность дождевания как метода орошения. В частности, возникает плоскостная и линейная эрозия почвы, что негативно сказывается на её химических и физических характеристиках и ведет к снижению плодородия. Кроме того, наблюдается неравномерное распределение влаги по поверхности поля, с недостаточным увлажнением возвышенностей и избыточным – низин, что, в свою очередь, отрицательно влияет на урожайность» [7, 8, 9, 10, 11]. Для достижения оптимальных условий, способствующих росту и развитию сельскохозяйственных культур, требуется механическое воздействие на почву, нацеленное на улучшение её водопоглощающей функции. Подобная агротехническая процедура представляет собой один из ключевых технологических приемов, имеющих важное значение как в агрономическом, так и в экологическом аспектах [12, 13, 14].

Цель исследований заключается в разработке научного обоснования использования агромелиоративного мероприятия при обработке светло-каштановых тяжелосуглинистых почв, успешного культивирования аэробного риса, при котором применяется периодическое дождевальное орошение, с оптимизацией водного режима почвы.

Материалы и методы. В течение 2023 и 2024 годов, на экспериментальной территории Всероссийского научно-исследовательского института орошаемого земледелия (ВНИИОЗ), проводились изыскания на рисовых полях, где выращивался сорт Сталинград 1. В качестве метода орошения применялась дождевальная система «Rainstar», представляющая собой шланг-барабанную установку. Организация полевого эксперимента осуществлялась в соответствии с трехфакторной схемой.

Исследование включало фактор А, характеризующий режим влажности почвы, с двумя вариантами: А₁ – контрольный вариант, предусматривающий снижение влажности не ниже 80 % НВ в слое почвы 0,6 м на протяжении всего периода жизни растений; А₂ – предусматривающий снижение влажности не ниже 80% НВ в слое почвы 0,4 м до завершения периода кущения, с последующим увеличением глубины промачивания до 0,6 м посредством поливов до периода созревания зерна.

В фактор В, определяющий метод обработки почвы, были включены: В₁ – контрольный вариант, состоящий в осенней вспашке плугом ПЛН-3-35 на глубину 0,25-0,27 м; В₂ – глубокое осеннее рыхление агрегатом ПЧ-2,3Н на глубину до 0,40 м; В₃ – комбинация осенней вспашки плугом ПЛН-3-35 на глубину 0,25-0,27 м с весенним глубоким рыхлением агрегатом ПЧ-2,3Н на глубину до 0,40 м.

Фактор С, отражающий объем вносимых удобрений, включал в себя два варианта: С₁ – разбрасывали удобрение, содержащее N₁₁₄P₇₄K₉₀, что соответствует плану получения 6 тонн зерна с гектара. Второй вариант (С₂) предусматривал использование удобрения с составом N₁₃₇P₇₄K₉₀, нацеленного на урожайность в 7 тонн зерна с гектара.

В ходе исследовательских работ для оценивания степени увлажнения в различные годы применялся: 2023 г. – очень засушливый и 2024 г. – засушливый.

В середине октября опытный участок разделялся на три равноценные зоны. На двух из них выполнялась зяблевая обработка земли на глубину 0,25-0,27 м. Оставшаяся треть подвергалась глубокому осеннему рыхлению с применением плуга ПЧ-2,3Н на глубину до 0,40 м, с интервалом между стойками в 60 см. Весной, когда почва достигала физической зрелости (28 марта 2023 г. и 15 апреля 2024 г.), проводилось боронование в два прохода зубowymi боронами. На предварительно отведенных площадях 5 мая было произведено ручное внесение минеральных удобрений, дозировка которых определялась потребностями растений в основных питательных веществах и с учетом их исходного уровня в почве после предшествующей культуры. Инкорпорация удобрений осуществлялась с помощью доминатора «Румпстад» на глубину, соответствующую глубине посева семян, а именно 0,6-0,8 метра.

Эксперимент проводился в трехкратной повторности. Учетная площадь делянки для оценки водного режима составляла 480 м², для различных глубин обработки – 160 м², а для доз удобрений – 80 м². Закладка опыта осуществлялась в соответствии с методикой Б. А. Доспехова (1985) с использованием систематического расположения вариантов. Водопроницаемость почвы определялась по методике, разработанной Вадюниной А. Ф. и Корчагиной З. А. (1986).

В альтернативном методе почвообработки (В₃) осенью производилась вспашка под зябь, а весной, непосредственно перед посевом, осуществлялось глубокое рыхление грунта на глубину до 0,40 м. Данная операция выполнялась с применением плуга ПЧ-2,3Н, конструктивной особенностью которого является размещение стоек на дистанции 0,6 м одной от другой.

В третьем варианте обработки почвы (В₃), осенью осуществлялась зяблевая вспашка, а весной, непосредственно перед посевом, проводилось глубокое рыхление почвы на глубину до 40 см. Для этой цели использовался плуг ПЧ-2,3Н, у которого стойки располагались на расстоянии 0,6 м друг от друга (рисунок 1). Посев сельскохозяйственной культуры проводился 7 мая 2023 года и 6 мая 2024 года. В качестве посевного агрегата применялась сеялка СН-16. После завершения посева, для улучшения контакта семян с почвой, проводилось прикатывание с использованием катков ЗКК-6.



Рисунок 1 – Глубокая обработка почвенного слоя с использованием плуга чизельной модели ПЧ-2,3Н (автор фото К. А. Родин)

Figure 1 – Deep tillage of the soil layer using a chisel plow model PCH-2,3N (photo by K. A. Rodin)

Норма посева семян была установлена на уровне 5 миллионов единиц на гектар. Измерение влажности почвы осуществлялось с использованием влагомера Aquaterr T-350.

Уборка урожая риса проводилась с применением селекционного зерноуборочного комбайна модели «Сампо-130». Работы выполнялись в период достижения зерном фазы полной зрелости посредством прямого комбайнирования.

Результаты и обсуждение. На рисунке 2 наглядно показаны изменения в плотности почвы после посева риса. В слоях почвы от 0,0 до 0,6 метра средние показатели плотности колеблются от 1,15 до 1,53 т/м³, что обусловлено выбранной технологией обработки почвы.

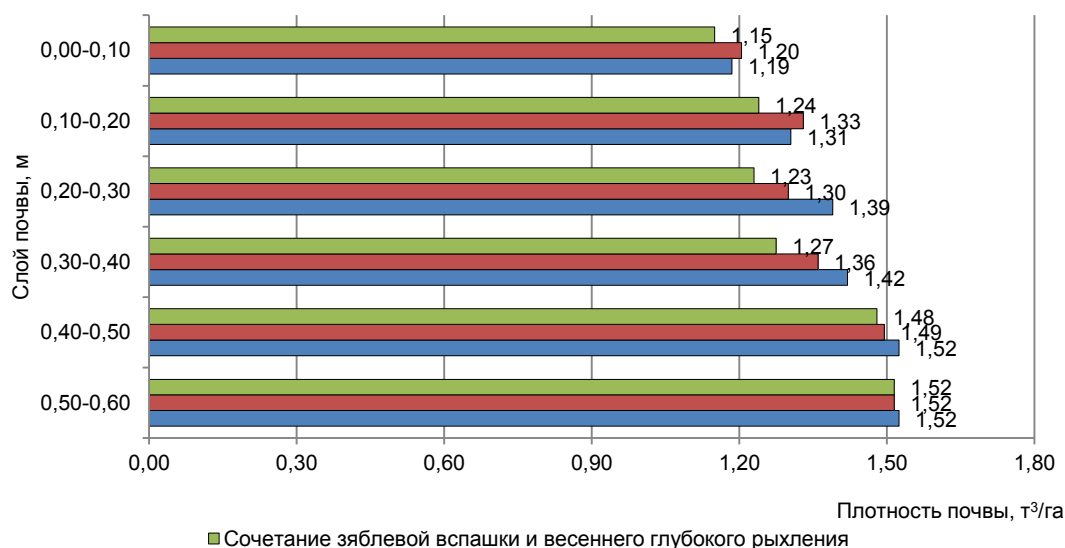


Рисунок 2 – Усредненные показатели плотности почвы, зафиксированные в 2023-2024 гг. после посева риса, в зависимости от применяемого метода обработки (при водном режиме, обеспечивающем 80 % наименьшей влагоемкости в слое 0,6 м)

Figure 2 – The average values of soil density recorded in 2023-2024 after rice sowing, depending on the treatment method used (with a water regime providing 80 % of the lowest moisture capacity in a 0.6 m layer)

В самом верхнем почвенном слое (0,00-0,10 м) минимальная плотность, достигавшая 1,15 т/м³, была отмечена при комбинации зяблевой обработки и весеннего глубокого рыхления. При использовании исключительно осенней вспашки под рисовую культуру,

данный параметр демонстрировал незначительное увеличение, составляя $1,19 \text{ т/м}^3$. Наибольшая степень уплотнения в рассматриваемом слое, достигавшая $1,21 \text{ т/м}^3$, была зафиксирована при осеннем глубоком рыхлении.

В почвенном горизонте 0,20-0,30 м максимальная плотность почвы, достигавшая $1,39 \text{ т/м}^3$, наблюдалась при зяблевой вспашке. В первых двух вариантах почвообработки плотность была ниже, составляя 1,23 и $1,30 \text{ т/м}^3$, соответственно. На глубинах 0,40-0,50 м и 0,50-0,60 м показатели плотности почвы практически нивелировались между всеми вариантами обработки.

К моменту достижения зерном полной зрелости наблюдалось увеличение плотности почвы во всех исследуемых вариантах обработки (рисунок 3, 4).

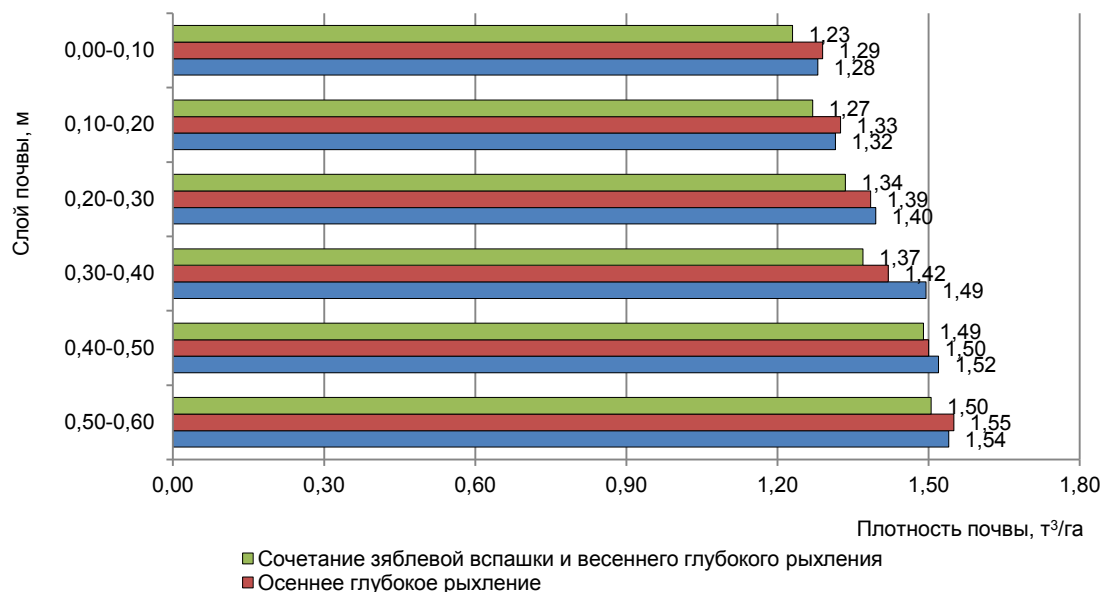


Рисунок 3 – Плотность почвы по вариантам обработки в период полной спелости зерна риса (водный режим почвы 80 % НВ в слое 0,6 м, усреднённые значения за 2023-2024 гг.)
Figure 3 – Soil density according to treatment options during the period of full ripeness of rice grains (soil water regime of 80 % НС in a layer of 0.6 m, average values for 2023-2024)

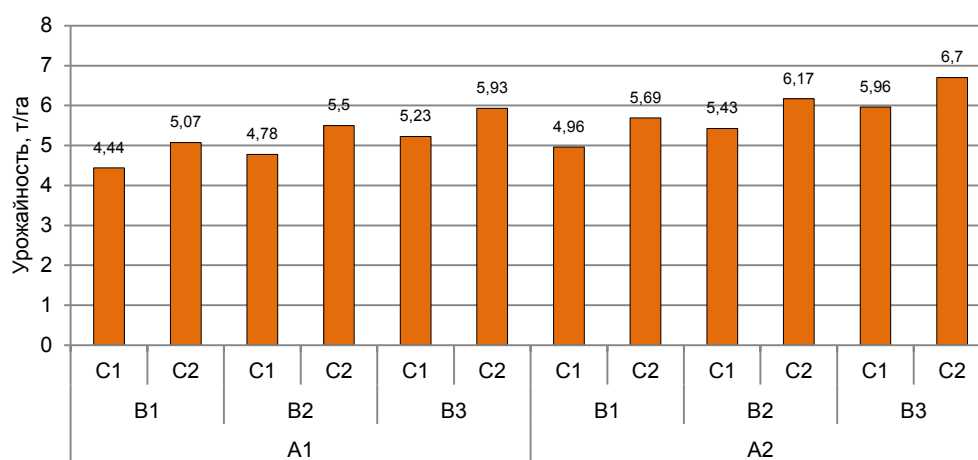


Рисунок 4 – Оценка плотности почвенного слоя на этапе окончательного созревания зерна (автор фото К. А. Родин)

Figure 4 – Estimation of the density of the soil layer at the stage of final grain maturation (photo by K. A. Rodin)

В контрольном образце средняя плотность почвы в верхнем слое (0,00-0,10 м) была зафиксирована на уровне 1,28 т/м³. После осенней глубокой обработки почвы зафиксировано увеличение плотности до 1,29 т/м³. Наименьшее уплотнение, в сравнении с контрольным участком, наблюдалось при комбинации зяблевой вспашки и весеннего глубокого рыхления, где показатель составил 1,23 т/м³. Плотность почвы изменялась, достигая максимальных значений (1,40 т/м³) после посева, особенно в слое 0,20-0,30 м при зяблевой вспашке. В более глубоких слоях (0,40-0,50 и 0,50-0,60 м) уплотнение в период полной зрелости, по сравнению с замерами после посева риса, практически не отличалось.

Как демонстрирует рисунок 5, минимальный урожай зерна (4,44 т/га) был получен при водном режиме почвы А₁ в сочетании с вариантами В₁ и С₁. Увеличение дозы удобрений (С₂) при разноглубинной обработке почвы (В₃) в рамках данного водного режима способствовало росту урожайности до 5,93 т/га. Наибольшая урожайность (6,87 т/га) при увлажнении А₂ была достигнута при совместном использовании вариантов В₃ и С₂. Это привело к увеличению урожая на 0,77 т/га, или на 11,5 %, по сравнению с вариантом увлажнения А₁.



Варианты опыты

Рисунок 5 – Урожайность риса по вариантам опыта (усреднённые значения за 2023-2024 гг.)

Figure 5 – Rice yield according to experimental options (average values for 2023-2024)

Проведенный дисперсионный анализ результатов трехфакторного полевого исследования выявил значительное увеличение урожайности зерна в зависимости от исследуемых факторов: режимов орошения (A), методов обработки почвы (B) и уровней внесения удобрений (C). Величина наименьшей существенной разности (НСР_{0,5}) для каждого фактора составила: для A – 0,22 т/га (в 2023 г.) и 0,20 т/га (в 2024 г.), для B – 0,23 т/га (в 2023 г.) и 0,21 т/га (в 2024 г.), для C – 0,21 т/га (в 2023 г.) и 0,19 т/га (в 2024 г.). Влияние одновременного сочетания всех трех факторов (ABC) также было значительным, с НСР_{0,5} равной 0,31 т/га (в 2023 г.) и 0,27 т/га (в 2024 г.).

Таблица 1 – Структура суммарного водопотребления риса (усредненные данные за 2023-2024 гг.)

Table 1 – Structure of total rice water consumption (average data for 2023-2024)

Водный режим почвы / Water regime of the soil	Обработка почвы / Tillage	Оросительная вода / Irrigation water		Атмосферные осадки / Atmospheric precipitation		Запасы почвенной влаги / Soil moisture reserves		Суммарное водопотребление / Total water consumption	
		м ³ /га / м ³ /ha	%	м ³ /га / м ³ /ha	%	м ³ /га / м ³ /ha	%	м ³ /га / м ³ /ha	%
A ₁	B ₁	5200	81,5	917	14,4	262	4,1	6379	100,0
A ₂		5567	83,5		13,8	185	2,8	6669	100,0
A ₁	B ₂	4900	82,6		15,5	113	1,9	5930	100,0
A ₂		5267	83,9		14,6	96	1,5	6280	100,0
A ₁	B ₃	4600	82,5		16,4	59	1,1	5576	100,0
A ₂		4967	84,3		15,6	8	0,1	5892	100,0

На основании данных, представленных в таблице 1, установлено, что максимальное суммарное потребление воды наблюдалось при использовании метода обработки почвы В₁. Этот показатель варьировался от 6379 до 6669 м³/га в зависимости от режима орошения, при этом норма полива составляла от 5200 до 5567 м³/га.

В результате применения альтернативного метода обработки почвы, испарение влаги с поверхности земли и транспирация растениями снизились и находились в диапазоне от 5930 до 6280 кубических метров на гектар. При этом количество воды, затраченное на орошение, составило от 4900 до 5267 кубических метров на гектар.

Самый низкий общий расход воды на выращивание риса зафиксирован при разнотравной обработке почвы (вариант В₃), где суммарное водопотребление варьировалось от 5576 до 5892 м³/га, а норма орошения сократилась до 4600-4967 м³/га.

На основе технологических карт были определены затраты на производство риса при использовании дождевальной установки. Расчёты производились с учетом рыночных цен, актуальных для второй половины 2024 года. Цена реализации одной тонны риса-сырца, применявшаяся в расчетах, составляла 30 000,0 руб.

Как видно из таблицы 2, при сочетании режимов водного режима почвы А₁ и А₂ с вариантами обработки В₁ и С₁, были получены самые высокие показатели себестоимости зерна – от 17968,2 до 18999,6 руб./т, при этом чистая прибыль и рентабельность оказались минимальными – 55693,8-69597,9 руб./га и 64,5-78,1 % соответственно. При тех же режимах водного режима, но в комбинации с В₂ и С₂, экономические показатели, такие как чистый доход и рентабельность, продемонстрировали рост, достигнув значений от 85661,7 до 102071,5 руб./га и от 94,8 до 107,0 % соответственно. Однако себестоимость тонны зерна в этом варианте снизилась до 16425,1-15456,8 руб.

Таблица 2 – Экономическая целесообразность культивирования риса в различных экспериментальных условиях

Table 2 – Economic feasibility of rice cultivation under various experimental conditions

Водный режим почвы / Water regime of the soil	Способ обработки почвы / The method of tillage	Дозы удобрений / Fertilizer doses	Урожайность клубней, т/га / Tuber yield, t/ha	Затраты производства на 1 га, руб. / Production costs per 1 ha, rub.	Стоимость продукции, руб./га / Cost of production, RUB/ha	Себестоимость 1 т, руб. / Cost of 1 ton, rub.	Чистый доход на 1 га, руб. / Net income per 1 ha, rub.	Рентабельность, % / Profitability, %
А ₁	В ₁	С ₁	4,44	84 358,10	142080	18999,6	55693,8	64,5
		С ₂	5,07	86 386,20	162240	17038,7	73411,9	82,6
	В ₂	С ₁	4,78	88 828,10	152960	18583,3	64131,9	72,2
		С ₂	5,50	90 338,30	176000	16425,1	85661,7	94,8
	В ₃	С ₁	5,23	92 548,40	167360	17695,7	74811,6	80,8
		С ₂	5,93	94 652,10	189760	15961,6	95107,9	100,5
А ₂	В ₁	С ₁	4,96	89 122,10	158720	17968,2	69597,9	78,1
		С ₂	5,69	91 296,10	182080	16045,0	90783,9	99,4
	В ₂	С ₁	5,43	93 287,60	173760	17180,0	80472,4	86,3
		С ₂	6,17	95 368,50	197440	15456,8	102071,5	107,0
	В ₃	С ₁	5,96	97 828,10	190720	16414,1	92891,9	95,0
		С ₂	6,70	99 258,20	214400	14814,7	115141,8	116,0

При комбинации В₃ и С₂ при тех же водных режимах себестоимость одной тонны зерна сложилась наименьшей и составляла 15961,6-14814,7 руб., а чистый доход на один гектар и рентабельность производства зерна наибольшими и составили соответственно 95107,9-115141,8 руб. и 100,5-1160,0 %.

Заключение. После посадки риса, наименьшая плотность почвы (1,15 т/м³) в верхнем слое (0,00-0,10 м) была зафиксирована при совмещении осенней вспашки и весеннего глубокого рыхления. При использовании только осенней вспашки, плотность оказалась выше – 1,19 т/м³. Наибольшее уплотнение в этом слое (1,21 т/м³) наблюдалось при осеннем глубоком рыхлении. В слое 0,20-0,30 м максимальная плотность (1,39 т/м³) была отмечена при осенней вспашке, в то время как при использовании других методов обработки почвы плотность была ниже (1,23 и 1,30 т/м³ соответственно). К моменту полного созревания зерна плотность почвы увеличилась во всех вариантах обработки. В контрольном варианте средняя плотность в горизонте 0,00-0,10 м составила 1,28 т/м³. При осеннем глубоком рыхлении плотность была не-

сколько выше – 1,29 т/м³. Минимальное увеличение плотности, по сравнению с контролем, наблюдалось при сочетании осенней вспашки и весеннего глубокого рыхления (1,23 т/м³). В слое 0,20-0,30 м плотность также была максимальной (1,40 т/м³) при осенней вспашке. В слоях 0,40-0,50 и 0,50-0,60 значительных изменений в плотности почвы в период полной спелости, по сравнению с периодом после посева, не произошло. Максимальный выход продукции (6,87 т/га) был зафиксирован при одновременном воздействии факторов В₃ и С₂ при режиме орошения А₂, превосходя результаты при режиме А₁ на 0,77 т/га, что составляет 11,5 % в относительном выражении. Минимальный общий расход воды на культивирование риса отмечен при разноглубинной обработке грунта В₃ (от 5576 до 5892 м³/га), при этом объем орошения был сокращен до 4600-4967 м³/га. Наибольшая урожайность (6,87 т/га) была достигнута при сочетании факторов В₃ и С₂ в условиях увлажнения А₂, что на 0,77 т/га или 11,5 % больше, чем при увлажнении А₁. Самое низкое суммарное водопотребление риса наблюдалось при разноглубинной обработке почвы В₃ (от 5576 до 5892 м³/га), при этом оросительная норма снизилась до 4600-4967 м³/га. При комбинации В₃ и С₂ в водных режимах А₁ и А₂ себестоимость тонны зерна была наименьшей (15961,6-14814,7 руб.), а чистый доход с гектара и рентабельность производства зерна – наибольшими (95107,9-115141,8 руб. и 100,5-1160,0 % соответственно).

Conclusions. After rice planting, the lowest soil density (1.15 t/m³) in the upper layer (0.00-0.10 m) was recorded when combining autumn plowing and spring deep loosening. When using only autumn plowing, the density turned out to be higher – 1.19 t/m³. The greatest compaction in this layer (1.21 t/m³) was observed during deep autumn loosening. In the 0.20-0.30 m layer, the maximum density (1.39 t/m³) was observed during autumn plowing, while using other tillage methods, the density was lower (1.23 and 1.30 t/m³, respectively). By the time the grain is fully ripe, the soil density has increased in all treatment options. In the control variant, the average density in the horizon of 0.00-0.10 m was 1.28 t/m³. With autumn deep loosening, the density was slightly higher – 1.29 t/m³. A minimal increase in density, compared with the control, was observed with a combination of autumn plowing and spring deep loosening (1.23 t/m³). In the 0.20-0.30 m layer, the density was also maximum (1.40 t/m³) during autumn plowing. In layers 0.40-0.50 and 0.50-0.60, there were no significant changes in soil density during the period of full ripeness, compared with the period after sowing. The maximum output (6.87 t/ha) was recorded under the simultaneous influence of factors В₃ and С₂ under the А₂ irrigation regime, exceeding the results under the А₁ regime by 0.77 t/ha, which is 11.5 % in relative terms. The minimum total water consumption for rice cultivation was noted for multi-depth tillage in В₃ (from 5576 to 5892 м³/ha), while the volume of irrigation was reduced to 4600-4967 м³/ha. The highest yield (6.87 t/ha) was achieved with a combination of factors В₃ and С₂ in А₂ humidification conditions, which is 0.77 t/ha or 11.5 % more than with А₁ humidification. The lowest total water consumption of rice was observed during multi-depth tillage in 3 (from 5576 to 5892 м³/ha), while the irrigation rate decreased to 4600-4967 м³/ha. With the combination of В₃ and С₂ in the А₁ and А₂ water regimes, the cost of a ton of grain was the lowest (15961.6-14814.7 rubles), and net income per hectare and profitability of grain production were the highest (95107.9-115141.8 rubles and 100.5-1160.0 %, respectively).

Библиографический список

1. Кружилин И. П., Новиков А. Е., Дубенок Н. Н. Обоснование водного режима почвы и регламента поливов аэробного риса. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 1. С. 62-66.
2. Кружилин И. П., Ганиев М. А., Кузнецова Н. В., Родин К. А. Динамика суммарного водопотребления и урожайность периодически увлажняемого риса при дождевании и капельном поливе в Волгоградской области. Известия НВ АУК. 2018. № 3 (51). С. 34-42.
3. Rodin K. A., Nevezhina A. B. Influence of the water and food regime of the soil on the yield of rice varieties during sprinkling in the lower Volga region. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2022. V. 965. P. 012015.
4. Родин К. А., Невежина А. Б., Нарушев В. Б. Продуктивность разных по спелости сортов риса при поливе дождеванием. Аграрный научный журнал. 2020. № 10. С. 56-58.
5. 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.
6. Бабичев А. Н., Бабенко А. А. Анализ использования дифференцированного подхода при орошении сельскохозяйственных культур. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 4 (40). С. 182-204. <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1166>
7. Бабичев А. Н., Докучаева Л. М., Юркова Р. Е. Изменение свойств почв комплексного покрова полупустынной зоны под влиянием орошения. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 1 (37). С. 105-121. <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=646&id=653>
8. Манжина С. А., Домашенко Ю. Е., Комарова Е. В. К вопросу планирования эксперимента при проведении натурных исследований поверхностного стока с сельскохозяйственных полей. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 4 (40). С. 39-57. <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1158>
9. Browning T. N., Sawyer D. E. Vulnerability to watershed erosion and coastal deposition in the tropics. Scientific Reports. 2021. Vol. 11. I. 1. 11 p.
10. Jin F. et al. Effects of vegetation and climate on the changes of soil erosion in the Loess Plateau of China. Science of the Total Environment. 2021. V. 773. No 145514. 12 p.

11. Яковлева Е. П. Негативные свойства агроэкосистем юга европейской части России и стратегия мелиоративных мероприятий. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 60. С. 345-349.
12. Li Q., Zhou Y., Wang L., Zuo Q., Yi S., Liu J., Su X., Xu T., Jiang Y. The Link between Landscape Characteristics and Soil Losses Rates over a Range of Spatiotemporal Scales: Hubei Province, China. *Int J Environ Res Public Health*. 2021. No 18 (21). P. 11044.
13. Deng Y., Jia L., Guo Y., Li H., Yao S., Chu L., Lu W., Hou M., Mo B., Wang Y., Yang H., Zhang T. Evaluation of the Ecological Effects of Ecological Restoration Programs: A Case Study of the Sloping Land Conversion Program on the Loess Plateau, China. *Int J Environ Res Public Health*. 2022. No 19 (13). P. 7841.
14. Zhao J., Feng X., Deng L., Yang Y., Zhao Z., Zhao P., Peng C., Fu B. Quantifying the Effects of Vegetation Restorations on the Soil Erosion Export and Nutrient Loss on the Loess Plateau. *Front Plant Sci*. 2020. No 27. Pp. 115-126.

References

1. Kruzhilin I. P., Novikov A. E., Dubenok N. N. Substantiation of the soil water regime and regulations for irrigation of aerobic rice. *Bulletin of Russian Agricultural Science*. 2021. No. 1. Pp. 62-66.
2. Kruzhilin I. P., Ganiev M. A., Kuznetsova N. V., Rodin K. A. Dynamics of total water consumption and yield of periodically moistened rice during sprinkling and drip irrigation in the Volgograd region. *Proceedings of the LV AUC*. 2018. № 3 (51). Pp. 34-42.
3. Rodin K. A., Nevezhina A. B. Influence of the water and food regime of the soil on the yield of rice varieties during sprinkling in the lower Volga region. *IOP Conf. Ser.: Earth Environment. Sci*. 2022. V. 965. No. 012015.
4. Rodin K. A., Nevezhina A. B., Perezhev V. B. Productivity of rice varieties of different ripeness during irrigation by sprinkling. *Agrarian Scientific Journal*. 2020. No. 10. Pp. 56-58.
5. Rodin K. A., Nevezhina A. B., Vorontsova E. S. The effect of growth preparations on rice reaction rates during sprinkling. *Proceedings of the LV AUC*. 2021. № 4 (64). Pp. 97-105.
6. Babichev A. N., Babenko A. A. Analysis of the use of a differentiated approach in irrigation of agricultural crops. *Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems*. 2020. No. 4 (40). Pp. 182-204. <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1166>
7. Babichev A. N., Dokuchaeva L. M., Yurkova R. E. Changes in soil properties of the complex cover of the semi-desert zone under the influence of irrigation. *Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems*. 2020. No. 1 (37). Pp. 105-121. <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=646&id=653>
8. Manzhina S. A., Domashenko Yu. E., Komarova E. V. On the issue of experiment planning during field studies of surface runoff from agricultural fields. *Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems*. 2020. No. 4 (40). Pp. 39-57. <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1158>
9. Browning T. N., Sawyer D. E. Vulnerability to watershed erosion and coastal deposition in the tropics. *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11. 1. 11 p.
10. Jin F. et al. Effects of vegetation and climate on the changes of soil erosion in the Loess Plateau of China. *Science of the Total Environment*. 2021. V. 773. No 145514. 12 p.
11. Yakovleva E. P. Negative properties of agroecosystems in the south of the European part of Russia and the strategy of land reclamation measures. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2016. No. 60. Pp. 345-349.
12. Li Q., Zhou Y., Wang L., Zuo Q., Yi S., Liu J., Su X., Xu T., Jiang Y. The Link between Landscape Characteristics and Soil Losses Rates over a Range of Spatiotemporal Scales: Hubei Province, China. *Int J Environ Res Public Health*. 2021. No 18 (21). P. 11044.
13. Deng Y., Jia L., Guo Y., Li H., Yao S., Chu L., Lu W., Hou M., Mo B., Wang Y., Yang H., Zhang T. Evaluation of the Ecological Effects of Ecological Restoration Programs: A Case Study of the Sloping Land Conversion Program on the Loess Plateau, China. *Int J Environ Res Public Health*. 2022. No 19 (13). P. 7841.
14. Zhao J., Feng X., Deng L., Yang Y., Zhao Z., Zhao P., Peng C., Fu B. Quantifying the Effects of Vegetation Restorations on the Soil Erosion Export and Nutrient Loss on the Loess Plateau. *Front Plant Sci*. 2020. No 27. Pp. 115-126.

Информация об авторах

Невежина А. Б., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, 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, e-mail: aina.kanaeva@mail.ru

Кружилин И. П., академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, 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, e-mail: vnioz@yandex.ru;

Родин К. А., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, 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, <https://orcid.org/0000-0003-3808-2729>, e-mail: rodin.ka@yandex.ru

Authors' Information

Nevezhina A. B., Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, The All -Russian Research Institute of irrigated agriculture - the branch of the Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev Str., 9), e-mail: aina.kanaeva@mail.ru

Kruzhilin I. P., Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher, The All -Russian Research Institute of irrigated agriculture - the branch of the Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev Str., 9), e-mail: vnioz@yandex.ru

Rodin K. A., Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, The All -Russian Research Institute of irrigated agriculture – the branch of the Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev Str., 9), <https://orcid.org/0000-0003-3808-2729>, e-mail: rodin.ka@yandex.ru

THE EFFECT OF MINERAL NUTRITION ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF THE PLUM VARIETIES**Nikolskaya O. A., Solonkin A. V., Kikteva E. N., Kasyanova G. V.***Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: nikolskaya-o@vfanc.ru

Received 07.02.2025

Submitted 11.10.2025

The research was carried out within the framework of the state assignment of the Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences: 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 abiostressors using classical and modern breeding methods, new innovative technologies in nursery and seed production, for addressing the challenges of preventing degradation and desertification of agricultural landscapes in a changing climate".

Summary

The article presents the results of the selection and influence of optimal doses of macronutrients in garden plum plantations. The research results demonstrated a significant effect of top dressing on the growth, yield and quality of plums. In general, a balanced diet that takes into account the needs of the plant at different stages of development are the most effective for obtaining high and high-quality plum yields.

Abstract

Introduction. The use of mineral nutrition on fruit crops is an important agrotechnological technique, since proper application of mineral fertilizers has a positive effect on plant growth and development, contributing to increased yields, improved fruit quality and resistance to diseases. The article presents the results of research on the effect of mineral nutrition, depending on dosage, on biometric indicators and yield of domestic plum in the Lower Volga region. **Relevance.** The increase in the production of fruits and berries to a deficit-free volume for commercial consumption and industrial processing is associated with the need to expand the area of fruit plantations, as well as the transition of the horticultural industry to intensive technologies of gardening. Proper mineral nutrition is one of the key elements in the intensification of fruit production. In this regard, the study of the effect of various doses of mineral fertilizers on the productive and qualitative indicators of fruit crops, and in particular stone crops, is an urgent task. **The object** of research was varieties of domestic plum – Hungarian Korneevskaya and Stanley, planted in 2019 on the territory of the Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, in the Dubovsky district of the Volgograd region. **Materials and methods:** the assessment of the effect of various doses of mineral nutrition was carried out according to generally accepted methods. **The research results** have shown that not all selected doses of mineral fertilizers have a positive effect and can increase the yield and quality of fruits. In our studies, the maximum positive effect was observed with the use of high doses of mineral fertilizers at the rate of N198P180K198/ha according to a.s., while the maximum doses of mineral fertilizers N264P240K264/ha according to a.s. did not show the expected positive effect, and in some varieties did not exceed the values for the variant with the application of medium doses of mineral fertilizers N132P120K132/ga according to a.s. Varietal characteristics also play an important role in determining the different degrees of response to mineral nutrition. In particular, "Vengerka Korneevskaya" demonstrated a more pronounced positive response to moderate increases in nutrition levels, resulting in greater shoot growth and increased fruit weight. "Stanley", on the other hand, was less sensitive to changes in nutrition levels, highlighting the need for an individualized approach to each variety when developing fertilizer schemes. Despite the fact that a high level of mineral nutrition had a positive effect on the sugar content of Stanley fruits, the maximum yield for both varieties was achieved at an average level of nutrition. This confirms that a balanced diet that takes into account the plant's needs at different stages of development is the most effective way to achieve high-quality plum yields.

Keywords: Plum variety, plum fruit quality, plum mineral nutrition, plum yield.

Citation. Nikolskaya O. A., Solonkin A. V., Kikteva E. N., Kasyanova G. V. The effect of mineral nutrition on the growth and development of the plum varieties. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 211-219 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-23.

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 631.811:634.22

**ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ СОРТОВ
СЛИВЫ ДОМАШНЕЙ****Никольская О. А., кандидат сельскохозяйственных наук****Солонкин А. В., доктор сельскохозяйственных наук****Киктева Е. Н., научный сотрудник****Касьянова Г. В., лаборант-исследователь**

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 ФНЦ агроэкологии РАН ГЗ: 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».

Аннотация. Применение минерального питания на плодовых культурах является важным агротехнологическим приемом, так как правильное внесение минеральных удобрений оказывает положительное влияние на рост и развитие растений, способствуя увеличению урожайности, улучшению качества плодов и устойчивости их к заболеваниям. В статье представлены результаты исследований по влиянию минерального питания в зависимости от дозирования, на биометрические показатели и урожайность сливы домашней в Нижнем Поволжье. **Актуальность.** Увеличение производства плодов и ягод до бездефицитного объема для товарного потребления и промышленной переработки связано с необходимостью, как расширения площади плодовых насаждений, так и перехода отрасли садоводства на интенсивные технологии возделывания садов. Правильное минеральное питание является одним из ключевых элементов интенсификации производства плодово-ягодной продукции. В связи с этим, изучение влияния различных доз минеральных удобрений на продуктивные и качественные показатели плодовых, и в частности, косточковых культур, является актуальной задачей. **Объектом** исследований были сорта сливы домашней – Венгерка Корнеевская и Стенлей, 2019 года посадки, высаженные на территории ФНЦ агроэкологии РАН, в Дубовском районе Волгоградской области. **Материалы и методы:** оценка влияния различных доз минерального питания проводилась по общепринятым методикам. **Результаты исследований** показали, что не все подобранные дозы минеральных удобрений оказывают положительный эффект и позволяют повысить урожайность и качество плодов. В наших исследованиях максимальный положительный эффект отмечен при применении высоких доз минеральных удобрений нормой N198P180K198/га по д.в., в то время как максимальные дозы минеральных удобрений N264P240K264/га по д.в., не показали ожидаемого положительного эффекта, а на некоторых сортах и не превышали показатели варианта с внесением средних доз минеральных удобрений N132P120K132/га по д.в. Сортные особенности также играют важную роль, определяя разную степень отзывчивости на минеральное питание. В частности, "Венгерка Корнеевская" продемонстрировала более выраженную положительную реакцию на умеренное повышение уровня питания, отражаясь в большем приросте побегов и увеличении веса плодов. "Стенлей", напротив, оказался менее чувствительным к изменениям уровня питания, что подчеркивает необходимость индивидуального подхода к каждому сорту при разработке схем удобрения. Несмотря на то, что высокий уровень минерального питания положительно влиял на сахаристость плодов "Стенлей", максимальная урожайность для обоих сортов была достигнута при среднем уровне питания. Это подтверждает, что сбалансированное питание, учитывающее потребности растения на разных этапах развития, является наиболее эффективным для получения высоких и качественных урожаев сливы.

Ключевые слова: сорт сливы, качество плодов сливы, минеральное питание сливы, урожайность сливы.

Цитирование. Никольская О. А., Солонкин А. В., Киктева Е. Н., Касьянова Г. В. Влияния минерального питания на рост и развитие сортов сливы домашней. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 211-219. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-23.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Минеральное питание играет ключевую роль в формировании урожайности растений, в том числе плодовых культур [1, 2]. Изучение влияния минерального питания на рост и развитие деревьев, их качественные и количественные характеристики, является важной задачей в области экологии, лесоведения и агрономии. Ученые в своих работах исследуют, как различные минеральные элементы, такие как азот, фосфор, калий и микроэлементы, влияют на фотосинтез, дыхание, развитие корневой системы, общую продуктивность и качество плодов [3]. Минеральное питание плодовых растений – это обширная область, изучению которой посвятили свои работы многие ученые, как зарубежные, так и отечественные. В исследование взаимосвязи питания и растений внесли огромный вклад такие ученые, как Руденко С. И., Степанов А. Д., Дьяченко В. Н., Бурмакин И. В., Рязанов И. П., работавшие в области физиологии и питания плодово-ягодных культур. Эти специалисты занимались не только теоретическими аспектами, но и практическим изучением минерального питания для повышения урожайности плодовых деревьев. В своих работах они доказали, что каждый элемент минерального питания оказывает определенное влияние на различные части растений, способствуя полноценному его росту и развитию [4]. При этом важным аспектом является правильный баланс макро- и микроэлементов, ведь как недостаток того или иного элемента может привести к угнетению и слабому развитию растения, так и избыток может способствовать ослаблению физиологических процессов, так большинство макроэлементов являются антагонистами [5, 6, 7, 9]. Микроэлементы, такие как бор, медь, цинк, марганец, железо и др., также играют огромную роль в различных процессах жизнедеятельности, и их недостаток оказывает значительное влияние на развитие и здоровье растений, вегетативных и генеративных органов [8].

Одним из ключевых факторов при внесении удобрений являются условия окружающей среды, так как эффективность минерального питания зависит от окружающей температуры, типа и влажности почвы, содержания минеральных веществ в почве и других условий [10].

Помимо внешних условий, не маловажным является отзывчивость самого сорта и его реакция на минеральное питание, что может выражаться как в существенном повышении урожайности и качества, так и незначительном [11-14]. Несмотря на очевидную пользу минерального питания при возделывании плодовых, и, в частности, косточковых, культур, некоторые ученые-садоводы не смогли получить убедительных результатов при изучении влияния минеральных удобрений в различных почвенно-климатических зонах. Влияние минеральных удобрений напрямую зависит от нормы, сроков и условий внесения [15, 16, 17].

В связи с неоднозначными данными по влиянию минеральных удобрений на косточковые культуры, и, в частности, сливы, возникла необходимость подобрать и изучить нормы минеральных удобрений в насаждениях сливы и их влияние на качественные и количественные характеристики разных сортов в засушливых условиях Волгоградской области.

Материалы и методы исследований. Исследования проводились на участке ФНЦ агроэкологии РАН, расположенном на территории Дубовского района Волгоградской области, в 2023 и 2024 году. Площадь опытного участка сливы 1 га, все растения размещены по схеме 5х2 м, год посадки – 2019. Технологические мероприятия, проводимые в течение вегетации, включали в себя обработку почвы в междурядьях (культивация, боронование), деревьев от болезней и вредителей, борьбу с сорной растительностью в рядах посредством гербицидов. Участок орошаемый. Полив капельный, через капельные трубки, проложенные в каждом ряду, каждая трубка присоединена к магистральному водопроводу через кран, чтобы можно было регулировать полив каждого ряда отдельно. Капельные трубки многолетние, толщиной 30 милс, эмиттеры не компенсируемые, расположены через каждые 0,5 м. Орошение регулярное, нормой 100-150 м³/га за один полив в зависимости от погодных условий, годовая норма полива – 3000-3500 м³/га. Для внесения удобрений установлена специальная смесительная емкость.

Объекты исследования – сорта сливы домашней: Венгерка Корнеевская и Стенлей. Каждый из изучаемых сортов размещен в 4 рядах. В каждом ряду по 30 деревьев. Площадь питания одного дерева составляет 10 м². Таким образом, каждого сорта изучалось по 120 деревьев, по 30 деревьев одного сорта в каждом варианте, расположенном на площади 300 м².

Предметом исследования являлось влияние минерального питания на рост и развитие сортов сливы домашней в течение вегетационного периода. Удобрения вносились посредством фертигации, через капельный полив, по фазам развития растений:

фаза 1 – перед цветением культуры;

фаза 2 – конец цветения – завязывание плодов;

фаза 3 – интенсивный рост плодов;

фаза 4 – налив плодов;

фаза 5 – созревание плодов.

Изучалось четыре различных нормы внесения минеральных удобрений:

1 – минимальный уровень питания (контроль);

2 – средний уровень питания;

3 – высокий уровень питания;

4 – максимальный уровень питания.

Нормы внесения в зависимости от уровней питания и фаз внесения удобрений представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Нормы внесения минеральных удобрений по вариантам и фазам развития растений, из расчета кг д.в./га

Table 1 – Application rates of mineral fertilizers according to variants and phases of plant development, calculated as kg active ingredient t/ha

№ Варианта / Variant number	Фазы внесения удобрений / Fertilization phases																	
	N						P						K					
	1	2	3	4	5	Σ	1	2	3	4	5	Σ	1	2	3	4	5	Σ
1 (к)	10	20	20	16	0	66	10	30	15	5	0	60	0	20	10	16	20	66
2	20	40	50	22	0	132	20	50	20	20	10	120	0	40	32	20	40	132
3	30	50	70	48	0	198	30	70	50	20	10	180	0	60	60	38	40	198
4	40	70	100	54	0	264	40	100	80	10	10	240	0	90	80	44	50	264

При пересчете внесения удобрений с гектарной площади (10 кг/га) на одно дерева, числовое значение остается неизменным, но единица измерения меняется с кг д.в./га на г. д.в./1 дерево.

Каждая норма питания давалась во время полива следующим образом: открывались все капельные трубки на изучаемых рядах и давалась норма по первому варианту, через час внесения удобрений контрольные ряды перекрывались и на оставшиеся добавлялись удобрения до нормы второго варианта, через час, перекрывались ряды по второму варианту и в оставшиеся ряды добавлялись удобрения по третьему варианту и аналогично по четвертому. После внесения удобрений полив продолжался, но для соблюдения поливной нормы, ряды, которые перекрывались во время внесения удобрений, поливались дополнительное время.

Минеральное питание осуществлялось во время полива. Влияние различных доз минеральных удобрений учитывалось по разнице в силе роста деревьев в течение вегетации, урожайности и качеству плодов. Биометрические показатели растений определялись методом промеров мерной линейкой и мерной лентой прироста однолетних побегов с периодичностью раз в 14-15 дней, высоты деревьев, диаметра кроны и окружности штамба два раза в год, в начале и в конце вегетации, на 10 модельных деревьях каждого сорта по каждому варианту питания. Урожайность определялась расчетным методом на 10 модельных деревьях и весовым методом на 5 модельных деревьях каждого сорта по каждому варианту питания. Качественные показатели плодов определялись весовым методом с 5 модельных деревьев, содержание сахаров при помощи рефрактометра (Portable refractometer ATC-40, Китай) [18].

Результаты исследования. В течение вегетационного периода, 2023 и 2024 года, у сливы наблюдалось две волны роста побегов. Первый период роста завершился в конце июня, второй в начале августа. Максимальный прирост у сорта сливы Венгерка Корнеевская в 2023 и 2024 годах отмечен на 3 варианте – 75,8 и 79,1 см соответственно, при этом существенное превышение было только по отношению к контролю, остальные варианты различались незначительно. Также наблюдалось снижение величины однолетнего прироста в варианте с максимальным уровнем питания в сравнении со средним и высоким, что говорит о передозировке удобрений и последующем не эффективном их использовании (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние минерального питания на рост однолетних побегов сортов сливы за 2023-2024 гг. (среднее из 10 модельных деревьев)

Table 2 – The effect of mineral nutrition on the growth of one-year-old shoots of plum varieties in 2023-2024 (average of 10 model trees)

Сорт / Variety	Вариант питания / Nutrition option	Однолетний прирост, см / Annual growth, cm							
		29.05		13.06		13.07		27.07	
		2023	2024	2023	2024	2023	2024	2023	2024
Венгерка Корнеевская / Vengerka Korneevskaya	1	38,0	37,4	54,2	51,2	66,9	61,8	67,5	68,5
	2	47,4	45,4	58,5	52,5	74,4	70,2	75,6	76,7
	3	41,4	42,2	55,0	51,3	75,8	74,3	75,8	79,1
	4	50,2	48,2	54,2	53,1	62,6	66,5	63,1	70,1
HCP ₀₅	-	2,2	2,1	2,8	2,6	3,5	3,4	3,5	3,7
Стенлей / Stenley	1	40,6	43,1	64,4	62,2	71,0	72,1	71,2	73,2
	2	38,2	40,0	65,8	63,3	77,2	74,2	79,1	78,1
	3	36,0	35,2	45,0	47,9	64,6	66,6	64,6	67,9
	4	26,4	27,3	35,1	40,1	70,8	68,8	70,8	72,2
HCP ₀₅	-	2,1	2,1	2,7	2,7	3,5	3,5	3,5	3,5

Аналогичная картина наблюдалась и на сорте Стенлей, где максимальный однолетний прирост отмечен на варианте со средним уровнем питания – 79,1 и 78,1 см в 2023 и 2024 году соответственно. Дальнейшее увеличение нормы внесения удобрений не только не усилило рост однолетнего прироста, но и привело к незначительному ослаблению роста (таблица 2).

Эти данные показывают прямую зависимость однолетнего прироста, а также отзывчивость сортов сливы на внесение удобрений. Т.е. сорт Венгерка Корнеевская более отзывчивый на применение удобрений, чем сорт Стенлей, которому для увеличения силы роста необходимо меньшее количество минерального питания.

Таблица 3 – Влияние минерального питания на рост деревьев сливы, 2023-2024 гг., (среднее из 10 модельных деревьев)

Table 3 – The effect of mineral nutrition on the growth of plum trees, 2023-2024 (average of 10 model trees)

Сорт / Variety	Вариант питания / Nutrition option	Высота дерева и прирост, м / Tree height and growth, m						Диаметр кроны и прирост, м / Crown diameter and growth, m					
		2023			2024			2023			2024		
		нв / bv	кв / ev	пр. / gr	нв / bv	кв / ev	пр. / gr	нв / bv	кв / ev	пр. / gr	нв / bv	кв / ev	пр. / gr
Венгерка Корнеевская / Vengerka Korneevskaya	1	2,1	2,4	0,3	2,4	3,1	0,7	2,0	2,2	0,2	2,2	2,4	0,2
	2	2,2	2,7	0,5	2,7	3,4	0,7	1,8	2,0	0,2	2,0	2,5	0,5
	3	2,0	2,3	0,3	2,3	2,8	0,5	2,0	2,4	0,4	2,4	2,7	0,3
	4	2,2	2,6	0,4	2,6	3,2	0,6	1,8	2,2	0,4	2,2	2,5	0,3
Стенлей / Stenley	1	2,5	2,7	0,2	2,7	3,2	0,5	2,0	2,2	0,2	2,2	2,4	0,2
	2	2,4	2,7	0,3	2,7	3,3	0,6	1,8	2,0	0,2	2,0	2,4	0,4
	3	2,5	2,9	0,4	2,9	3,4	0,5	2,0	2,7	0,7	2,7	3,0	0,3
	4	2,3	2,7	0,4	2,7	3,2	0,5	1,8	2,3	0,5	2,3	2,6	0,3

Примечание: нв – начало вегетации; кв – конец вегетации; пр – прирост за вегетацию.

Note: bv – beginning of vegetation; ev – end of vegetation; gr is the vegetation gain.

По высоте деревьев и ширине кроны существенных различий по годам не отмечено. Если взять увеличение роста за два года, то у сорта Венгерка Корнеевская максимальный прирост по высоте отмечен на варианте со средним уровнем питания, в то время как по остальным вариантам питания приросты по высоте практически не различаются. У сорта Стенлей за два года прирост по высоте незначительно увеличивается пропорционально увеличению объемов внесения удобрений. Диаметр кроны у сорта Венгерка Корнеевская увеличился за 2 года на контрольном варианте на 40 см, на варианте со средним уровнем питания – на 70 см, дальнейшее увеличение объемов внесения удобрений не привело к усилению роста кроны. У сорта Стенлей усиление прироста кроны наблюдалось пропорционально увеличению внесения удобрений, вплоть до высокого уровня, дальнейшее увеличение внесения удобрений не привело к усилению роста кроны, наоборот, произошло незначительное снижение роста (таблица 3).

При этом период от начала проведения опыта до сбора плодов на сортах сливы Венгерка Корнеевская и Стенлей позволил оценить влияние минерального питания на формирование плодов. Вес одного плода определялся с помощью электронных весов с точностью до 0,01 г. и выражался в граммах. Общее содержание сахаров в плодах определялось с помощью цифрового рефрактометра и выражалось в процентах (%). Результаты определения среднего веса, содержания процента сахаров и средняя урожайность с 1 дерева представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Урожайность сортов сливы по вариантам опыта, 2023-2024 гг.

Table 4 – Yield of plum varieties by experimental variants, 2023-2024

Сорт / Variety	Вариант питания / Nutrition option	Вес одного плода, г / Weight of one fruit, g			Урожай с одного дерева, кг / Yield from one tree, kg			Содержание сахара в плодах, % / Sugar content in fruits, %		
		2023	2024	Ср.	2023	2024	Ср.	2023	2024	Ср.
Венгерка Корнеевская / Vengerka Korneevskaya	1	41,5	34,5	38,0	18,1	3,6	10,9	23,9	20,1	22,0
	2	44,2	35,1	39,7	22,4	0,6	11,5	23,3	20,4	21,9
	3	39,9	32,6	36,3	15,3	0,3	7,8	21,7	17,4	19,6
	4	38,2	33,8	36,0	12,6	3,3	7,9	22,0	19,3	20,7
Стенлей / Stenley	1	59,1	55,3	27,2	17,2	9,9	13,6	23,0	20,1	21,6
	2	63,2	59,1	61,2	24,5	11,4	18,0	21,3	19,2	20,3
	3	52,1	47,4	49,8	13,7	3,5	8,6	24,0	22,4	23,2
	4	49,9	45,6	47,8	10,6	4,6	7,6	23,3	19,9	21,6
HCP ₀₅		2,4	2,1	2,1	0,9	0,2	0,5	1,2	1,0	1,1

В зависимости от варианта опыта наблюдаются различия, как в весе плодов, так и в содержании процента сахара для обоих изучаемых сортов. Физиологические процессы плодовых деревьев, в том числе формирование цветочных почек, индукция, прекращение зимнего покоя, качество плодов тесно связаны с температурными условиями. Продолжительные заморозки в весенний период приводят к более позднему цветению, а влияние заморозков в начале развития плодов приводит к нарушению биохимических процессов, что сказывается на массе, размере плодов и их сахаристости [19, 20]. Тридцатилетние наблюдения норвежских ученых продемонстрировали, что повышение температуры приводит к более раннему цветению семечковых и косточковых культур, однако сроки сбора урожая остаются прежними. Это, в свою очередь, увеличивает период развития плодов, представляя им больше времени для роста [21]. Распускание почек в 2024 г. отмечалось на три недели позже в сравнении с 2023 годом, во время завязи плодов отмечались отрицательные температуры воздуха до -2 °С, все это негативно сказалось на урожайности и качестве плодов, вызвав их деформацию и снижение массы. В связи с этим для анализа данных были взяты усредненные показатели за два года. У сорта Венгерка Корнеевская по средним показателям для разных вариантов опыта наблюдались следующие изменения веса плодов и содержания сахара: средний вес одного плода изменялся с 36,0 г на максимальном фоне минерального питания (вариант 4) до 39,7 г на среднем фоне минерального питания (вариант 2), по годам максимальный вес плодов отмечен в 2023 года в пределах 44,2 г на среднем фоне питания, при последующем увеличении внесения минеральных удобрений наблюдалось обратное пропорциональное снижение массы плодов (таблица 4). В 2024 году масса плодов у сорта Венгерка Корнеевская была ниже, чем в 2023 году, однако корреляция массы с питанием наблюдалась также. Наименьшее содержание сахара в пло-

дах отмечено на высоком фоне минерального питания (вариант 3) 21,7 и 17,4 % в 2023 и 2024 годах соответственно. Максимальное содержание сахаров отмечено на контрольном и среднем фонах питания в 2023 году и среднем фоне в 2024 году, 23,9, 23,3 и 20,4 % соответственно (таблица 4). У сорта Стенлей максимальный вес одного плода также отмечен на среднем питательном фоне, 63,2 г и 59,1 г в 2023 и 2024 годах соответственно. Последующее увеличение применения удобрений приводило к снижению веса плода, не зависимо от года наблюдений (таблица 4). Что касается сахаристости, то у данного сорта максимальное содержание сахара в плодах отмечено на высоком фоне минерального питания 24,0 % и 22,4 % в 2023 и 2024 годах соответственно, что превышает показатели других вариантов на 7...14 % (таблица 4). Наибольшая урожайность отмечалась у сорта Стенлей на среднем фоне минерального питания, 24,5 и 11,4 кг/дерева в 2023 и 2024 годах соответственно. Следует отметить, что высокий урожай на данном сорте отмечен на контрольном агрофоне, в то время как при увеличении норм внесения удобрений наблюдается снижение урожайности в 1,5-2 раза. У сорта Венгерка Корнеевская прослеживается та же тенденция в 2023 году, максимальная урожайность отмечена на варианте со средним уровнем питания – 22,4 кг/га, в то время как в 2024 году на фоне общей низкой урожайности, большее значение отмечено на контрольном варианте и на варианте с максимальным уровнем питания (таблица 4). Полученные данные коррелируют с данными, полученными в аналогичных исследованиях, в том числе и с другими плодовыми культурами, отечественных и зарубежных ученых, и демонстрируют важность подбора удобрений под конкретный сорт, при котором крайне необходимо учитывать как складывающиеся условия вегетационного периода, так и нормы внесения [5, 8, 14, 15, 16, 21].

Заключение. Согласно проведенным исследованиям, использование удобрений играет важную роль в росте и развитии растений, а также в их урожайности, качестве и биохимическом составе плодов. Для сорта Венгерка Корнеевская оптимальным фоном питания является средний уровень питания, позволяющий улучшить результаты по урожайности и качеству плодов. Сорт Стенлей также демонстрирует лучшие количественные и качественные характеристики на фоне со средним уровнем питания, в то время как содержание сахара в плодах повышается на фоне с высоким уровнем питания. Таким образом, на основе полученных данных был установлен оптимальный минеральный фон питания для сливы, состоящий из 132 кг д.в. азота (N), 120 кг д.в. фосфора (P) и 132 кг д.в. калия (K) на гектар. Вместе с тем, в зависимости от сорта сливы, необходим дифференцированный, но при этом комплексный подход, учитывающий все факторы выращивания, который позволит значительно повысить не только количественные, но и качественные характеристики урожая и при этом оптимизировать затраты при его выращивании. Для достижения максимальных результатов необходимо учитывать индивидуальные потребности сортов сливы домашней, особенности почвы и климатические условия.

Conclusions. According to the conducted research, the use of fertilizers really plays an important role in the growth and development of plants, as well as in their productivity and the content of useful substances such as sugars in fruits. Based on the data obtained, the optimal mineral background for plum fertilization was established, consisting of 132 kg of nitrogen (N), 120 kg of phosphorus (P) and 132 kg of potassium (K) per hectare. This approach makes it possible to significantly improve not only the quantitative, but also the qualitative characteristics of the crop. To achieve maximum results, it is necessary to take into account the individual needs of domestic plum varieties, soil characteristics and climatic conditions. It is recommended to carry out regular agrochemical soil analyses and plant health monitoring to adjust the mineral nutrition system. This will optimize the growth and development of plants, as well as improve the quality and quantity of the crop.

Библиографический список

1. Александрова Т. И. Влияние некорневой подкормки на урожайность и качество плодов сливы сорта Великая синяя в засушливых условиях Северного Прикаспия. Сельскохозяйственная наука Евро-Северо-Востока. 2024. № 25 (2). С. 181-188.
2. Горб Н. Н., Усейнов Д. Р., Челебиев Э. Ф. Влияние внекорневого внесения минерального удобрения на рост и развитие деревьев яблони в плодоносящем саду. Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2020. № 134. С. 108-113.
3. Глаз Н. В., Уфимцева Л. В. Оптимизация минерального питания при выращивании саженцев плодовых культур в контейнерах. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 3. С. 52-55.
4. Александрова Т. И. Влияние некорневого минерального питания на биометрические показатели сортов сливы домашней в остросушливых условиях Северного Прикаспия. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 3 (59). С. 58-63.
5. Роева Т. А. Минеральное питание как фактор продуктивности и качества плодов вишни, черешни. Современное садоводство. 2018. № 2 (26). С. 48-69.

6. Ветрова О. А., Роева Т. А. Влияние минеральных удобрений на биохимический состав и качество плодов. Современное садоводство. 2019. № 3. С. 48-69.
7. Кочубей А. А., Заремук Р. Ш. Комплексная оценка сортов сливы домашней по качеству плодов в условиях южного садоводства. Аграрная наука. 2019. № 3. С. 62-65.
8. Сергеева Н. Н., Пестова Н. Г., Ярошенко О. В. Влияние органо-минеральных подкормок на агрохимические показатели почвы сада, качество питания яблони и минеральный состав плодов. Плодоводство и виноградарство Юга России. 2010. № 6 (5). С. 58-68.
9. Иваненко Е. Н., Александрова Т. И. Сравнительная характеристика роста и развития сорта сливы Ренклод Альтана на различных подвоях. Плодоводство и виноградарство Юга России. 2020. № 64 (4). С. 168-176.
10. Солонкин А. В., Зволинский В. П., Иваненко Е. Н., Александрова Т. И. Комплексная оценка сортов сливы в условиях интенсивного сада Северного Прикаспия. Теоретические и прикладные проблемы АПК. 2019. № 4. С. 35-39.
11. Никольская О. А., Киктева Е. Н., Курапина Н. В. Влияние орошения на рост и развитие саженцев косточковых культур в питомнике. Орошаемое земледелие. 2019. № 1. С. 42-45.
12. Солонкин А. В., Зволинский В. П., Александрова Т. И. Производственная эффективность выращивания сортов сливы в аридных условиях Астраханской области. Аграрный Вестник Урала: УралГАУ. 2021. № 2. С. 48-55.
13. Солонкин А. В., Александрова Т. И. Биологические особенности и хозяйственно-ценные признаки сортов сливы домашней в условиях Нижнего Поволжья. Нива Поволжья. 2021. № 1 (58). С. 11-16.
14. Ветрова О. А., Макаркина М. А., Роева Т. А. Влияние минерального питания на некоторые показатели биохимического состава плодов вишни. Вестник КрасГАУ. 2023. № 9 (198). С. 67-76.
15. Rutkowski K., Łysiak G.P. Weather Conditions, Orchard Age and Nitrogen Fertilization Influences Yield and Quality of 'Łutówka' Sour Cherry Fruit. Agriculture. 2022. Vol. 12 (12).
16. Uçgun K. Effects of nitrogen and potassium fertilization on nutrient content and quality attributes of sweet cherry fruits. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 2019. Vol. 47 (1). Pp. 114-118.
17. Попова В. П., Ярошенко О. В., Сергеева Н. Н., Схаляхо Т. В. Влияние листовых подкормок на продуктивность и качество плодов яблони в условиях Краснодарского края. Садоводство и виноградарство. 2019. № 3. С. 27-33.
18. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Альянс. 2014. 351 с.
19. Иванова М. И., Потанин Д. В., Иванченко В. И., Замета О. Г., Михайлов С. В. Прогнозирование вероятности повреждения заморозками плодовых культур и винограда на основе климатических баз данных. Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2022. № 31 (194). С. 35-51.
20. Unterberger, Christian et al. Spring frost risk for regional apple production under a warmer climate. 2018.
21. Woznicki T. L. et al. Climate warming enhances flower formation, earliness of blooming and fruit size in plum (*Prunus domestica* L.) in the cool Nordic environment. Scientia Horticulturae. 2019. Vol. 257. 108750.

References

1. Alexandrova T. I. The effect of foliar top dressing on the yield and quality of fruits of the Great Blue plum variety in the arid conditions of the Northern Caspian Sea. Agricultural science of the Euro-North-East. 2024. No 25 (2). Pp. 181-188.
2. Gorb N. N., Useynov D. R., Chelebiev E. F. The effect of foliar application of mineral fertilizers on the growth and development of apple trees in a fruit-bearing orchard. Bulletin of the Nikitsky State Botanical Garden. 2020. No. 134. Pp. 108-113.
3. Glaz N. V., Ufimtseva L. V. Optimization of mineral nutrition when growing seedlings of fruit crops in containers. Bulletin of the Russian Agricultural Science. 2020. No. 3. Pp. 52-55.
4. Alexandrova T. I. Influence of non-root mineral nutrition on biometric indicators of domestic plum varieties in the acute arid conditions of the Northern Caspian Sea. Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2022. No. 3 (59). Pp. 58-63.
5. Roeva T. A., Mineral nutrition as a factor of productivity and quality of cherry fruits. Modern gardening. 2018. No. 2 (26). Pp. 48-69.
6. Vetrova O. A., Roeva T. A. The influence of mineral fertilizers on the biochemical composition and quality of fruits Modern horticulture. 2019. No. 3. Pp. 48-69.
7. Kochubey A. A., Zaremuk R. Sh. Comprehensive assessment of domestic plum varieties by fruit quality in the conditions of southern horticulture. Agricultural science. 2019. No 3. Pp. 62-65.
8. Sergeeva N. N., Pestova N. G., Yaroshenko O. V. The effect of organo-mineral top dressing on agrochemical parameters of orchard soil, nutrition quality of apple trees and mineral composition of fruits. Fruit growing and viticulture in the South of Russia. 2010. No. 6 (5). Pp. 58-68.
9. Ivanenko E. N., Aleksandrova T. I. Comparative characteristics of the growth and development of the Renclod Altana plum variety on various rootstocks. Fruit growing and viticulture in the South of Russia. 2020. No. 64 (4). Pp. 168-176.
10. Solonkin A. V., Zvolinsky V. P., Ivanenko E. N., Alexandrova T. I. Comprehensive assessment of plum varieties in an intensive garden in the Northern Caspian region. Theoretical and applied problems of agriculture. 2019. № 4. Pp. 35-39.
11. Nikolskaya O. A., Kikteva E. N., Kurapina N. V. The influence of irrigation on the growth and development of stone fruit seedlings in a nursery. Irrigated agriculture. 2019. No. 1. Pp. 42-45.
12. Solonkin A. V., Zvolinsky V. P., Alexandrova T. I. Production efficiency of plum cultivars in arid conditions of the Astrakhan region. Agrarian Bulletin of the Urals: UralSAU. 2021. No. 2. Pp. 48-55.
13. Solonkin A. V., Alexandrova T. I. Biological features and economically valuable characteristics of domestic plum varieties in the conditions of the Lower Volga region. The field of the Volga region. 2021. No. 1 (58). Pp. 11-16.
14. Vetrova O. A., Makarkina M. A., Roeva T. A. The effect of mineral nutrition on some indicators of the biochemical composition of cherry fruits. Bulletin of KrasSAU. 2023. No. 9 (198). Pp. 67-76.
15. Rutkowski K., Łysiak G.P. Weather Conditions, Orchard Age and Nitrogen Fertilization Influences Yield and Quality of 'Łutówka' Sour Cherry Fruit. Agriculture. 2022. Vol. 12 (12).

16. Uçgun K. Effects of nitrogen and potassium fertilization on nutrient content and quality attributes of sweet cherry fruits. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2019. Vol. 47 (1). Pp. 114-118.
17. Popova V. P., Yaroshenko O. V., Sergeva N. N., Shalyakho T. V. The effect of leaf fertilizers on the productivity and quality of apple fruits in the Krasnodar Territory. *Gardening and viticulture*. 2019. No. 3. Pp. 27-33.
18. Dospekhov B. A. *Methodology of field experience*. M.: Alliance. 2014. 351 p.
19. Ivanova M. I., Potanin D. V., Ivanchenko V. I., Zameta O. G., Mikhailov S. V. Forecasting the probability of frost damage to fruit crops and grapes based on climatic databases. *News of agricultural science of Taurida*. 2022. No. 31 (194). Pp. 35-51.
20. Unterberger, Christian et al. Spring frost risk for regional apple production under a warmer climate. 2018.
21. Woznicki T. L. et al. Climate warming enhances flower formation, earliness of blooming and fruit size in plum (*Prunus domestica* L.) in the cool Nordic environment. *Scientia Horticulturae*. 2019. Vol. 257. 108750.

Информация об авторах

Никольская Ольга Алексеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), ORCID ID: 0000-0002-1337-7101, e-mail: nikolskaya-o@vifanc.ru

Солонкин Андрей Валерьевич, доктор сельскохозяйственных наук, руководитель селекционно-семеноводческого центра, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), ORCID ID: 0000-0002-1576-7824.

Киктева Елена Николаевна, научный сотрудник, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), ORCID ID: 0000-0002-3095-2884, e-mail: aristokratka12@yandex.ru

Касьянова Галина Валерьевна, лаборант-исследователь, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), ORCID ID: 0009-007-2147-0617, e-mail: kasyanova-g@vifanc.ru

Authors' Information

Nikolskaya Olga Alekseevna, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), ORCID ID: 0000-0002-1337-7101, e-mail: nikolskaya-o@vifanc.ru

Solonkin Andrey Valerievich, Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Breeding and Seed Breeding Center, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), ORCID ID: 0000-0002-1576-7824, mishamax73@mail.ru

Kikteva Elena Nikolaevna, Researcher, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), ORCID ID: 0000-0002-3095-2884, e-mail: aristokratka12@yandex.ru

Kasyanova Galina Valerievna, Laboratory Researcher, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), ORCID ID: 0009-007-2147-0617, e-mail: kasyanova-g@vifanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-24

THE RELATIONSHIP BETWEEN THE NDWI WATER INDEX AND THE SELYANINOV HYDROTHERMAL COEFFICIENT IN ASSESSING THE RECLAMATION STATE OF SOILS IN THE DRY STEPPE ZONE

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 30.07.2025

Submitted 11.09.2025

Summary

It is shown that the NDWI aquatic vegetation index is a useful indicator for monitoring vegetation moisture, but its value significantly depends on the type of cover and the size of the phytomass. In conditions of an open steppe with a small biomass, the sensitivity of NDWI may be underestimated. The correlation of the NDWI index values with precipitation and moisture capacity of vegetation has been established, which is important for monitoring arid lands.

Abstract

Introduction. Reliable geospatial data acquisition for the management of bioproduction processes of agricultural production is an important problem, which is caused by soil and climatic diversity and a significant territorial extent of cultivated areas. Studies related to the patterns of formation of water indices obtained by satellite remote sensing of the Earth (remote sensing) and the assessment of actual hydrothermal parameters require clarification to assess the reclamation state of soils in the dry-steppe zone. **Methods and materials.** The purpose of the research is to improve the management of biological productivity of crops and the assessment of their yields by applying remote sensing methods to establish the relationship between hydrothermal coefficients (GTC) and NDWI indices. The research methodology included conducting an analytical review of scientific, technical and patent sources (IPC classes A01G 7/00, A01G 22/00, G01W 1/02), mathemati-

cal modeling of the GTC and NDWI dependencies, comparing GTC with cartographic data, conducting field experiments using B. A. Dospikhov's methodology to assess the impact of seeding rates and row spacing on winter wheat yields in the conditions of the Volgograd region. **Results and discussion.** Research has shown that the NDWI index is a useful indicator for monitoring vegetation moisture, but its value significantly depends on the type of cover and the size of the phytomass. In conditions of an open steppe with a small biomass, the sensitivity of NDWI may be underestimated. The correlation of the NDWI index values with precipitation and moisture capacity of vegetation has been established, which is important for monitoring drylands, while agrometeorological conditions in the dry steppe zone can be assessed based on satellite indices of the water balance. The NDWI index is an effective indicator of vegetation moisture, the value of which significantly depends on the type of vegetation and the size of the phytomass. **Conclusions.** In conditions of an open steppe with a small biomass, the sensitivity of NDWI may be reduced, but it is still applicable for monitoring general moisture trends. The results of the GTC assessment based on the satellite determination of NDWI indices can be used to control the biological productivity of crops and predict their yields by adjusting agrotechnological parameters (seeding rates and row spacing in accordance with Patent RU No. 2228607).

Keywords: water index, hydrothermal coefficient, dry steppe zone, soil and climatic conditions, semiarid landscapes.

Citation. Rogachev D. A., Rogachev A. F. The relationship between the NDWI water index and the Selyaninov hydrothermal coefficient in assessing the reclamation state of soils in the dry steppe zone. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 219-226 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-24.

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

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

УДК 556:004

ВЗАИМОСВЯЗЬ ВОДНОГО ИНДЕКСА NDWI И ГИДРОТЕРМИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА СЕЛЯНИНОВА ПРИ ОЦЕНКЕ МЕЛИОРАТИВНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ

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. Достоверное получение геопространственных данных для управления биопродукционными процессами сельскохозяйственного производства является важной проблемой, которая обусловлена почвенно-климатическим разнообразием и значительной территориальной протяжённостью посевных площадей. Исследования, связанные с закономерностями формирования водных индексов, получаемых методами спутникового дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), и оценки фактических гидротермических показателей, требуют уточнения для оценки мелиоративного состояния почв в условиях сухостепной зоны. **Методы и материалы.** Целью исследований является совершенствование управления биопродуктивностью посевов и оценки их урожайности путем применения методов ДЗЗ для установления взаимосвязи гидротермических коэффициентов (ГТК) и индексов NDWI. 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 NDWI, сопоставление ГТК с картографическими данными, проведение полевых опытов по методике Б. А. Доспехова с оценкой влияния нормы высева и ширины междурядий на урожайность озимой пшеницы в условиях Волгоградского региона. **Результаты и обсуждение.** В результате исследований показано, что индекс NDWI является полезным индикатором для мониторинга влажности растительности, однако его значение существенно зависит от типа покрова и размера фитомассы. В условиях открытой степи с небольшой биомассой чувствительность NDWI может оказаться заниженной. Установлена корреляция значений индекса NDWI с осадками и влагоемкостью растительности, что важно для мониторинга засушливых земель, при этом по данным спутниковых индексов водного баланса можно оценивать агрометеорологические условия в сухостепной зоне. Индекс NDWI является эффективным индикатором влажности растительности, значение которого существенно зависит от типа растительного покрова и размера фитомассы. **Выводы.** В условиях открытой степи с небольшой биомассой чувствительность NDWI может быть снижена, но для мониторинга общих тенденций влажности он по-прежнему применим. Результаты оценки ГТК по данным спутникового определения индексов NDWI можно использовать для управления биопродуктивностью посевов и прогнозирования их урожайности путем корректировки агротехнологических параметров (нормы высева и ширины междурядий в соответствии с патентом РФ № 2228607).

Ключевые слова: водный индекс, гидротермический коэффициент, сухостепная зона, почвенно-климатические условия, семиаридные ландшафты.

Цитирование. Рогачев Д. А., Рогачев А. Ф. Взаимосвязь водного индекса NDWI и гидротермического коэффициента Селянинова при оценке мелиоративного состояния почв в условиях сухостепной зоны. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 219-226. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-24.

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. Проблема достоверного получения геопространственных данных для управления биопродукционными процессами сельскохозяйственного производства обусловлена значительным почвенно-климатическим разнообразием и территориальной протяженностью зональных земельных угодий. В особенности это относится к засушливым условиям степных зон юга России. Известные подходы на основе статистических сплайновых и кригинговых моделей являются достаточно трудоемкими и громоздкими для практической реализации [9].

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 [11]. 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].

Индекс NDWI может определяться методами спутникового дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) по каналам ближнего ИК (NIR) и коротковолнового ИК (SWIR) спектра [1] и достаточно чувствителен к изменениям влагосодержания. Так, в Крыму, характеризующемся сухим субтропическим климатом [2], полевая интегральная влажность почвенно-растительного покрова почти линейно коррелировала с NDWI ($R^2 \approx 0.91$). Исследование пастбищ в Португалии показало высокую статистическую связь NDWI с измеренной влажностью почвы ($R^2 \approx 0.7548$) и влажностью растительного покрова ($R^2 \approx 0.8938$) [3]. Анализ данных секир (США) продемонстрировал, что межгодовые колебания NDWI статистически значимо связаны с годовым количеством осадков (положительная корреляция) и температурой (отрицательная) [4]. Таким образом, высокое значение индекса NDWI указывает на обильную влагу в растительности, а низкое – на её дефицит.

Гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) широко используемый комплексный агрометеорологический показатель тепло- и влагообеспеченности территории, определяющийся отношением осадков к сумме активных температур. При значении ГТК < 1,0 климат считается засушливым, при $K < 0,7$ – «сухим земледелием» (необходимо орошение). Так, северная граница степной зоны европейской части России примерно соответствует ГТК $\approx 1,0$, а полупустыни – $\approx 0,5$. Чем ниже ГТК, тем больше дефицит влаги. Параметр ГТК широко применяется в агрономии и климатологии для выделения зон влажности и оценки засухи.

Исследованием методологии и инструментария мониторинга природной среды в условиях цифровой экономики, в том числе с применением интеллектуальных подходов, занимались отечественные ученые С. А. Барталев, Е. В. Бурнаев, В. С. Верб, Н. А. Ивлиев, Н. Л. Казанский, А. Ф. Каперко, Е. А. Лупян, А. В. Никоноров, Р. В. Скиданов, А. А. Черниенко и другие [8]. 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 [12, 13]. Проблемы моделирования продуктивности агрокультур в зависимости от почвенно-климатических факторов и гидрофизических свойств почвы изучались А. Г. Болотовым, А. Г. Бувичем, Л. В. Кирейчевой, С. В. Макарычевым, Е. В. Мелиховой, А. П. Сергеевым, Д. А. Тарасовым и др. [10, 16, 17, 18].

Известны отдельные зарубежные исследования, связанные с закономерностями формирования водных индексов и гидротермических показателей [1, 3, 4], однако для степных почвенно-климатических РФ условий 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 А01G 7/00, А01G 22/00, G01W 1/02.

Нормализованный разностный влажностный индекс рассчитывается по формуле

$$NDWI = (NIR - SWIR)/(NIR + SWIR), \quad (1)$$

где NIR – отражение в ближнем диапазоне, SWIR – отражение в среднем инфракрасном диапазоне длин волн [2].

Гидротермический коэффициент Селянинова определяется по известной формуле (2)

$$K = \frac{10 R}{\sum T_{>10^{\circ}C}} \quad (2)$$

где R – сумма осадков (мм) за вегетационный период (температуры свыше +10°C), а $\sum$ – сумма соответствующих температур [5].

Укрупненные значения ГТК 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 [7]. В процессе полевых исследований ширина междурядий составляла 22,5 см при значении глубины посева семян пшеницы 5...6 см в первой декаде сентября. Величина гидротермического коэффициента для опытного хозяйства принималась равной 0,9.

Результаты и обсуждение.

Проведенный аналитический обзор научных публикаций не выявил непосредственных вычислений статистических показателей корреляции между значениями NDWI и ГТК для сухостепной зоны России.

Проанализируем аналогичные исследования для схожих почвенно-климатических условий, которые позволят сделать выводы о наличии связи между обсуждаемыми показателями. Поскольку и NDWI, и ГТК отражают влажность (NDWI – состояние растительности, ГТК – отношение осадков к теплу), можно ожидать прямой (положительный) тренд, согласно которому более высокие NDWI должны соответствовать более высоким значениям ГТК (влажные годы).

Проведем углубленный анализ результатов опубликованных исследований. Рассмотрим чувствительность NDWI к влаге и осадкам. В различных экосистемах NDWI показывал значимые связи с влажностью. Например, для пастбищного луга в Португалии NDWI очень хорошо описывал динамику влажности: коэффициент детерминации с влажностью почвы $R^2 \approx 0.75$, с влажностью травостоя – $R^2 \approx 0.89$ [3]. В аналогичном исследовании выяснено, что NDWI статистически значимо коррелирует с осадками: в заповеднике секвойи (Калифорния) межгодовая изменчивость NDWI положительно связана с годовым количеством осадков ($p < 0.001$) [4]. Приведенные публикации показывают, что NDWI действительно может отражать гидрологические условия.

Исследуем наличие взаимосвязи значений вегетационных индексов с величиной ГТК. Известны зарубежные исследования, в которых непосредственно сравнивали вегетационные индексы и ГТК [8]. В частности, Бартольд с соавторами (2024) изучали индекс NDDI (Normalized Difference Drought Index), который объединяет NDVI и NDWI, в травостоях. Они выявили значимую отрицательную корреляцию NDDI с ГТК ($r \approx -0.75$, $R^2 \approx 0.56$). Это отражает, что при сильной засухе NDDI велик, а ГТК мал.). Косвенно это подтверждает роль NDWI в определении влажности: поскольку NDDI составлен на основе NDWI, его сильная связь с ГТК указывает на то, что сами составляющие (в т. ч. NDWI) чувствительны к гидротермическим условиям.

В сухих субаридных зонах наблюдения показывают аналогичные рассмотренным выше закономерности. Так, в сухостепных условиях Крыма [2] NDWI отражал накопление влаги летом (см. $R^2 \approx 0.91$) [2]. Это отражает, что в годы с большим количеством осадков и ГТК около единицы или выше, NDWI тоже будет высоким, поскольку растительность более влажная. Напротив, в засушливых условиях года (при ГТК < 0,7) ожидается и низкое значение NDWI. Отмеченные значения показателей в полной мере относятся к семиаридным ландшафтам Крыма [2].

Результаты проведенного анализа сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Взаимосвязь водного индекса с климатическими показателями в условиях сухостепных почвенно-климатических зон

Table 1 – The relationship of the water index with climatic indicators in the conditions of dry-steppe soil-climatic zones

Исследование / Study	Экосистема/регион / Ecosystem/region	Сравниваемые показатели / Compared indicators	Корреляция / Correlation	Источник / Source
Khartonova et al. (2020)	Степь сухая, Крым / Sukhaya Steppe, Crimea	NDWI – интегральная влажность / integral humidity	$R^2 \approx 0.91$	[2]
Matese et al. (2019)	Пастбище, Португалия / Pasture, Portugal	NDWI – влажность почвы / soil moisture	$R^2 = 0.76$	[3]
Su et al. (2017)	Секвойи, Калифорния / Redwoods, California	NDWI – годовое количество осадков / annual precipitation	положительная (н/д, $p < 0.001$)	[4]
Bartold et al. (2024)	Луга, Польша / Luga, Poland	NDDI – гидротермический коэффициент / hydrothermal coefficient	$r = -0.75$ ($R^2 = 0.56$)	[8]

Хотя конкретные значения показателей корреляции между NDWI и ГТК в условиях степных зон России не опубликованы, можно отметить общую применимость NDWI для мониторинга засухи. Установлено, что для пастбищ NDWI значимо коррелирует со всеми показателями гидрологического режима (влажностью почвы, биомассой, температурой), и может использоваться для оценки состояния растительности в условиях дефицита влаги. В частности, можно констатировать, что комплексные индексы на основе NDVI и NDWI («дистрессовые индексы») эффективны для выявления зон пониженной влажности и низкого ГТК. В то же время, имеется ограничение для применения индекса NDWI, состоящее в возможности его «насыщения». При очень высоких значениях биомассы индекс NDWI может терять чувствительность.

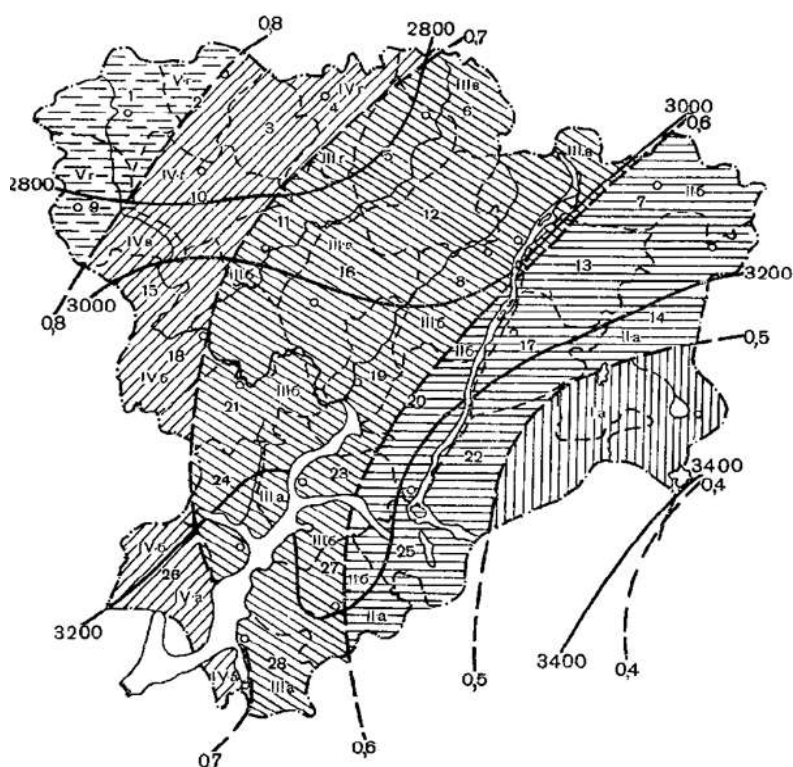


Рисунок 1 – Изолинии ГТК для Волгоградской области, как типичного засушливого региона юга России

Figure 1 – HTC isolines for the Volgograd region, as a typical arid region of Southern Russia

Отметим, что достоверные оценки зональных значений ГТК играют важную роль в управлении процессами обеспечения биопродуктивности и ее прогнозирования. При этом управление процессом формирования биопродуктивности при возделывании зерновых культур реализуется с помощью учета величины ГТК (рисунок 1), характеризующего их фактическую тепло- и влагообеспеченность. Управление биопродуктивностью возможно посредством учета его влияния и корректировки агротехнических параметров, в частности, нормы высева и ширины междурядий, согласно рекомендациям [7].

Результаты полевых исследований, в которых изучалось влияния нормы высева семян на урожайность и качество зерна озимой пшеницы сорта Донщина в засушливых условиях Волгоградской области, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Зависимость продуктивности и качества зерна озимой пшеницы сорта Донщина от величины нормы высева

Table 2 – Dependence of productivity and grain quality of winter wheat of the Donshchyna variety on the value of the seeding rate

Норма высева / Seeding rate, 10 ⁶ шт./га	Урожай- ность / Yield, т/га	Количество выпадов в осенне-зимний период / Number of fallout in the autumn-winter period, %	Количество стеблей в период уборки / Number of stems during harvesting, шт./м ²	Содержание белка / Protein content, %	Клейкови- на / Gluten, %
1,5	2,83	11,4	275	10,6	23,1
2,0	3,12	10,7	316	12,7	28,5
2,5	4,27	9,2	362	14,3	32,4
3,0	4,53	7,3	389	15,1	34,7
3,5	4,63	6,9	426	16,2	37,3
3,6	4,71	5,2	458	15,8	35,1
3,7	4,72	5,8	482	15,1	33,1
3,8	4,58	6,3	492	14,2	30,2
3,9	3,87	6,6	496	13,6	28,1
4,0	3,62	6,7	472	10,6	27,6

Реализация описанного подхода позволяет оценить урожайность озимых зерновых культур по следующей формуле

$$Y = a \cdot G_{\text{сеп}} \cdot S + b, \quad (3)$$

где Y – оценка величины урожайности p , т/га; a и b – эмпирические параметры, определяемые по многолетним данным, с использованием, например, МНК; S – накопленная сумма положительных температур от момента посева до прекращения вегетации, °C; $G_{\text{сеп}}$ – величина гидротермического коэффициента, принимаемая для региона агропроизводства, мм/°C.

При продолжении исследований планируется рассмотреть управление биопродуктивностью и прогнозирование урожайности с использованием временных рядов ГТК и интеллектуальных методов машинного обучения, в частности, на основе искусственных нейронных сетей и средств компьютерного зрения в сочетании с БПЛА [15, 16].

Заключение. Результатом проведенных исследования являются следующие выводы.

1. Исследования показывают, что в более влажные годы (высокий ГТК) растительные индексы насыщения водой (NDWI и производные) имеют большие значения, а при засухе – меньшие. Так, в польских лугах комбинированный индекс NDDI (включающий NDWI) показал сильную статистически значимую отрицательную зависимость от ГТК (т.е. в моменты минимального ГТК индекс NDDI – максимален).

2. Индекс NDWI является полезным индикатором влажности растительности, однако его значение существенно зависит от типа покрова и размера фитомассы. В условиях открытой степи с небольшой биомассой чувствительность NDWI может быть снижена, но для мониторинга общих тенденций влажности он по-прежнему применим. Установлена корреляция NDWI с осадками и влагоемкостью растительности, что важно для мониторинга засухи, при этом по данным спутниковых индексов водного баланса можно оценивать агрометеорологические условия в сухостепной зоне.

3. Результаты оценки ГТК по данным спутникового определения индексов NDWI можно использовать для управления биопродуктивностью посевов и прогнозирования их урожайности путем корректировки агротехнологических параметров (нормы высева и ширины междурядий по патенту РФ № 2228607).

Conclusions. The following conclusions are the result of the conducted research.

1. Studies show that in wetter years (high HTC), plant water saturation indices (NDWI and derivatives) have high values, and in droughts they are lower. For example, in Polish meadows, the combined NDDI index (including NDWI) showed a strong statistically significant negative dependence on the GTC (i.e., at the time of the minimum HTC, the NDDI index is maximum).

2. The NDWI index is a useful indicator of vegetation moisture, but its value significantly depends on the type of cover and the size of the phytomass. In conditions of an open steppe with a small biomass, the sensitivity of NDWI can be reduced, but it is still applicable for monitoring general moisture trends. The correlation of NDWI with precipitation and moisture capacity of vegetation has been established, which is important for drought monitoring, while agrometeorological conditions in the dry steppe zone can be assessed based on satellite indices of the water balance.

3. The results of the GTK assessment based on the satellite determination of NDWI indices can be used to control the biological productivity of crops and predict their yields by adjusting agrotechnological parameters (seeding rates and row spacing according to RF Patent No. 2228607)

Библиографический список

1. Bartold M., Wróblewski K., Kluczek M., Dąbrowska-Zielińska K., Goliński P. (2024). Examining the Sensitivity of Satellite-Derived Vegetation Indices to Plant Drought Stress in Grasslands in Poland. *Plants* (Basel, Switzerland). 2024. No 13 (16). 2319.
2. Харитонов Т. И., Сурков Н. В. Ландшафтный подход к моделированию динамики влажности почвенно-растительного покрова дистанционными методами. *Аридные экосистемы*. 2020, т. 26, № 1 (82). 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). *АгроМетео*. <https://www.agrometeo.online/articles/gtk.html>
6. Рогачев А. Ф., Салдаев А. М. Способ прогнозирования урожайности озимых зерновых культур в условиях засушливого климата: патент № 2271096 С1 Российская Федерация, МПК А01G 7/00. № 2004123690/12: заявл. 02.08.2004; опубл. 10.03.2006; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Волгоградская государственная сельскохозяйственная академия.
7. Рогачев А. Ф., Салдаев А. М. Способ управления производственными процессами при возделывании озимых зерновых культур в условиях засушливого климата: патент № 2228607 С1 Российская Федерация, МПК А01G 7/00. № 2002126981/12: заявл. 09.10.2002; опубл. 20.05.2004; заявитель Волгоградская государственная сельскохозяйственная академия.
8. Мультиспектральный интеллектуальный мониторинг природной и техногенной среды. Самара: Новая техника, 2023. 184 с.
9. 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.
10. Бувеч 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.
11. Рогачев А. Ф. Методические подходы к получению и обработке данных дистанционного зондирования для обоснования мелиоративных мероприятий. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2018. № 4 (52). С. 332-339.
12. 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.
13. Водные ресурсы – основа устойчивого развития Крыма: коллективная монография. Симферополь: Ариал, 2022. 216 с.
14. 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. 012047.
15. Rogachev A. F., Belousov I.S. (2024) Intelligent Identification and Multi-class Segmentation of Agricultural Crops Problem Areas by Neural Network Methods. *Data Intelligence and Cognitive Informatics. ICDICI 2023. Algorithms for Intelligent Systems*. Springer, 2024. Pp. 247-255.
16. 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. 012044.
17. Кирейчева Л. В. Оптимизация распределения ограниченных водных ресурсов методами эволюционно-генетического программирования. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2024. № 2 (398). С. 233-238.
18. Рогачев Д. А., Кирейчева Л. В., Юрченко И. Ф. и др. Технология управления системным водопользованием с применением методов искусственного интеллекта и моделей – двойников организации. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2024. № 4(400). С. 404-410.

References

1. Bartold M., Wróblewski K., Kluczek M., Dąbrowska-Zielińska K., Goliński P. (2024). Examining the Sensitivity of Satellite-Derived Vegetation Indices to Plant Drought Stress in Grasslands in Poland. *Plants* (Basel, Switzerland). 2024. No 13 (16). 2319.
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. Rogachev A. F., Saldaev A.M. A method for managing production processes in the cultivation of winter grain crops in arid climates: patent No. 2228607 C1 Russian Federation, IPC A01G 7/00. No. 2002126981/12: application 09.10.2002: published 20.05.2004; applicant Volgograd State Agricultural Academy.
8. Multispectral intelligent monitoring of the natural and man-made environment. Academician of the Russian Academy of Sciences. Samara: New equipment. 2023. 184 p.
9. 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.
10. Buevich A. G. et al. Artificial neural networks and geostatistics in predicting the distribution of chemical elements on a background site. Geoecology. Engineering geology, hydrogeology, geocryology. 2017. № 2. Pp. 74-82.
11. Rogachev A. F. Methodological approaches to obtaining and processing remote sensing data to substantiate land reclamation measures. Proceedings of the LV Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2018. № 4 (52). Pp. 332-339.
12. 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.
13. Water resources – the basis of sustainable development of Crimea: collective monograph. Simferopol: Arial, 2022. 216 p.
14. 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. 012047.
15. Rogachev A. F., Belousov I.S. (2024) Intelligent Identification and Multiclass Segmentation of Agricultural Crops Problem Areas by Neural Network Methods. Data Intelligence and Cognitive Informatics. ICDICI 2023. Algorithms for Intelligent Systems. Springer, 2024. Pp. 247-255.
16. 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. 012044.
17. 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.
18. Rogachev D. A., Kireicheva L. V., Yurchenko I. F. 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.

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: 10.32786/2071-9485-2025-06-25

AGROMETEOROLOGICAL CONDITIONS FOR THE CULTIVATION OF GRAIN CROPS IN THE SOUTH OF RUSSIA IN 2024**Tkachenko N. A., Koshelev A. V.**

*Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences»
 Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: tkachenkon@vfanc.ru

Received 17.04.2025

Submitted 10.10.2025

This work was carried out as part of State Assignment of the FSC of Agroecology RAS No. 125021302094-5 "Formation and functioning of adaptive agroforestry complexes in the south of Russia under conditions of climate change using digital technologies".

Summary

The article presents the results of the analysis of agrometeorological conditions affecting the development of crops and yields of grain crops in the Southern Federal District of the Russian Federation in 2024 and for the harvest of 2025. The use of remote sensing data and geoinformation analysis of the obtained data allowed to identify regions with delayed development of winter grain crops.

Abstract

Introduction. Modern and accurate information obtained on the basis of satellite data on the territory of drought spreading and monitoring of crop condition is important for agricultural producers and state authorities of the Russian Federation constituent entities for making operational decisions. This study analyzed agrometeorological conditions affecting crop development and crop yields in the southern regions of European Russia on the basis of meteorological observations and satellite information. **The object** of the study is agrometeorological conditions affecting the development of crops and crop yields in the Southern Federal District of the Russian Federation. **Materials and methods.** Climate data (precipitation, air temperature, etc.) from the reference and information portal 'Weather and Climate' and satellite observations from the Web-service Vega-Science were used as input materials. Using time series of vegetation indices, the condition of crops was analyzed in relation to the average annual indicators. **Results and conclusions.** In 2024, agrometeorological conditions in the cultivation of grain crops were mainly satisfactory due to frosts in spring, abnormally high temperatures in summer, lack of precipitation, soil drought and warm winter. Due to insufficient development of winter crop sprouts or their absence, the vegetation index was below the average annual values by more than 25 %. Unfavourable agrometeorological conditions were observed in the Volgograd and Rostov Regions and the Republic of Kalmykia. Moisture deficit during autumn sowing of winter crops and abnormally warm winter months may result in the loss of the 2025 harvest.

Keywords: cultivation of grain crops, conditions of cultivation of grain crops, NDVI, winter crops, monitoring of the condition of crops.

Citation. Tkachenko N. A., Koshelev A. V. Agrometeorological conditions for the cultivation of grain crops the south of Russia in 2024. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 226-238 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-25.

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 631.559:551.582:633

**АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ЮГЕ РОССИИ В 2024 ГОДУ**

Ткаченко Н. А., кандидат сельскохозяйственных наук

Кошелев А. В., кандидат сельскохозяйственных наук

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»
г. Волгоград, Российская Федерация

Работа выполнена по теме Государственного задания ФНЦ агроэкологии РАН 125021302094-5 «Формирование и функционирование адаптивных агролесомелиоративных комплексов юга России в условиях климатических изменений с использованием цифровых технологий».

Актуальность. Своевременные и точные сведения, получаемые на основе спутниковых данных, о территории распространения засух и мониторинг состояния посевов сельскохозяйственных культур важны сельхозтоваропроизводителям и органам государственной власти субъектов Российской Федерации для принятия оперативных решений. В настоящем исследовании был проведен анализ агрометеорологических условий, влияющих на развитие посевов и урожайность сельскохозяйственных культур в южных регионах Европейской части России на основе данных метеорологических наблюдений и спутниковой информации. **Объект исследования** агрометеорологические условия, влияющие на развитие посевов и урожайность сельскохозяйственных культур в Южном федеральном округе РФ. **Материалы и методы.** В качестве исходных материалов использовались климатические данные (количество осадков, температура воздуха и т.д.) справочно-информационного портала «Погода и климат» и данные спутниковых наблюдений с Web-сервиса Vega-Science. С помощью временных рядов вегетационных индексов проанализировано состояние посевов сельскохозяйственных культур относительно среднеемноголетних показателей. **Результаты и выводы.** В 2024 году агрометеорологические условия при возделывании зерновых сельскохозяйственных культур были в основном удовлетворительными из-за заморозков в весенний период, аномально высоких температур в летний период, недостатка осадков, почвенной засухи и теплой зимы. Из-за недостаточного развития всходов озимых культур или их отсутствия индекс вегетации был ниже среднеемноголетних значений более чем на 25 %. Неблагоприятные агрометеорологические условия наблюдались в Волгоградской и Ростовской областях, Республике Калмыкия. Дефицит влаги в период осеннего сева озимых культур и аномально теплые зимние месяцы могут обернуться потерей урожая 2025 года.

Ключевые слова: возделывание зерновых культур, условия возделывания зерновых культур, NDVI, озимые культуры, мониторинг состояния посевов.

Цитирование. Ткаченко Н. А., Кошелев А. В. Агрометеорологические условия возделывания зерновых сельскохозяйственных культур на юге России в 2024 году. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 226-238. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-25.

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. Южный федеральный округ (ЮФО) – один из крупных производителей зерновых и зернобобовых культур в России, однако большая площадь пахотных земель размещена в районах рискованного земледелия.

В последние десятилетия в регионе наблюдается увеличение частоты возникновения засух в период сева и вегетации зерновых культур, это явление отрицательно сказывается на их состоянии [1-6]. В связи с глобальным потеплением климата высока вероятность того, что сельское хозяйство станет ещё более уязвимо от засух, снизится эффективность использования сельскохозяйственных земель, потребуется существенная корректировка традиционных систем земледелия (Доклад об особенностях климата..., 2024) [1, 7-11]. Учитывая данные обстоятельства, важным является повышение точности получаемых сведений об агрометеорологических условиях и их влиянии на рост и развитие сельскохозяйственных культур. Весьма перспективным направлением является использование спутниковой информации и ее комплексирование с наземными наблюдениями [12-17]. Спутниковые данные обладают высоким пространственным и временным разрешением и позволяют одновременно получать информацию на обширную территорию и в различных спектральных диапазонах [18, 19].

Материалы и методы. Анализ изменений агрометеорологических характеристик (количество осадков, температура воздуха и т.д.), влияющих на условия возделывания зерновых сельскохозяйственных культур в ЮФО, производился на основе данных справочно-информационного портала «Погода и климат».

При дистанционном мониторинге посевов сельскохозяйственных культур наиболее достоверными являются данные спутниковых спектрорадиометров оптического и инфракрасного диапазонов [1, 14, 15, 20, 21]. С помощью веб-сервиса Bera-Science по спутниковым данным с использованием временных рядов вегетационных индексов (NDVI) на территорию ЮФО была получена и проанализирована информация о росте и развитии посевов озимых культур в 2024 г. относительно среднесезонных показателей.

Результаты и обсуждение. В 2024 году на Юге России сохранялась обстановка повышенного риска снижения урожайности сельхозкультур. Во многих регионах наблюдалась почвенная засуха, которая началась в августе и продолжалась практически в течение всей осени, особенно опасной она была в период проведения осенней посевной кампании под урожай 2025 г.

Погода в начале и середине января 2024 г. на большей части ЮФО была теплой, в южных районах региона исследования температура воздуха повышалась до 10-14 °С, в Краснодарском крае местами температура воздуха достигала 17-19 °С. Наблюдался слабый рост озимых зерновых культур. Во второй половине января похолодало. Так, например, в северных районах Волгоградской области ночная температура понижалась до -32 °С, в остальных регионах ЮФО от -15 °С до -20 °С. Эти морозы не были опасны для озимых зерновых культур, так как на полях наблюдался снежный покров высотой от 5 до 15 см. За исключением юга Астраханской области и Республики Калмыкия, в большинстве районов ЮФО выпало 45-80 мм осадков, на юге Ростовской области и Краснодарского края 100 мм и более. В целом в январе для зимовки растений сложились удовлетворительные агрометеорологические условия.

В феврале 2024 г. среднемесячная температура воздуха в ЮФО была на 2-5 °С выше средних многолетних значений. В северной части территории температура воздуха повышалась до 7-10 °С, в южной половине до 12-20 °С. В Краснодарском крае посевы озимых культур возобновляли вегетацию. В северных районах ЮФО озимые зерновые культуры находились в состоянии покоя в течение всего февраля. Также в середине февраля в регионе наблюдались периоды кратковременного похолодания, когда минимальная температура воздуха понижалась до -10 °С, а местами и до -16 °С, в Краснодарском крае температура понижалась до -5 °С. На большей части округа осадки, выпавшие в феврале, значительно пополнили запасы влаги в почве и улучшили влагообеспеченность сельскохозяйственных культур. Так, в ряде южных районов Волгоградской области, Краснодарского

края и центральных районах Ростовской области выпало осадков более 60 мм, в других регионах округа – от 20 до 35 мм. Агрометеорологические условия в феврале для зимовки озимых культур были удовлетворительными

В марте на территории ЮФО наблюдалась неустойчивая погода. Теплые периоды сменялись кратковременными похолоданиями. Так, максимально температура воздуха в отдельных регионах поднималась до 15 °С и минимально понижалась до -7 °С. В большинстве районов ЮФО осадков в марте выпало мало (от 2 до 30 мм), что в теплые периоды приводило к быстрому непродуктивному расходу почвенной влаги. Снежный покров высотой от 2 до 10 см наблюдался в начале месяца в северных районах ЮФО, в середине месяца из-за теплой погоды в большинстве районов снега на полях уже не было. В целом в марте сложились удовлетворительные агрометеорологические условия.

Погода в апреле 2024 г. была преимущественно сухая и теплая. Среднемесячная температура воздуха была на 4-8 °С выше нормы. Средняя температура воздуха составляла 12-18 °С, а максимально она повышалась в большинстве регионов до 20-28 °С, в южных районах – до 33 °С. Осадков практически не наблюдалось, за исключением южных районов Ростовской области и северо-восточных районов Краснодарского края, где в первой декаде месяца выпало осадков от 15 мм до 25 мм. Влагообеспеченность посевов была пониженной, из-за чего состояние озимых культур отмечалось как удовлетворительное.

В мае 2024 г. в ЮФО погода была переменчивой. В большинстве районов ЮФО в первой половине месяца наблюдались заморозки. В Ростовской и Волгоградской областях, местами в Калмыкии и Астраханской области температура воздуха понижалась от -3 °С до -5°, а в Краснодарском крае и Республике Калмыкия – до -2 °С. Заморозки вызвали частичное повреждение, а местами и гибель сельхозкультур. По официальным данным комитетов сельского хозяйства регионов площадь погибших от майских заморозков посевов в Ростовской области составила 211 тыс. га, а в Волгоградской области – 190 тыс. га (5 % от всех планируемых на 2024 год посевных площадей). Осадков в мае месяце в Краснодарском крае выпало от 25 до 70 мм, в остальных регионах – от 1 до 8 мм (таблица 1). Влагообеспеченность посевов сохранялась пониженной, в ряде регионов вследствие длительного дефицита осадков она была недостаточной и плохой для роста и развития зерновых культур. В Волгоградской, Ростовской, областях, в Республиках Крым и Калмыкия отмечалась почвенная засуха.

Таблица 1 – Метеорологические показатели мая 2024 г.
Table 1 – Meteorological indicators for May 2024

Май 2024 / May 2024						
Регион ЮФО / Region of the Southern Federal District	Декады / Decades	ГТК / Hydrothermal coefficient	T, °C	ΔT, °C	R, мм	ΔR, %
Астраханская область / Astrakhan region	I	0,12	13,5	-2	0	0
	II	0,07	14,3	-4	1	15
	III	0,03	20,7	-1	0	0
Волгоградская область / Volgograd region	I	0,22	11,5	-3	0	0
	II	1,87	12,0	-4	5	30
	III	1,78	19,0	1	1	4
Ростовская область / Rostov region	I	0,45	12,8	-2	1	8
	II	0,51	12,9	-4	6	34
	III	0,27	19,7	1	5	24
Республика Калмыкия Republic of Kalmykia	I	0,21	13,3	-2	6	35
	II	0,35	14,1	-3	8	55
	III	0,28	20,2	1	0	0
Краснодарский край / Krasnodarskiy kray	I	2,07	14,0	-1	17	87
	II	2,27	13,5	-4	33	160
	III	1,14	19,4	1	5	19
Республика Крым / Republic of Crimea	I	0,18	14,2	1	2	21
	II	0,27	13,5	-3	6	61
	III	0,25	18,7	1	4	27

Примечание: T – средняя температура воздуха за декаду; ΔT – отклонение температуры воздуха от нормы; R – сумма осадков за декаду; ΔR – отклонение осадков от нормы.

Note: T – is the average air temperature over the decade; ΔT – is the deviation of air temperature from the norm; R – is the amount of precipitation over the decade; ΔR – is the deviation of precipitation from the norm.

В июне на территории округа наблюдалась жаркая погода, среднемесячная температура воздуха была на 2-6 °С выше нормы (таблица 2). Максимальная температура воздуха поднималась выше 30 °С, а во второй половине месяца до 34-39 °С. На преобладающей территории наблюдалась почвенная засуха. Во второй и третьей декадах месяца прошли дожди в отдельных районах Краснодарского края и Республики Калмыкия, Ростовской и Волгоградской областей (15-45 мм и более), напряженность агрометеорологических условий несколько понизилась, однако дефицит почвенной влаги сохранился. Вследствие жаркой погоды и дефицита почвенной влаги агрометеорологические условия для роста, развития и формирования урожая большинства сельскохозяйственных культур были неблагоприятными.

Таблица 2 – Метеорологические показатели июня 2024 г.

Table 2 – Meteorological indicators for June 2024

Июнь 2024 / June 2024						
Регион ЮФО / Region of the Southern Federal District	Декады / Decades	ГТК / Hydrothermal coefficient	T, °C	ΔT, °C	R, мм	ΔR, %
Астраханская область / Astrakhan region	I	0,03	26,4	5	1	19
	II	0,93	28,2	4	7	67
	III	1,03	21,8	-3	10	116
Волгоградская область / Volgograd region	I	0,33	23,8	5	13	93
	II	0,38	26,2	5	9	76
	III	1,20	19,3	-3	40	258
Ростовская область / Rostov region	I	0,88	24,6	5	4	29
	II	1,29	25,0	3	13	89
	III	0,75	22,0	-1	11	57
Республика Калмыкия / Republic of Kalmykia	I	1,34	26,4	6	1	11
	II	2,67	27,4	4	22	141
	III	2,20	23,3	-1	6	35
Краснодарский край / Krasnodarskiy kray	I	1,00	23,9	4	16	70
	II	1,00	23,9	4	16	70
	III	1,36	23,4	1	3	9
Республика Крым / Republic of Crimea	I	0,19	23,9	5	1	7
	II	1,02	23,9	3	34	251
	III	1,12	24,1	2	0	0

В июле в ЮФО сохранялась жаркая погода, температура воздуха превышала норму на 1-6 °С (таблица 3) и максимально поднималась днем до 35-40 °С. За месяц в регионе выпало от 10 до 30 мм (местами до 50-70 мм и более). Влагозапасы в пахотном слое почвы под сельскохозяйственными культурами преимущественно пониженные – менее 20 мм и низкие – менее 10 мм, на отдельных полях достаточные. Условия для роста и развития сельскохозяйственных культур сохранялись неблагоприятными. В Ростовской, Волгоградской областях и Краснодарском крае продолжалась почвенная засуха.

Таблица 3 – Метеорологические показатели июля 2024 г.

Table 3 – Meteorological indicators for July 2024

Июль 2024 / July 2024						
Регион ЮФО / Region of the Southern Federal District	Декады / Decades	ГТК / Hydrothermal coefficient	T, °C	ΔT, °C	R, мм	ΔR, %
Астраханская область / Astrakhan region	I	0,20	28,9	4	1	5
	II	2,06	28,3	2	0	0
	III	2,78	25,3	-1	28	274
Волгоградская область / Volgograd region	I	1,11	27,1	5	15	102
	II	2,40	25,8	3	1	11
	III	2,29	22,4	-1	25	187
Ростовская область / Rostov region	I	0,40	28,5	6	1	4
	II	0,81	28,5	5	0	0
	III	1,12	24,2	-1	17	124
Республика Калмыкия / Republic of Kalmykia	I	1,61	29,4	5	4	21
	II	0,13	29,0	4	1	3
	III	1,42	26,3	1	13	113
Краснодарский край / Krasnodarskiy kray	I	1,10	28,3	5	7	33
	II	0,82	28,8	5	8	42
	III	1,62	25,2	1	25	155
Республика Крым / Republic of Crimea	I	1,69	27,3	4	1	3
	II	2,34	28,9	6	14	170
	III	1,42	25,6	1	9	60

В августе в ЮФО по-прежнему удерживалась жаркая погода (таблица 4). Температура днем в первой половине месяца повышалась до 33-38 °С, во второй половине – до 28-35 °С. В начале месяца прошли небольшие дожди в ряде районов Ростовской и Волгоградской областей, а в отдельных районах Краснодарского края дожди были сильными и выпало до 55-71 мм осадков. На большинстве полей Ростовской, Волгоградской областей и Краснодарском крае под пропашными культурами продолжалась почвенная засуха.

Таблица 4 – Метеорологические показатели августа 2024 г.

Table 4 – Meteorological indicators for August 2024

Август 2024 / August 2024						
Регион ЮФО / Region of the Southern Federal District	Декады / Decades	ГТК / Hydrothermal coefficient	T, °C	ΔT, °C	R, мм	ΔR, %
Астраханская область / Astrakhan region	I	1,41	25,7	0	11	190
	II	2,22	23,0	-2	2	27
	III	1,78	25,1	3	0	0
Волгоградская область / Volgograd region	I	0,57	22,3	-1	12	126
	II	0,60	20,4	-2	6	106
	III	1,06	23,5	4	0	0
Ростовская область / Rostov region	I	0,67	23,9	-1	12	124
	II	0,43	22,6	-1	1	10
	III	0,62	26,2	5	0	0
Республика Калмыкия Republic of Kalmykia	I	1,17	26,1	0	6	62
	II	0,22	24,2	-2	0	0
	III	0,09	25,9	3	1	11
Краснодарский край / Krasnodarskiy kray	I	1,44	24,7	-1	24	144
	II	0,66	24,3	1	2	14
	III	1,20	26,4	4	5	30
Республика Крым / Republic of Crimea	I	1,71	25,1	1	3	23
	II	0,76	24,6	1	6	72
	III	1,35	24,8	3	26	190

В сентябре на территории округа наблюдалась жаркая погода, средняя температура воздуха превышала норму на 2-4 °С (таблица 5), температура воздуха днем повышалась до 30-35 °С. В конце месяца в северо-восточных районах Ростовской и северных районах Волгоградской областей наблюдались заморозки, ночные температуры опускались от -1 до -3 °С. На большей части ЮФО эффективных осадков не было, лишь в Краснодарском крае и юго-западных районах Ростовской области прошли дожди и за месяц выпало от 15 до 62 мм осадков. Запасы влаги в верхнем слое почвы во многих регионах были самыми низкими за последние 10 лет. В Ростовской области продолжалась почвенная засуха. На фоне неблагоприятных условий темпы сева озимыми зерновыми культурами под урожай 2025 г. отставали на 0,4 млн га от прошлогодних показателей. В конце сентября ситуацию усугубила пыльная буря, которая накрыла Ростовскую, Волгоградскую, Астраханскую области, Республику Калмыкия и северо-восточные территории Краснодарского края.

Таблица 5 – Метеорологические показатели сентября 2024 г.

Table 5 – Meteorological indicators for September 2024

Сентябрь 2024 / September 2024						
Регион ЮФО / Region of the Southern Federal District	Декады / Decades	ГТК / Hydrothermal coefficient	T, °C	ΔT, °C	R, мм	ΔR, %
Астраханская область / Astrakhan region	I	1,25	21,5	2	0	2
	II	2,02	20,0	3	1	21
	III	1,28	16,8	2	0	0
Волгоградская область / Volgograd region	I	0,93	19,7	2	1	6
	II	0,02	18,7	4	0	0
	III	0,02	14,6	2	0	0
Ростовская область / Rostov region	I	1,40	22,1	3	6	34
	II	1,39	20,9	4	1	4
	III	0,72	17,6	3	0	0
Республика Калмыкия Republic of Kalmykia	I	0,03	22,5	3	1	5
	II	1,02	20,5	3	0	0
	III	1,03	17,5	2	2	26
Краснодарский край / Krasnodarskiy kray	I	1,51	23,5	4	20	91
	II	0,92	22,4	4	9	85
	III	0,96	19,3	3	1	4
Республика Крым / Republic of Crimea	I	1,60	22,5	3	21	160
	II	1,31	21,2	3	20	211
	III	1,11	19,1	3	0	0

На рисунке 1 представлено отклонение вегетационного индекса NDVI, отражающего состояние посевов озимых культур, относительно многолетней нормы, которое наблюдалось по данным спутникового мониторинга на территории ЮФО в конце сентября – начале октября 2024 г. Из-за недостаточного развития всходов озимых культур или их отсутствия индекс вегетации в нескольких регионах был ниже среднеемноголетних значений более чем на 25 %.

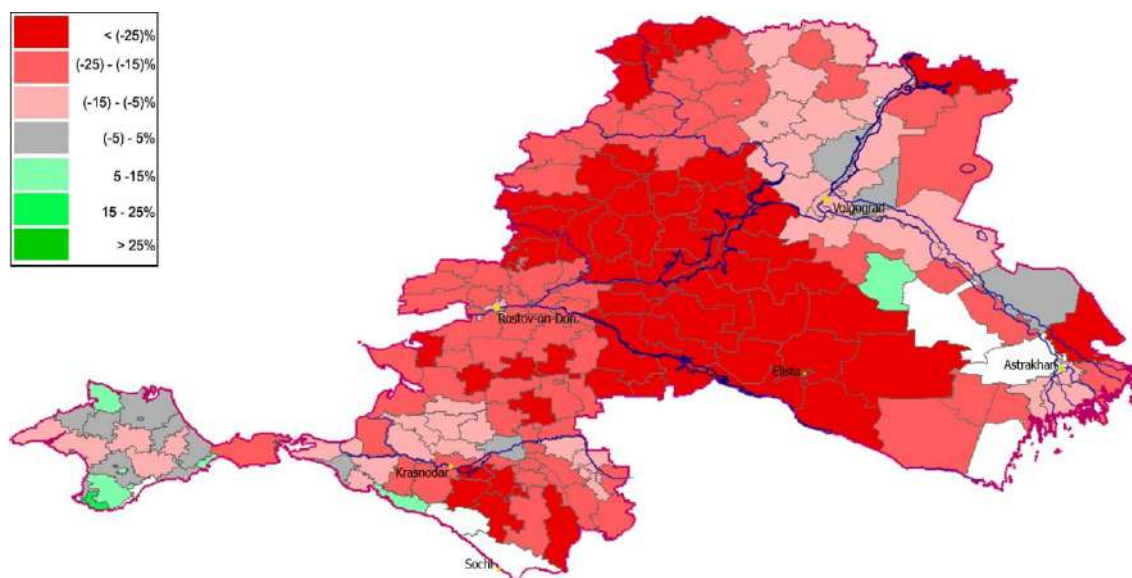


Рисунок 1 – Отклонение NDVI сельскохозяйственной растительности от многолетней нормы, 40 неделя (30 сентября – 6 октября) 2024 г.

Figure 1 – Deviation of NDVI of agricultural vegetation from perennial norm, week 40 (September 30 – October 6) 2024

В первой половине октября удерживалась теплая погода, днем температура воздуха поднималась до 25-32 °С, а во второй половине месяца теплообеспеченность растений понизилась, практически повсеместно на территории ЮФО наблюдались заморозки от -1 до -3 °С. В Республике Калмыкия, в Ростовской области, южных районах Волгоградской области и в некоторых районах Краснодарского края осадков выпало мало, от 10 до 20 мм. Из-за недостатка влаги в почве условия для роста и развития сельскохозяйственных культур были малоблагоприятными, в ряде районов почвенная засуха достигла опасных критериев (рисунок 2).



Рисунок 2 – Месячная величина гидротермического коэффициента по состоянию на 6 октября 2024 г.

Figure 2 – The monthly value of the hydrothermal coefficient as of October 6, 2024

На начало ноября агрометеорологические условия для развития озимых культур в большинстве регионов ЮФО также были малоблагоприятными (рисунок 3, 4).

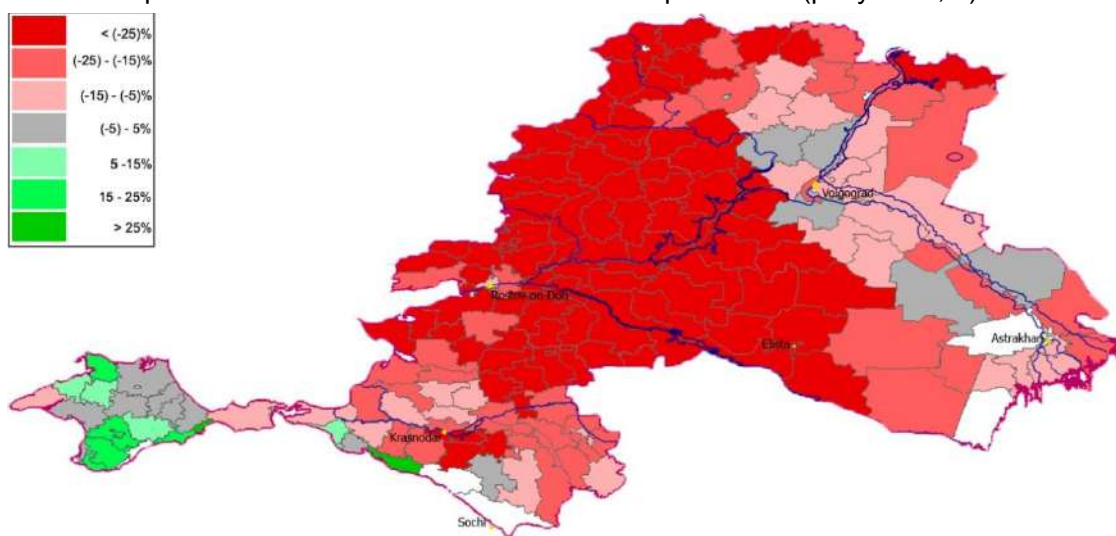


Рисунок 3 – Отклонение NDVI сельскохозяйственной растительности от многолетней нормы, 44 неделя (28 октября – 3 ноября) 2024 г.

Figure 3 – Deviation of NDVI of agricultural vegetation from perennial norm, 44 weeks (October 28 – November 3) 2024

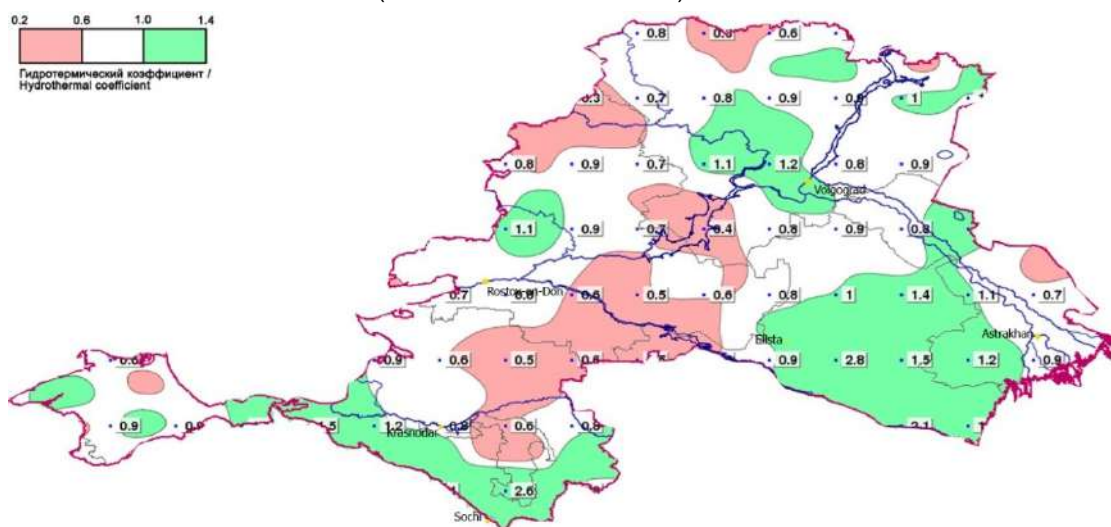


Рисунок 4 – Месячная величина гидротермического коэффициента по состоянию на 30 октября 2024 г.

Figure 4 – The monthly value of the hydrothermal coefficient as of October 30, 2024

В большинстве дней ноября в ЮФО удерживалась теплая погода, озимые зерновые культуры практически повсеместно вегетировали. Лишь ближе к концу месяца дневная температура воздуха понизилась до 1-4 °С, местами образовался небольшой снежный покров высотой 1-5 см и вегетация прекратилась. Агрометеорологические условия для появления всходов и начального развития озимых культур в большинстве районов были удовлетворительными. На большей части ЮФО эффективных осадков не было, лишь на востоке Волгоградской области и юго-западе Ростовской области выпало 15-25 мм осадков за месяц, в остальных регионах сохранялся дефицит влаги в почве.

Регионы с задержкой развития озимых зерновых культур можно определить при сопоставлении композитных изображений NDVI, полученных на основе спутниковых данных MODIS. Так в начале ноября 2024 г. значение NDVI в регионах ЮФО было ниже, чем в аналогичный период в 2023 г. (рисунок 5). На рисунке 6 представлен пространственный охват сложившейся ситуации с посевами озимых культур под урожай 2025 года.

В декабре температура воздуха в ЮФО была на 2-3 °С выше нормы, средняя температура воздуха составила -3 °С, а в южной половине территории от 1 до 5 °С. Во второй декаде месяца температура кратковременно понижалась от -7 до -11 °С. На крайнем юге Краснодарского края в теплые дневные часы наблюдался слабый рост озимых культур, в других регионах ЮФО вегетация озимых зерновых культур не возобновлялась. На большей части округа осадков за месяц выпало 15-30 мм. В западных районах Ростовской области и Краснодарском крае выпало от 45 до 55 мм осадков. За последние три месяца на Юге России выпало 40-60 % от нормы осадков. В конце третьей декады снег на полях наблюдался лишь в северной половине Волгоградской области. Зимовка озимых на большей части округа проходила при вполне удовлетворительных условиях, однако плохое состояние озимых зерновых фиксировалось в Ростовской области (37 %), Краснодарском крае (24,8 %).

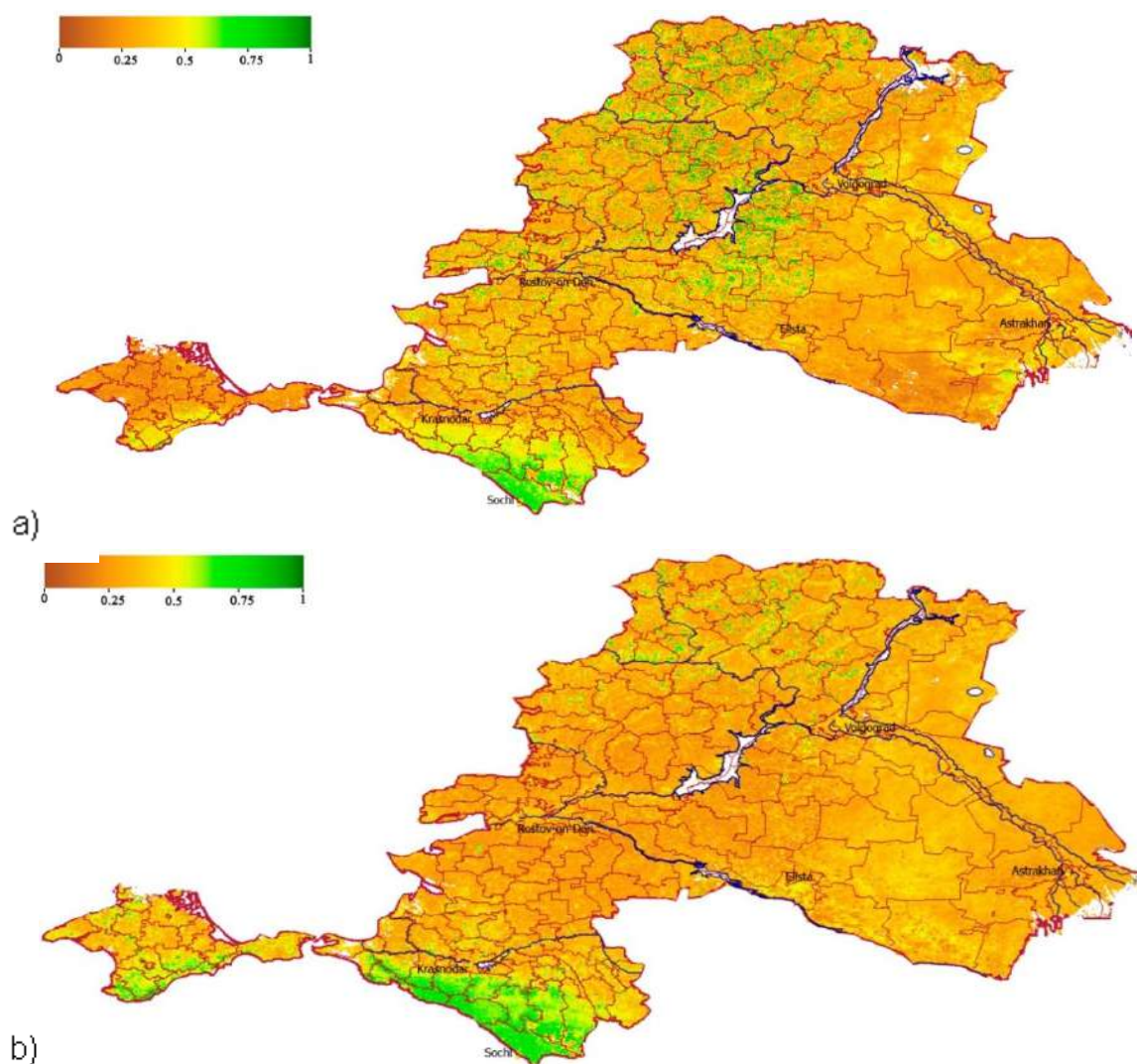


Рисунок 5 – Композитные изображения NDVI за 05.11.2023 г. (a) и 05.11.2024 г. (b)

Figure 5 – Composite NDVI images for 05.11.2023 г. (a) and 05.11.2024 г. (b)

В январе 2025 года температура воздуха в ЮФО была на 5-7 °С выше нормы, средняя температура воздуха была 2 °С, максимально температура повышалась от 10 до 15 °С, а в Краснодарском крае местами до 18 °С. На большей части территории осадков было мало (10-20 мм), лишь в Краснодарском крае в январе выпало 25-35 мм осадков. Небольшой снежный покров наблюдался в ряде северных районов территории в первой декаде месяца.

В первых числах февраля температура воздуха в ЮФО составляла в среднем от 2 °С до 4 °С, в южных регионах она повышалась до 7-10 °С, наблюдался слабый рост озимых в дневные часы. Затем с 5 февраля температура воздуха понизилась до значений от

-2 до -9 °С, что на 2 °С ниже нормы. В первой половине месяца 10-25 мм осадков выпали в западных районах Волгоградской, Ростовской областей и Краснодарского края. На остальной территории количество осадков было незначительным. Условия для накопления влаги к весне сохраняются неблагоприятными.

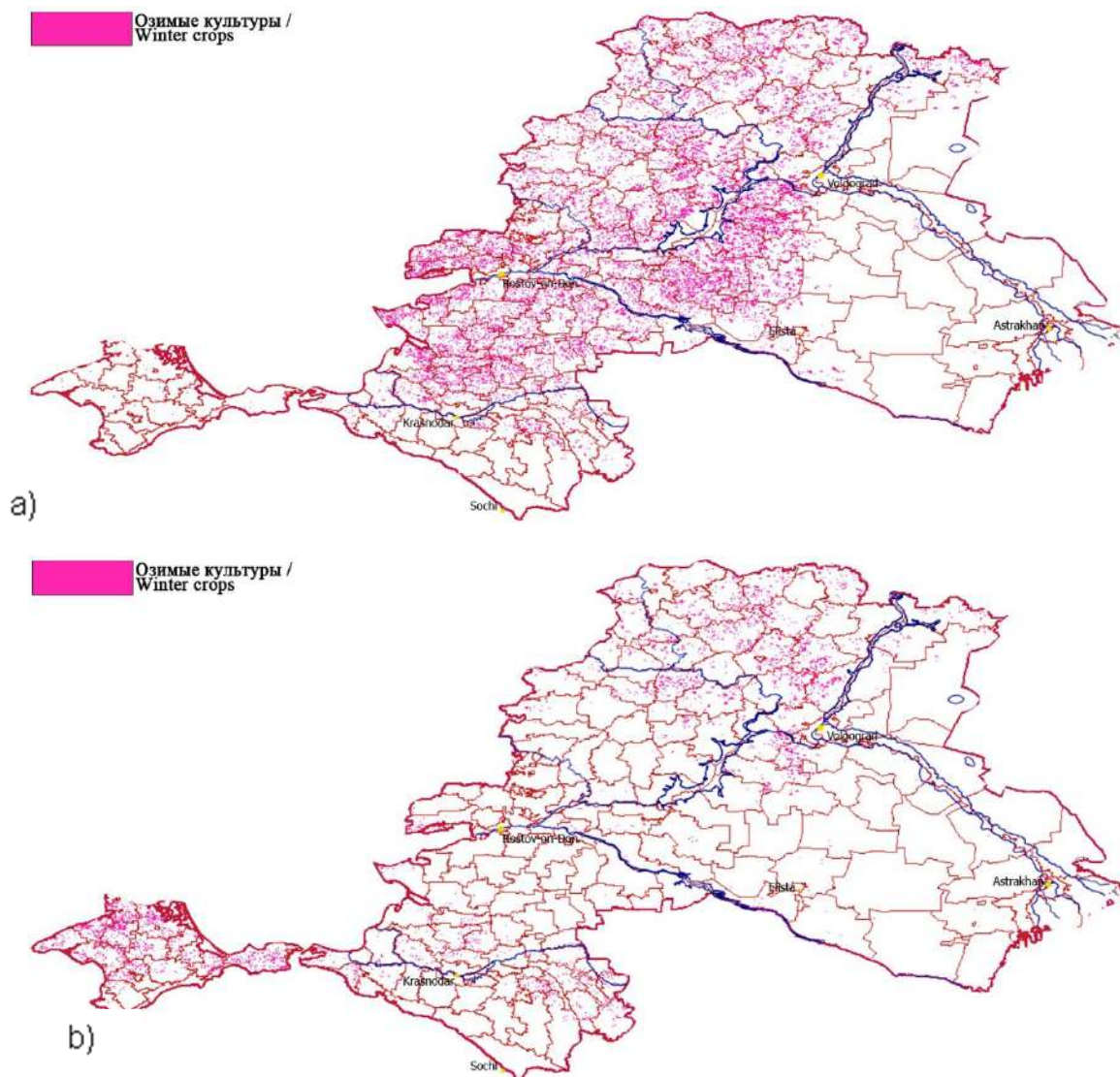


Рисунок 6 – Озимые культуры в фазе активной осенней вегетации:

а – 25 ноября 2023 г., б – 24 ноября 2024 г.

Figure 6 – Winter crops in the phase of active autumn vegetation:

а – November 25, 2023, б – November 24, 2024

В дальнейшем мы продолжим свои наблюдения за агроклиматическими условиями возделывания зерновых сельскохозяйственных культур в южных регионах РФ с последующей оценкой их урожайности за многолетний период на основе спутниковой и наземной информации.

Заключение. В 2024 году агрометеорологические условия при возделывании зерновых сельскохозяйственных культур были в основном удовлетворительными. В мае в Ростовской и Волгоградской областях постановлениями губернаторов регионов был введен режим чрезвычайной ситуации (ЧС) в связи с потерей посевов из-за заморозков (в Ростовской области 211 тыс. га, а в Волгоградской области – 190 тыс. га). В июне в Ростовской области, а в августе в Волгоградской области, аномально высокая температура воздуха, дефицит осадков, отсутствие влаги в пахотном слое привели к почвенной засухе, по этой причине в этих регионах был также объявлен режим ЧС. В конце сентября ситуацию усугубила пыльная буря, которая

накрыла Ростовскую, Волгоградскую, Астраханскую области, Республику Калмыкия и северо-восточные территории Краснодарского края. Дефицит влаги в период осеннего сева озимых культур и аномально теплые зимние месяцы могут обернуться потерей урожая 2025 года.

Наличие рисков дальнейшего неблагоприятного развития озимых делает целесообразным проведение их анализа по спутниковым данным после возобновления весенней вегетации в 2025 году. Компьютерное картографирование позволяет не только визуализировать данные исследований, но и обрабатывать большие объемы пространственно-временной информации об изучаемых процессах и явлениях.

Своевременные и точные сведения, получаемые на основе спутниковых данных, о территории распространения неблагоприятных погодно-климатических явлений (засух, пыльных бурь, заморозков и т.д.) и мониторинг состояния посевов сельскохозяйственных культур важны сельхозтоваропроизводителям и органам государственной власти субъектов Российской Федерации для принятия оперативных решений.

Conclusions. In 2024, the agrometeorological conditions for the cultivation of grain crops were generally satisfactory. In May, an emergency regime was introduced in the Rostov and Volgograd regions by the resolutions of the regional governors in connection with the loss of crops due to frosts (211 thousand hectares in the Rostov region, and 190 thousand hectares in the Volgograd region). In June in the Rostov region, and in August in the Volgograd region, abnormally high air temperatures, lack of precipitation, and lack of moisture in the arable layer led to soil drought, which is why an emergency regime was also declared in these regions. At the end of September, the situation was aggravated by a dust storm that covered the Rostov, Volgograd, Astrakhan regions, the Republic of Kalmykia and northeast of the Krasnodar Territory. The lack of moisture during the autumn sowing of winter crops and the abnormally warm winter months may result in the loss of the 2025 harvest.

The presence of risks of further unfavorable development of winter crops makes it advisable to analyze them using satellite data after the resumption of spring vegetation in 2025. Computer mapping allows not only to visualize research data, but also to process large amounts of spatiotemporal information about the processes and phenomena under study. Timely and accurate information obtained on the basis of satellite data on the territory of distribution of adverse weather and climatic events (droughts, dust storms, frosts, etc.) and monitoring of the state of crops are important for agricultural producers and government authorities of the subjects of the Russian Federation to make operational decisions.

Библиографический список

1. Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство): Национальный доклад. Москва: МБА, 2021. Т. 3. 700 с.
2. Титкова Т. Б., Золотокрылин А. Н., Тарасова М. А. Соотношение тепла и влаги в сельскохозяйственных районах юга России в летний период при изменении климата. Метеорология и гидрология. 2023. № 9. С. 72-85.
3. Беляков А. М., Беленков А. И. Агроэкологический анализ состояния современного земледелия засушливой зоны на примере Волгоградской области. Экологический вестник Северного Кавказа. 2024. Т. 20. № 1. С. 136-143.
4. Павлова В. Н., Богданович А. Ю., Семенов С. М. Об оценке благоприятности климата для культивирования зерновых исходя из частоты сильных засух. Метеорология и гидрология. 2020. № 12. С. 95-101.
5. Ткаченко Н. А. Засухи и урожайность зерновых культур в Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. Т. 52. № 4. С. 171-178.
6. Беляков А. М., Назарова М. В. Анализ погоды в Волгоградской области за длительный период времени и урожай зерновых культур. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020. Т. 59. № 3. С. 71-79.
7. Tian Wang, et al. Drought prediction: Insights from the fusion of LSTM and multi-source factors. Science of the Total Environment. 2023. V. 902. P. 166361.
8. Wu B., Ma Z., Yan N. Agricultural drought mitigating indices derived from the changes in drought characteristics. Remote Sensing of Environment. 2020. V. 244. Pp. 111813.
9. Zeng Jingyu et al. An improved global vegetation health index dataset in detecting vegetation drought. Springer Nature. 2023.
10. Tang J. et al. Self-adapting extraction of cropland phenological transitions of rotation agroecosystems using dynamically fused NDVI images. International Journal of Biometeorology. 2020. V. 64. Pp. 1273-1283.
11. Клещенко А. Д., Савицкая О. В. Оценка урожайности озимой пшеницы с использованием метода главных компонент на основе комплексирования спутниковой и наземной информации. Метеорология и гидрология. 2021. № 12. С. 127-136.
12. Клещенко А. Д., Савицкая О. В., Косякин С. А. Оценка средней районной урожайности озимой пшеницы по спутниковой и наземной метеорологической информации. Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2020. Т. 377. № 3. С. 103-121.
13. Плотников Д. Е., Ёлкина Е. С., Дунаева Е. А., Хвостиков С. А., Лупян Е. А., Барталёв С. А. Развитие метода автоматического распознавания озимых культур на основе спутниковых данных для оценки их состояния на территории Республики Крым. Таврический вестник аграрной науки. 2020. Т. 21. № 1. С. 64-82.

14. Лупян Е. А., Денисов П. В., Серeda И. И., Трошко К. А., Плотников Д. Е., Толпин В. А. Наблюдение развития озимых культур в южных регионах России весной 2020 г. на основе данных дистанционного мониторинга. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 2. С. 285-291.

15. Серeda И. И., Денисов П. В., Трошко К. А., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Толпин В. А. Уникальные условия развития озимых культур, наблюдаемые по данным спутникового мониторинга на европейской территории России в октябре 2020 г. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 5. С. 304-310.

16. Weiss M., Jacob F., Duveiller G. Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. Remote Sensing of Environment. 2020. V. 236. P. 111402.

17. Franch B., Vermote E. F., Skakun S., Roger J.C., Becker-Reshef I., Murphy E., Justice C. Remote sensing based yield monitoring: Application to winter wheat in United States and Ukraine. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2019. V. 76. Pp. 112-127.

18. Segarra J., Buchailot M. L., Araus J. L., Kefauver S. C. Remote sensing for precision agriculture: Sentinel-2 improved features and applications. Agronomy. 2020. V. 10. No. 5. P. 641.

19. Basso B., Liu L. Seasonal crop yield forecast: methods, applications, and accuracies. Advances in Agronomy. 2019. V. 154. Pp. 201-255.

20. Zhou, Q., Ismaeel, A. Integration of maximum crop response with machine learning regression model to timely estimate crop yield. Geo-Spatial Information Science. 2021. V. 24 (3). Pp. 474-483.

21. Gaso, D. V., Berger A. G., Ciganda V. S. Predicting Wheat Grain Yield and Spatial Variability at Field Scale Using a Simple Regression or a Crop Model in Conjunction with Landsat Images. Computers and Electronics in Agriculture. 2019. V. 159. Pp. 75-83.

References

1. Global climate and soil cover of Russia: manifestations of drought, prevention, control measures, elimination of consequences and adaptation measures (agriculture and forestry): National report. Moscow: MBA, 2021. V. 3. 700 p.

2. Titkova T. B., Zolotokrylin A. N., Tarasova M. Summer heat and moisture ratio in agricultural regions of southern Russia in a changing climate. Meteorology and Hydrology. 2023. No 9. Pp. 72-85.

3. Belyakov A. M., Belenkov A. I. Agroecological analysis of the state of modern agriculture in the arid zone by the example of the Volgograd region. Ecological Bulletin of the North Caucasus. 2024. V. 20. No. 1. Pp. 136-143.

4. Pavlova V. N., Bogdanovich A. Yu., Semenov S. M. Assessment of climate favorability for the grain cultivation based on the frequency of severe droughts. Meteorology and Hydrology. 2020. No. 12. Pp. 95-101.

5. Tkachenko N. A. Droughts and yield of cereal crops in Volgograd region. Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and higher education. 2018. V. 52. No. 4. Pp. 171-178.

6. Belyakov A. M., Nazarova M. V. Analysis of weather in Volgograd region for a long period of time and grain crop productivity. Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and higher education. 2020. V. 59. No. 3. Pp. 71-79.

7. Tian Wang, et al. Drought prediction: Insights from the fusion of LSTM and multi-source factors. Science of the Total Environment. 2023. V. 902. P. 166361.

8. Wu B., Ma Z., Yan N. Agricultural drought mitigating indices derived from the changes in drought characteristics. Remote Sensing of Environment. 2020. V. 244. Pp. 111813.

9. Zeng Jingyu et al. An improved global vegetation health index dataset in detecting vegetation drought. Springer Nature. 2023.

10. Tang J. et al. Self-adapting extraction of cropland phenological transitions of rotation agroecosystems using dynamically fused NDVI images. International Journal of Biometeorology. 2020. V. 64. Pp. 1273-1283.

11. Kleshchenko A. D., Savitskaya O. V. Estimation of winter wheat yield using the principal component analysis based on the integration of satellite and ground information. Meteorology and Hydrology. 2021. V. 46. No 12. Pp. 127-136.

12. Kleshchenko A. D., Savitskaya O. V., Kosyakin S. A. Estimation of the average district winter wheat yield based on satellite and ground meteorological data. Hydrometeorological research and forecasting. 2020. V. 377. No 3. Pp. 103-121.

13. Plotnikov D. E., Elkina E. S., Dunaieva I. A., Khvostikov S. A., Loupian E. A., Bartalev S. A. Development of the method for automatic winter crops mapping by means of remote sensing aimed at crops state assessment over the republic of Crimea. Taurida herald of the agrarian sciences. 2020. V. 21. No. 1. Pp. 64-82.

14. Loupian E. A., Denisov P. V., Sereda I. I., Troshko K. A., Plotnikov D. E., Tolpin V. A. Analysis of winter crops development in the southern regions of Russia in spring 2020 based on remote monitoring. Current problems in remote sensing of the Earth from space. 2020. V. 17. No. 2. Pp. 285-291.

15. Sereda I. I., Denisov P. V., Troshko K. A., Loupian E. A., Plotnikov D. E., Tolpin V. A. The unique situation of winter crops development observed from remote sensing data in the European territory of Russia in October 2020. Current problems in remote sensing of the Earth from space. 2020. V. 17. No. 2. Pp. 304-310.

16. Weiss M., Jacob F., Duveiller G. Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. Remote Sensing of Environment. 2020. V. 236. P. 111402.

17. Franch B., Vermote E.F., Skakun S., Roger J.C., Becker-Reshef I., Murphy E., Justice C. Remote sensing based yield monitoring: Application to winter wheat in United States and Ukraine. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2019. V. 76. Pp. 112-127.

18. Segarra J., Buchailot M. L., Araus J. L., Kefauver S. C. Remote sensing for precision agriculture: Sentinel-2 improved features and applications. Agronomy. 2020. V. 10. No 5. P. 641.

19. Basso B., Liu L. Seasonal crop yield forecast: methods, applications, and accuracies. Advances in Agronomy. 2019. V. 154. Pp. 201-255.

20. Zhou, Q., Ismaeel, A. Integration of maximum crop response with machine learning regression model to timely estimate crop yield. Geo-Spatial Information Science. 2021. V. 24 (3). Pp. 474-483.

21. Gaso, D. V., Berger A. G., Ciganda V. S. Predicting Wheat Grain Yield and Spatial Variability at Field Scale Using a Simple Regression or a Crop Model in Conjunction with Landsat Images. Computers and Electronics in Agriculture. 2019. V. 159. Pp. 75-83.

Информация об авторах

Ткаченко Наталья Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), ORCID: 0000-0003-4526-5195, e-mail: tkachenkon@vifanc.ru
Кошелев Александр Валентинович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией, 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

Authors' Information

Tkachenko Natalia Aleksandrovna, Candidate of Agricultural Sciences, 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: 0000-0003-4526-5195, e-mail: tkachenkon@vifanc.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

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-26

MODERN EXPERIENCE OF THE PHOSPHOGYPSUM APPLICATION IN AGRICULTURE AND THE PROSPECTS OF ITS APPLICATION IN THE PROTECTIVE AFFORESTATION**Khuzhakhmetova A. Sh., Igolnikova I. S., Ivanchenko T. V.**

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

Corresponding author E-mail: avfanc@yandex.ru

Received 09.09.2025

Submitted 28.10.2025

The research was carried out on the topic of the State assignment of the Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences: "Creation of new genotypes, varieties, forms of woody, shrubby, cultivated plants with highly valuable traits of productivity, quality, resistance to bio- and abiotic 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" (FNFE-2025-0009), Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

Summary

An analysis of the results of the use of phosphogypsum in different soil and climatic conditions of the European part of Russia was carried out, which showed a positive effect of the ameliorant on the quality of products and the main physical, chemical and biological properties of the soil in sparsely forested regions.

Abstract

Introduction. In connection with the tightening of national regulatory requirements in the field of greenhouse gas emissions, mineral fertilizer producers are interested in developing effective methods and directions for the use of by-products that are formed in huge quantities during the extraction and production of mineral fertilizers. **Objects, materials and methods.** 450 scientific papers of Russian and foreign researchers on the problem of using phosphogypsum in various fields were studied. The information search was carried out in the electronic library E-library, in the systems Springer Nature Link, Research Gate. The further review included publications that present the results of studies on the introduction of the ameliorant during the cultivation of the main agricultural crops in the subjects of Russia (Central, Volga, Southern Federal Districts). **Results and Conclusions.** The paper shows the progress in research on the use of phosphogypsum in the cultivation of agricultural plants over the past decade. The stages and content of analytical procedures for searching for studies by Russian and foreign researchers on the problem of using phosphogypsum in various fields have been developed, based on the results of which a sample of experiments on the effectiveness of applying the ameliorant in the cultivation of major agricultural crops in the subjects of the Central, Volga and Southern Federal Districts has been compiled. Optimal doses and timing of applying the ameliorant for growing environmentally friendly crop products have been identified. Potential areas (12 million hectares) for using phosphogypsum in agroforestry improvement of degraded territories have been established.

Keywords: *phosphogypsum, degraded territories, forest reclamation, meliorants, protective afforestation.*

Citation. Khuzhakhmetova A. Sh., Igolnikova I. S., Ivanchenko T. V. Modern experience of the phosphogypsum application in agriculture and the prospects of its application in the protective afforestation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 238-247 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-26.

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

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

УДК 631.8:630*232.22

**СОВРЕМЕННЫЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФОГИПСА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ
И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В ЗАЩИТНОМ ЛЕСОРАЗВЕДЕНИИ**

Хужахметова А. Ш., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
Игольникова И. С., аспирант, инженер-исследователь

Иванченко Т. В., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

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

Исследования выполнены по теме Государственного задания Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН: «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» (№ FNFE-2025-0009), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Актуальность. В связи с ужесточением национальных нормативных требований в области выбросов парниковых газов производители минеральных удобрений заинтересованы в разработке эффективных методов и направлений использования побочных продуктов, которые в огромных количествах образуются при добыче и производстве минеральных удобрений. **Объекты, материалы и методы.** Изучено 450 научных работ российских и зарубежных исследователей по проблеме использования фосфогипса в различных областях. Поиск информации осуществлялся в электронной библиотеке E-library, в системах Springer Nature Link, Research Gate. В дальнейший обзор включены публикации, в которых представлены результаты исследований по внесению мелиоранта при возделывании основных сельскохозяйственных культур в субъектах России (Центральный, Приволжский, Южный федеральные округа). **Результаты и выводы.** В статье показан прогресс в исследованиях по использованию фосфогипса при возделывании сельскохозяйственных растений за последнее десятилетие. Разработаны этапы и содержание аналитических процедур поиска исследований российских и зарубежных исследователей по проблеме использования фосфогипса в различных областях, по результатам которых составлена выборка опытов по эффективности применения мелиоранта при возделывании основных сельскохозяйственных культур в субъектах Центрального, Приволжского и Южного федеральных округов. Определены оптимальные дозы и сроки внесения мелиоранта для выращивания экологически чистой растениеводческой продукции. Установлены потенциальные площади (12 млн га) использования фосфогипса при агролесомелиоративном улучшении деградированных территорий.

Ключевые слова: фосфогипс, деградированные территории, лесомелиорация, мелиоранты, защитное лесоразведение.

Цитирование. Хужахметова А. Ш., Игольникова И. С., Иванченко Т. В. Современный опыт применения фосфогипса в сельском хозяйстве и перспективы применения в защитном лесоразведении. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 238-247. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-26.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В России по разным оценкам запасы фосфатов в фосфоритах оцениваются в 217 млн т и 708 млн т в апатитах [1]. Учитывая, современный тренд, связанный с декарбонизацией производства удобрений [2], особое внимание уделяется эмиссии парниковых газов на всех этапах жизненного цикла продукции, включая технологии использования/утилизации сопутствующих побочных продуктов [3-10]. Одним из примеров вторичного использования побочных продуктов в России – это подписанное в 2023 году соглашение по реализации инвестиционного проекта по переработке и извлечению редкоземельных металлов (РЗМ) из фосфогипса (ФГ). «Планируется, что его I очередь проектной производительностью по переработке 132 тыс. т ФГ и 500 т РЗМ в год была запущена в I квартале 2024 г. В 2025-2026 гг. его мощность составит примерно 1 млн т фосфогипса в год с увеличением переработки РЗМ до 4 тыс. т/год; также будет запущено производство по разделению концентрата среднетяжелой группы РЗМ» [11].

Фосфогипс – это многотоннажный побочный продукт, получаемый при переработке фосфоритов и апатитов, и состоящий из сульфата кальция, а также ряда примесей, которые зависят от технологии обработки фосфоритного сырья и условий хранения [1, 12]. Накопленные объемы ФГ оказывают негативное влияние на окружающую среду места их

хранения, так как содержат некоторые тяжёлые металлы и радиоактивные элементы [12]. Поэтому крайне важно обеспечить, чтобы воздействие этих примесей не превышало международных стандартов.

В национальных стандартах (ГОСТ Р 58658-2019, ГОСТ Р 58663-2019) России введены жесткие ограничения на содержание кадмия в удобрениях (за исключением органических и органоминеральных), сельскохозяйственной продукции и сырье.

Цель – провести анализ мирового и российского опыта применения фосфогипса в сельском хозяйстве для прогноза применения в качестве мелиоранта в защитном лесоразведении.

Объекты и методы исследований. Изучено 450 научных работ российских и зарубежных исследователей по проблеме применения фосфогипса в разных сферах. Информационный поиск осуществлен в электронной библиотеке E-library, в системах Springer Nature Link, Research Gate. В соответствии с рекомендациями по оформлению дизайна исследований [13, 14, 15] из массива публикаций по ключевым словам («фосфогипс», «технологии выращивания», «сельскохозяйственные культуры»), связанных с целью исследований, были выделены публикации по направлению сельского хозяйства. В дальнейшем обзоре участвовали публикации, в которых приведены результаты исследований по внесению ФГ при культивировании основных сельскохозяйственных культур в субъектах России (Центральный, Приволжский, Южный федеральные округа; рисунок 1).



Рисунок 1 – Этапы и содержание аналитических процедур исследований по применению ФГ

Figure 1 – Stages and content of analytical procedures for studies on the use of FG

Для каждого субъекта определен валовый объем возделываемых культур в структуре производства аграрного сектора на основе открытых данных статистических сборников, докладов Росстата, Минсельхоза, Рослесхоза [16, 17, 18].

Результаты и обсуждение. Некоторые регионы ЮФО и ПФО расположены в полупустынной, степной и лесостепной зоне европейской территории России, что и определяет низкие показатели лесистости территорий. Лесохозяйственные мероприятия, направленные на повышение лесистости территорий регионов проводятся в недостаточном объеме (таблица 1).

Кулик К. Н. [19] отмечает, что «...площадь сельхозугодий в РФ, подверженных эрозии и дефляции, увеличилась на 22 млн га и составила 126 млн га. Площадь заволашеванных земель достигла около 8 млн га среднегодовой прирост эродированных земель достигает 0,4-0,5 млн га».

Засоленные почвы не имеют строгой приуроченности к какой-либо определенной зоне, являясь интразональными, встречаются в различных почвенно-климатических зонах. Больше всего эти почвы распространены в зоне сухих степей, полупустынь и пустынь. Установлено, что объемы работ по химической мелиорации также не достигают необходимых показателей [20]. В Краснодарском крае общая площадь засоленных земель составляет 166,3 тыс. га, из которых на рисовых оросительных системах находится около 80,0 тыс. га (в т.ч. 8 тыс. га сильно- и средnezасоленных). Почвы характеризуются неблагоприятными условиями для возделывания на них культурных растений, так как они содержат поглощенный натрий, сильно уплотнены, слабо водо- и воздухопроницаемы [21, 22].

Многочисленными исследованиями также доказано [23, 24], что искусственные насаждения при агролесомелиоративном обустройстве способны обеспечить необходимые условия для роста и развития сельскохозяйственных растений за счет улучшения почвенно-гидрологических, климатических параметров территории [25, 26, 27]. Вместе с тем, деревья и кустарники, как и сельскохозяйственные культуры, испытывают стресс при произрастании на непригодных и условно лесопригодных почвах [28]. Опыт применения высоких доз ФГ (от 15 до 30 т/га) на почвах с разной степенью лесопригодности в зеленой зоне г. Астаны (Республика Казахстан) показал неоднозначные результаты и необходимость более длительных исследований по оценке влияния мелиоранта на рост древесных видов [29]. Авторы отмечают, что дозы внесения ФГ достоверно не повлияли на приживаемость и рост вяза перистоветвистого на почвах с разной лесопригодностью: на ограниченно-лесопригодных почвах растения имели высоту 0,41 м, на условно-лесопригодных и нелесопригодных почвах – 0,38 м.

Таблица 1 – Лесные ресурсы и лесовосстановление [17]

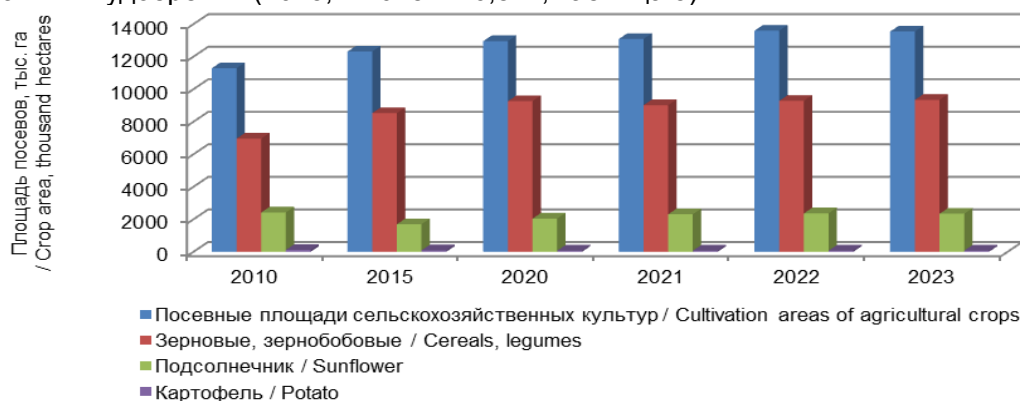
Table 1 – Forest resources and reforestation [17]

Федеральный округ, субъект / Federal District, Subject	2023				Лесовосстановление, тыс. га / Reforestation, thousand hectares					
	Площадь земель лесного фонда и земель иных категорий, на которых расположены леса, тыс. га / Area of forest lands and lands of other categories on which forests are located, thousand hectares		Лесистость территорий, % / Forest cover of territories, %	Общий запас древесины, млн м ³ / Total timber reserves, million m ³	2010	2015	2020	2021	2022	2023
	Всего / Total	из нее покрытая лесом / from it covered with forest								
ЮФО / Southern Federal District	3790	2943	6,5	531,4	5,7	3,2	4,7	5,1	4,9	5,5
Краснодарский край / Krasnodar region	1681	1521	20,1	348,9	1,1	0,7	Н.д./ n.d.	0,6	Н.д./ n.d.	0,2
Астраханская область / Astrakhan region	278	95	1,8	6,8	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
Волгоградская область / Volgograd region	696	473	4,2	37,7	1,8	0,9	1,3	1,5	1,5	1,6
Ростовская область / Rostov region	375	244	2,4	18,7	1,5	0,9	1,5	1,6	1,7	1,9
ПФО / Volga Federal District	41244	37811,0	36,5	5735	89,2	109,8	132,1	129,2	136,4	133,8
Самарская область / Samara region	764	687,0	12,8	86,0	1,2	1,2	0,8	1,7	1,7	1,7
Саратовская область / Saratov region	720	612,0	6,0	68,0	1,6	2,0	1,1	1,0	1,7	3,3

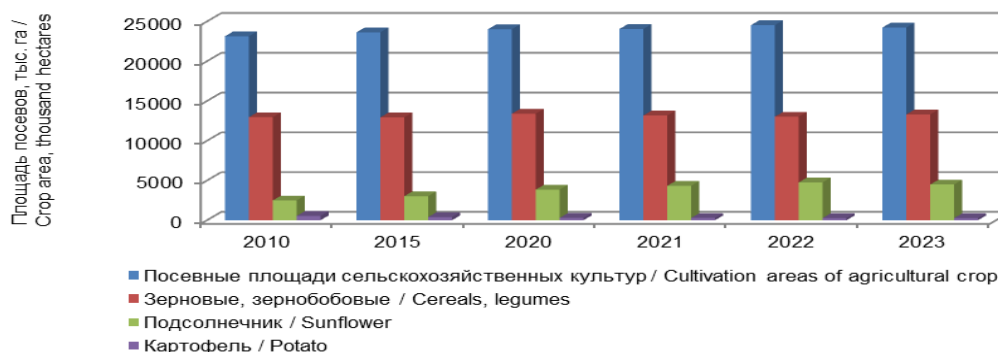
н.д. – данные не публикуются в целях обеспечения конфиденциальности первичных статистических данных, полученных от организаций / n.d. – data are not published in order to ensure the confidentiality of primary statistical data received from organizations.

Сельхозпроизводители, специализирующиеся на зерновых культурах, распределены на территории России неравномерно. Рассмотрены субъекты в Южном (Краснодарский край, Ростовская и Волгоградская области) и Приволжском (Саратовская, Самарская области) федеральных округах, специализирующихся на производстве зерновых и зернобобовых культур, с традиционно высокими валовыми объемами производства этих культур при высоких показателях урожая и площадях возделывания (рисунок 2). В структуре производства зерновых культур ЮФО значительную часть занимает озимая пшеница; в ПФО – яровая пшеница, ячмень.

Сложные почвенно-климатические условия во многом определяют продуктивность сельскохозяйственных культур. Для преодоления или минимизации потерь урожая происходит: постоянное совершенствование технологий возделывания, создание и внедрение устойчивых и высокопродуктивных сортов, разработка новых удобрений, препаратов и регламент их применения и т.д. В Волгоградской области на 1 га посевов вносится 43,1 кг минеральных удобрений (2023; в 2015 – 16,8 кг, таблица 3).



а



б

Рисунок 2 – Структура посевных площадей по основным сельскохозяйственным культурам (в хозяйствах всех категорий, тыс. га): а – по ЮФО, б – по ПФО [17]
Figure 2 – Structure of sown areas for the main agricultural crops (in farms of all categories, thousand hectares): а – for the Southern Federal District, б – for the Volga Federal District [17]

Таблица 3 – Внесение удобрений на 1 га посева сельскохозяйственных культур в сельскохозяйственных предприятиях (без учета микропредприятий) [17]
Table 3 – Application of fertilizers per 1 ha of agricultural crops in agricultural enterprises (excluding microenterprises) [17]

Федеральный округ, субъект / Federal District, Subject	Минеральные удобрения*, кг / Mineral fertilizers*, kg						Органические удобрения, т / Organic fertilizers, t					
	2010	2015	2020	2021	2022	2023	2010	2015	2020	2021	2022	2023
ЮФО / Southern Federal District	59,9	69,0	100,7	103,1	100,2	104,2	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7
Краснодарский край / Krasnodar region	99,5	118,2	158,6	154,0	138,0	139,6	1,9	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5
Астраханская область / Astrakhan region	44,8	121,4	265,3	н.д./ n.d.	н.д./ n.d.	н.д./ n.d.	0,1	н.д./ n.d.	н.д./ n.d.	н.д./ n.d.	н.д./ n.d.	н.д./ n.d.
Волгоградская область / Volgograd region	19,9	16,8	33,5	40,9	42,2	43,1	0	0	0	0	0	0
Ростовская область / Rostov region	50,4	59,3	96,8	104,0	110,3	118,5	0,3	0,3	0,5	0,4	0,4	0,4
ПФО / Volga Federal District	28,5	21,8	39,6	48,8	48,4	50,6	1,0	1,0	1,3	1,3	1,3	1,3
Самарская область / Samara region	18,3	17,3	32,9	42,4	42,2	41,6	0,2	0,3	0,5	0,5	0,4	0,4
Саратовская область / Saratov region	4,9	6,1	15,7	26,8	26,6	22,7	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1

*в перерасчете на 100 % питательных веществ / based on 100 % nutrients; н.д. – данные не публикуются в целях обеспечения конфиденциальности первичных статистических данных, полученных от организаций / n.d. – data are not published to ensure the confidentiality of primary statistical data received from organizations.

Этот региональный показатель ниже, чем в среднем по ЮФО на 58,6 %. Удельный вес удобренной площади органическими удобрениями по всей посевной площади небольшой (от 1,1 до 7,0 %) по всем регионам.

В выборке приведены рандомизированные исследования с низкими рисками смещений. Удаленность районов исследований от завода ЗАО «Балаковские минеральные удобрения» варьирует от 155 км (г. Энгельс, Саратовская область [30]) до 1270 км (Краснодарский край; таблица 4) поэтому учитывается при эколого-экономическом обосновании применения ФГ.

Таблица 4 – Фрагмент выборки исследований по применению ФГ при производстве основных сельскохозяйственных культур

Table 4 – Fragment of a sample of studies on the use of FG in the production of major agricultural crops

Регион исследования / Research region	Культура; почвы / Culture; soils	Источ- ник*
Астраханская область / Astrakhan region	Морковь; аллювиально-луговая, гранулометрический состав – среднесуглинистая, слабозасоленная, засоление сульфатно-хлоридного типа / Carrot; alluvial-meadow, granulometric composition – medium loamy, slightly saline, sulfate-chloride type salinity	[31]
Ростовская область / Rostov region	Лен масличный, озимая пшеница; чернозем обыкновенный карбонатный мощный тяжелосуглинистый. Слабозагрязненные, содержание тяжелых металлов в пределах естественного фона / Flax, winter wheat; ordinary carbonate chernozem, powerful, heavy loamy. Slightly polluted, heavy metal content within the natural background	[32]
	Озимая пшеница, кормовая свекла; соя на зерно; / Winter wheat, fodder beet; soybeans for grain; ordinary chernozem, de-graded as a result of irrigation with low-mineralized water of sodium sulfate composition	[33]
	Картофель, озимая пшеница, капуста среднепоздняя; яровой ячмень + горчица. Подсолнечник, картофель; чернозем обыкновенный, деградированный в результате поливов слабоминерализованной водой сульфатно-натриевого состава / Potatoes, winter wheat, mid-late cabbage; spring barley + mustard. Sunflower, potatoes; soils too	
Самарская область / Samara region	Картофель; Тёмно-каштановые почвы, солонцы и их комплексы / Potatoes; Dark chestnut soils, solonetz soils and their complexes	[34]
Саратовская область / Saratov region	Соя; Темно-каштановые среднесуглинистые крупнопылеватоподобные с содержанием гумуса 2,8 % / Soybeans; Dark chestnut medium loamy coarse silt with a humus content of 2.8 %	[35]
	Подсолнечник; Темно-каштановые / Sunflower; Dark chestnut soils	[36]
Краснодарский край / Krasnodar region	Рис; Лугово-черноземные почвы, сформированные преимущественно на тяжелых аллювиальных отложениях / Rice; Meadow-chernozem soils formed mainly on heavy alluvial deposits	[37]
	Рис; Луговая маломощная слабогумусная на аллювиальных тяжелых суглинках / Rice; Meadow low-power low-humus on alluvial heavy loams	[38]
	Озимая пшеница; Чернозем выщелоченный, слабогумусный сверхмощный легкоглинистый на лессовидных тяжелых суглинках / Winter wheat; Leached chernozem, low-humus, super-powerful light clayey soil on loess-like heavy loams	[39]
	Кукуруза; Чернозем выщелоченный, высокая водопроницаемость, гигроскопичность; низкая влагоемкость / Corn; Leached black soil, high water permeability, hygroscopicity; low moisture capacity	[40]

* публикация, где приведены варианты внесения ФГ и результаты эксперимента / A source that provides options for introducing FG and the results of the experiment

Расстояние транспортировки ФГ до места его применения необходимо для расчета экономического эффекта с одной стороны (товаропроизводителя) и прочих выгод с другой стороны (производитель ФГ).

Таким образом, для получения экологически безопасной продукции и улучшения почв, на основе данных основных физико-химических и биологических свойств исследуемых участков, показателей урожайности и её качества, выявлены экономически обосно-

ванные дозы (от 4 до 6 т/га в зависимости от культуры) и оптимальные сроки внесения (осенью) мелиоранта в малолесных регионах. В условиях Саратовской области на темно-каштановых среднесуглинистых почвах выявлен фитотоксический эффект увеличения дозы мелиоранта до 8 т/га, выражающийся снижением продуктивности сои [35].

Учитывая данные агрохимслужбы России [41], применение ФГ позволит решить проблему снижения продуктивности деградированных земель в Приволжском, Южном и Северо-Кавказском федеральных округах.

Заключение. Применение фосфогипса в агротехнологиях имеет как сторонников, так и противников. Анализ мирового и отечественного опыта применения этого мелиоранта выявил сдерживающие факторы для более широкого его применения. Для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур проведены исследования по применению ФГ в разных почвенно-климатических условиях европейской части России, которые показали положительное влияние на качество продукции и основные физико-химические и биологические свойства почвы. Некоторые регионы ЮФО и ПФО расположены в полупустынной, степной и лесостепной зоне европейской территории России, что и определяет низкие показатели лесистости территорий (1,8-6,0 %) и необходимость агролесомелиоративного обустройства деградированных территорий, значительная часть которых активно используется в сельскохозяйственном производстве. Учитывая значительные площади деградированных земель и малочисленность исследований по применению ФГ при лесоразведении, установлена целесообразность определения перспектив применения мелиоранта в защитном лесоразведении.

Conclusions. The use of phosphogypsum in agricultural technologies has both supporters and opponents. Analysis of the world and domestic experience in the use of this ameliorant revealed factors that hinder its wider application. In order to increase the productivity of agricultural crops, studies have been conducted on the use of PG in different soil and climatic conditions of the European part of Russia, which have shown a positive effect on the quality of products and the main physical, chemical and biological properties of the soil. Some regions of the Southern and Volga Federal Districts are located in the semi-desert, steppe and forest-steppe zones of the European territory of Russia, which determines the low forest cover of the territories (1.8-6.0 %) and the need for agroforestry improvement of degraded territories, a significant part of which is actively used in agricultural production. Given the significant areas of degraded lands and the paucity of studies on the use of PG in afforestation, the feasibility of determining the prospects for the use of the ameliorant in protective afforestation has been established.

Библиографический список

1. Недбаев И. С., Цывкунова Н. В., Елсукова Е. Ю. Обзор российского и мирового опыта решения экологических проблем производства, хранения, переработки и использования фосфогипса. Вестник евразийской науки. 2022. № 14 (4). <https://esj.today/PDF/10NZVN422.pdf>
2. Башкин В. Н. Эмиссия парниковых газов как мера энергоэффективности при оценке жизненного цикла удобрений. Жизнь Земли. 2024. № 46 (1). С. 20-32.
3. Bumanis G., Vaičiukynienė D., Tambovceva T., Puzule L., Šinka M., Nizevičienė D., Fornés I. V., Bajāre D. Circular Economy in Practice: A Literature Review and Case Study of Phosphogypsum Use in Cement. Recycling. 2024.
4. Outbakat M., Choukr-Allah R., Bouray M., El Gharous M., El Mejahed K. Phosphogypsum: properties and potential use in agriculture. Biosaline agriculture as a climate change adaptation for food security. Springer, 2023.
5. Монастырский Д. И., Меденников О. А., Куликова М. А. Изучение возможности использования фосфогипса как реагента для обработки отходов свиного комплекса. Известия Вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2023. № 2.
6. Mukhopadhyay R., Sarkar B., Jat H. S., Sharma P. C., Bolan N. S. Soil salinity under climate change: Challenges for sustainable agriculture and food security. Journal of Environmental Management. 2021. № 280. 111736.
7. Bouray M. J., Condrón L., Lehto N. Impacts of phosphogypsum, soluble fertilizer and lime amendment of acid soils on the bioavailability of phosphorus and sulphur under Lucerne (*Medicago sativa*). Plants. 2020. № 9. Pp. 1-17.
8. Bouray M., Moir J. L., Condrón L. M., Lehto N. J., Bayad M., El Gharous M., El Mejahed K. Effect of phosphogypsum application on aluminum speciation in acid pasture soils. Journal Soils Sediments. 2022. № 20. Pp. 1-17.
9. Hajer G., Tallou A., Aziz F., Boukchina R., Karbout N., Saceres L. A., García-Tenorio R., Boudabbous K., Moussa M. Application of Phosphogypsum and Organic Amendment for Bioremediation of Degraded Soil in Tunisia Oasis: Targeting Circular Economy. Sustainability. 2023. 257463434.
10. Монастырский Д., Куликова М. А., Шихов А. Р., Санаев А. И. Исследования способов использования фосфогипса в качестве удобрения или компонента комплексного удобрения. Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 5 (143). Рр. 1-6.
11. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2022 году. М., 2023.
12. Коробанова Т. Н. Российский и зарубежный опыт утилизации фосфогипса. Наука вчера, сегодня, завтра. 2016. № 11 (33). С. 63-71.
13. Середа А. П., Андрианова М. А. Рекомендации по оформлению дизайна исследования. Травматология и ортопедия России. 2019. № 25 (3). С. 165-184.
14. Суворов А. Ю., Латушкина И. В., Гуляева К. А., Буланов Н. М., Надинская М. Ю., Заикин А. А. Базовые аспекты мета-анализа. Часть 1. Сеченовский вестник. 2023. Т. 14 № 1. С. 4-14.

15. Page M. J., McKenzie J. E., Bossuyt P. M. M., Boutron I., Hoffmann T. C., Mulrow C. D., Shamseer L., Tetzlaff J. M., Akl E. A., Brennan S. E., Chou R., Glanville J. M., Grimshaw J. M., Hróbjartsson A., Lalu M. M., Li T., Loder E. W., Mayo-Wilson E., McDonald S., McGuinness L. A., Stewart L. A., Thomas J., Tricco A. C., Welch V. A., Whiting P. F., Moher D. The PRISMA 2020. Statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *British medical journal*. 2020. Vol. 10. ID: 232387120.
16. Сельское хозяйство в России, 2023: Стат. сб. Росстат. М., 2023. 103 с.
17. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2024: Стат. сб. Росстат. М., 2024. 1081 с.
18. Волгоградская область. Хозяйство. Сельское хозяйство. <https://bigenc.ru/c/volgogradskaia-oblast-khoziaistvo-sel-skoe-khoziaistvo-a51337>
19. Кулик К. Н. Современное состояние защитных лесонасаждений в Российской Федерации и их роль в смягчении последствий засух и опустынивания земель. *Научно-агрономический журнал*. 2022. № 3 (118). С. 8-13.
20. Аканова Н. И., Шильников А. И. Проблема химической мелиорации почв в земледелии Российской Федерации. *Плодородие*. 2018. № 2. С. 9-11.
21. Коробка А. Н. и др. Система земледелия Краснодарского края на агроландшафтной основе. Краснодар, 2015. 352 с.
22. Осипов А. В., Слюсарев В. Н. Мелиоративное почвоведение. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, 2019. 134 с.
23. Кожухов Н. И., Тихомиров Е. А. Усиление роли лесного потенциала малолесных регионов РФ для повышения темпов социально-экономического развития и сбалансированности интересов населения, бизнеса и административных структур. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право. 2020. № 6. С. 44-47.
24. Васильев Ю. И. и др. Методические основы компьютерного проектирования и многокомпонентной оценки роли лесомелиорации в комплексе с агротехническими приемами борьбы с дефляцией: монография. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2020. 136 с.
25. Петелько А. И., Барабанов А. Т., Выпова А. В. Влияние низкорослого кустарника в стокорегулирующей лесополосе комбинированной конструкции на факторы стока и элементы водного баланса в лесостепи бассейнов Центрального Нечерноземья. *Природообустройство*. 2023. № 4. С. 28-34.
26. Сапронова Д. В., Хужахметова А. Ш., Беляев А. И. Биоэкологическое обоснование применения кустарников для насаждений на склоновых землях. Устойчивое развитие горных территорий. 2024. № 16 (3). С. 1155-1164.
27. Кретьинин В. М. Агроресурсоведство: монография. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2021. 268 с.
28. Khuzhakhmetova A., Belyaev A., Saponova D. Efficiency of management of bioresource collections of trees and shrubs for solving agroforestry. *International Journal of agriculture and biosciences*. 2024. № 13 (3). Pp. 449-455.
29. Кабанова С. А., Борцов В. А., Данченко А. М., Данченко М. А., Пунжа Г. А. Эколого-лесоводственные результаты опытных работ по мелиорации почв в зеленой зоне г. Астана. *Успехи современного естествознания*. 2017. № 7. С. 36-41.
30. Министерство природных ресурсов и экологии Саратовской области. www.minforest.saratov.gov.ru
31. Аканова Н. И., Холомьева Л. Н., Можаренко М. Н., Байрамбеков Ш. Б., Гулин А. В. Агроэкологическая эффективность применения фосфогипса в овощных агроценозах. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2023. № 2 (392). С. 163-167.
32. Визирская М. М., Аканова Н. И., Бельтюков Л. П. Эффективность применения фосфогипса при возделывании льна масличного и озимой пшеницы. *Плодородие*. 2020. № 5 (116). С. 66-68.
33. Докучаева Л. М., Юркова Р. Е., Шалашова О. Ю. Использование фосфогипса и фосфогипсосодержащих мелиорантов для мелиорации солонцовых почв в условиях орошения. *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. 2012. № 3 (7). С. 52-64.
34. Аканова Н. И., Троц Н. М., Можаренко М. Н., Боровкова Н. В. Агроэкологическая эффективность фосфогипса в повышении продуктивности картофеля при орошении. *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2023. № 2. С. 10-17.
35. Денисов К. Е., Кравчук А. В., Полетаев И. С., Малышева А. А. Особенности применения фосфогипса в посевах сои при орошении. *Аграрный научный журнал*. 2022. № 11. С. 15-18.
36. Аканова Н. И., Дубровских Л. Н., Денисов К. Е. Эффективность применения фосфогипса на темно-каштановых почвах в посевах подсолнечника. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2021. № 1 (379). С. 7-11.
37. Визирская М. М., Шеуджен А. Х., Аканова Н. И. Агроэкологическая эффективность периодического применения нейтрализованного фосфогипса в посевах риса. *Агрохимический вестник*. 2020. № 2. С. 26-31.
38. Шеуджен А. Х., Бондарева Т. Н. Использование фосфогипса нейтрализованного на посевах риса в качестве поликомпонентного удобрения. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2015. № 113. С. 244-262.
39. Шеуджен А. Х., Лиманский А. Н. Агроэкологическая эффективность фосфогипса при возделывании озимой пшеницы на выщелоченных черноземах. Актуальные проблемы социально-экономической и экологической безопасности Поволжского региона: материалы VII международной научно-практической конференции. Казань: Издательский дом «Мир без границ», 2015. С. 90-93.
40. Жиленко С., Аканова Н., Винничек Л. Агроэкономическая эффективность применения новых форм удобрений на основе фосфогипса в посевах кукурузы. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2016. № 2. С. 55-59.
41. Некрасов Р. В., Аканова Н. И., Шеуджен А. Х., Визирская М. М. Перспективы применения фосфогипса, как химического мелиоранта, в земледелии российской Федерации. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2019. № 6 (372). С. 93-98.

References

1. Nedbaev I. S., Tsyvkunova N. V., Elskova E. Yu. Review of Russian and world experience in solving environmental problems of production, storage, processing and use of phosphogypsum. *Bulletin of Eurasian Science*. 2022. No 14 (4). <https://esj.today/PDF/10NZVN422.pdf>

2. Bashkin V. N. Greenhouse gas emissions as a measure of energy efficiency in assessing the life cycle of fertilizers. *Life of the Earth*. 2024. No 46 (1). Pp. 20-32.
3. Bumanis G., Vaičiukynienė D., Tambovceva T., Puzule L., Šinka M., Nizevičienė D., Fornés I. V., Bajāre D. Circular Economy in Practice: A Literature Review and Case Study of Phosphogypsum Use in Cement. *Recycling*. 2024.
4. Outbakat M., Choukr-Allah R., Bouray M., El Gharous M., El Mejahed K. Phosphogypsum: properties and potential use in agriculture. *Biosaline agriculture as a climate change adaptation for food security*. Springer, 2023.
5. Monastyrsky D. I., Medennikov O. A., Kulikova M. A. Study of the possibility of using phosphogypsum as a reagent for processing waste from pig farms. *News of Universities. North Caucasian Region. Technical Sciences*. 2023. No. 2.
6. Mukhopadhyay R., Sarkar B., Jat H. S., Sharma P. C., Bolan N. S. Soil salinity under climate change: Challenges for sustainable agriculture and food security. *Journal of Environmental Management*. 2021. № 280. 111736.
7. Bouray M. J., Condrón L., Lehto N. Impacts of phosphogypsum, soluble fertilizer and lime amendment of acid soils on the bioavailability of phosphorus and sulphur under Lucerne (*Medicago sativa*). *Plants*. 2020. № 9. Pp. 1-17.
8. Bouray M., Moir J. L., Condrón L. M., Lehto N. J., Bayad M., El Gharous M., El Mejahed K. Effect of phosphogypsum application on aluminum speciation in acid pasture soils. *Journal Soils Sediments*. 2022. № 20. Pp. 1-17.
9. Hajer G., Tallou A., Aziz F., Boukchina R., Karbout N., Caceres L. A., Garcia-Tenorio R., Boudabbous K., Moussa M. Application of Phosphogypsum and Organic Amendment for Bioremediation of Degraded Soil in Tunisia Oasis: Targeting Circular Economy. *Sustainability*. 2023. 257463434.
10. Monastyrsky D., Kulikova M. A., Shikhov A. R., Sanaev A. I. Studies of ways to use phosphogypsum as a fertilizer or component of integrated fertilizer. *International Research Journal*. 2024. No 5 (143). Pp.1-6.
11. State report on the state and use of mineral and raw material resources of the Russian Federation in 2022. M., 2023.
12. Korobanova T. N. Russian and foreign experience in the utilisation of phosphogypsum. *Science yesterday, today, tomorrow*. 2016. No. 11 (33). Pp. 63-71.
13. Wednesday A. P., Andrianova M. A. Recommendations for research design. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2019. No 25 (3). Pp. 165-184.
14. Suvorov A. Yu., Latushkina I. V., Gulyaeva K. A., Bulanov N. ., Nadinskaya M. Yu., Zaikin A. A. Basic aspects of meta-analysis. Part 1. *Sechenovsky Bulletin*. 2023. Vol. 14 No 1. Pp. 4-14.
15. Page M. J., McKenzie J. E., Bossuyt P. M. M., Boutron I., Hoffmann T. C., Mulrow C. D., Shamseer L., Tetzlaff J. M., Akl E. A., Brennan S. E., Chou R., Glanville J. M., Grimshaw J. M., Hróbjartsson A., Lalu M. M., Li T., Loder E. W., Mayo-Wilson E., McDonald S., McInnes L. A., Stewart L. A., Thomas J., Tricco A. C., Welch V. A., Whiting P. F., Moher D. The PRISMA 2020. Statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *British medical journal*. 2020. Vol. 10. ID: 232387120.
16. Agriculture in Russia, 2023. Rosstat. M., 2023. 103 p.
17. Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2024. Rosstat. M., 2024. 1081 p.
18. Volgograd Region. Economy. Agriculture. <https://bigenc.ru/c/volgogradskaja-oblast-khoziaistvo-sel-skoe-khoziaistvo-a51337>
19. Kulik K. N. Current state of protective forest plantations in the Russian Federation and their role in mitigating the effects of droughts and desertification. *Scientific and agronomic journal*. 2022. No. 3 (118). Pp. 8-13.
20. Akanova N. I., Shilnikov A. I. The problem of chemical soil melioration in agriculture of the Russian Federation. *Fertility*. 2018. No. 2. Pp. 9-11.
21. Korobka A. N. et al. The system of agriculture of the Krasnodar Territory on the agro-landscape basis. *Krasnodar*, 2015. 352 p.
22. Osipov A. V., Slyusarev V. N. Melioration soil science. *Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin*, 2019. 134 p.
23. Kozhukhov N. I., Tikhomirov E. A. Strengthening the role of the forest potential of sparsely forested regions of the Russian Federation to increase the pace of socio-economic development and balance the interests of the population, business and administrative structures. *Modern science: current problems of theory and practice. Series: Economics and Law*. 2020. No 6. Pp. 44-47.
24. Vasiliev Yu. I. et al. Methodological foundations of computer design and multicomponent assessment of the role of forest melioration in combination with agrotechnical methods of combating deflation: monograph. *Volgograd: Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences*, 2020. 136 p.
25. Petelko A. I., Barabanov A. T., Vypova A. V. The influence of low-growing shrubs in a runoff-regulating forest belt of a combined design on runoff factors and water balance elements in the forest-steppe of the Central Non-Black Earth Region basins. *Nature management*. 2023. No. 4. Pp. 28-34.
26. Saponova D. V., Khuzhakhmetova A. Sh., Belyaev A. I. Bioecological substantiation of the use of shrubs for plantings on sloping lands. *Sustainable development of mountain territories*. 2024. No. 16 (3). Pp. 1155-1164.
27. Kretinin V. M. Agroforestry: monograph. *Federal Scientific Center of Agroecology Russian Academy of Sciences*, 2021. 268 p.
28. Khuzhakhmetova A., Belyaev A., Saponova D. Efficiency of management of bioresource collections of trees and shrubs for solving agroforestry. *International Journal of agriculture and biosciences*. 2024. № 13 (3). Pp. 449-455.
29. Kabanova S. A., Bortsov V. A., Danchenko A. M., Danchenko M. A., Punzha G. A. Ecological and forestry results of experimental work on soil melioration in the green zone of Astana. *Advances in modern natural science*. 2017. No. 7. Pp. 36-41.
30. Ministry of Natural Resources and Environment of the Saratov Region. Access mode: www.minforest.saratov.gov.ru. Date of access: April 7, 2021.
31. Akanova N. I., Kholomyeva L. N., Mozharensky M. N., Bairambekov Sh. B., Gulin A. V. Agroecological efficiency of phosphogypsum application in vegetable agrocenoses. *International Agricultural Journal*. 2023. No. 2 (392). Pp. 163-167.
32. Vizirskaya M. M., Akanova N. I., Beltyukov L. P. Efficiency of phosphogypsum application in the cultivation of oil flax and winter wheat. *Fertility*. 2020. No. 5 (116). Pp. 66-68.
33. Dokuchaeva L. M., Yurkova R. E., Shalashova O. Yu. Use of phosphogypsum and phosphogypsum-containing ameliorants for the reclamation of solonchaks soils under irrigation. *Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems*. 2012. No 3 (7). Pp. 52-64.

34. Akanova N. I., Trots N. M., Mozharensko M. N., Borovkova N. V. Agroecological efficiency of phosphogypsum in increasing productivity of potatoes under irrigation. *News of the Samara State Agricultural Academy*. 2023. No. 2. Pp. 10-17.
35. Denisov K. E., Kravchuk A. V., Poletaev I. S., Malysheva A. A. Features of phosphogypsum application in soybean crops under irrigation. *Agricultural scientific journal*. 2022. No. 11. Pp. 15-18.
36. Akanova N. I., Dubrovskikh L. N., Denisov K. E. Efficiency of phosphogypsum application on dark chestnut soils in sunflower crops. *International agricultural journal*. 2021. No. 1 (379). Pp. 7-11.
37. Vizirskaya M. M., Sheudzhen A. Kh., Akanova N. I. Agroecological efficiency of periodic application of neutralized phosphogypsum in rice crops. *Agrochemical Bulletin*. 2020. No. 2. Pp. 26-31.
38. Sheudzhen A. Kh., Bondareva T. N. Use of neutralized phosphogypsum on rice crops as a multicomponent fertilizer. *Polythematic online electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*. 2015. No. 113. Pp. 244-262.
39. Sheudzhen A. Kh., Limansky A. N. Agro-ecological efficiency of phosphogypsum in the cultivation of winter wheat on leached chernozems. *Actual problems of socio-economic and environmental security of the Volga region: materials of the VII international scientific-practical conference*. Kazan: Publishing house "World without borders", 2015. Pp. 90-93.
40. Zhilenko S., Akanova N., Vinnichuk L. Agroecological efficiency of using new forms of fertilizers based on phosphogypsum in corn crops. *International agricultural journal*. 2016. No. 2. Pp. 55-59.
41. Nekrasov R. V., Akanova N. I., Sheudzhen A. Kh., Vizirskaya M. M. Prospects for the use of phosphogypsum as a chemical ameliorant in agriculture of the Russian Federation. *International agricultural journal*. 2019. No. 6 (372). Pp. 93-98.

Информация об авторах

Хужахметова Алия Шамильевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97), ORCID: 0000-0001-5127-8844, e-mail: avfanc@yandex.ru

Игольникова Ирина Сергеевна, аспирант, инженер-исследователь, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97), ORCID: 0000-0002-2602-724X, e-mail: igolnikova-is@vfanc.ru

Иванченко Татьяна Викторовна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97), ORCID: 0000-0001-6649-200X, e-mail: ivanchenko-t@vfanc.ru

Authors' Information

Khuzhakhmetova Aliya Shamilevna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskii Ave., 97), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5127-8844>, e-mail: avfanc@yandex.ru

Igolnikova Irina Sergeevna, postgraduate student, research engineer, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskii Ave., 97), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2602-724X>, e-mail: igolnikova-is@vfanc.ru

Ivanchenko Tatyana Viktorovna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Scientific Researcher, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskii Ave., 97), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6649-200X>, e-mail: ivanchenko-t@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-27

THE SUNFLOWER CULTIVATION PROFITABILITY DURING THE ELECTROPHYSICAL PRE-SOWING TREATMENT OF SEEDS

¹Chernyavsky A. N., ¹Aksenov M. P., ¹Petrov N. Yu., ²Petrov Yu. N., ¹Gorbacheva A. S.,
³Salaev B. K., ³Arylov Yu. N., ³Bolaev B. K., ³Kurepina N. L., ³Batyrov V. A.

¹Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

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

³Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov
Elista, Russian Federation

Corresponding author E-mail: aksenovmp@mail.ru

Received 10.09.2025

Submitted 17.11.2025

This study was conducted within the framework of the State Assignment "Digital Technologies for Managing Agroforestry Systems Based on Mathematical Modeling, Dynamic Characteristics of biological Productivity of Forest Belts and agricultural Phytocenoses in the Changing Climate of Southern Russia".

Abstract

Introduction. In a market economy, the task of commercial enterprises engaged in the field of crop production is not only to increase yields and gross harvest, but also to maintain profitability at a level that allows paying wages, taxes, depreciation of machinery. Yields significantly exceeding the regional average do not indicate the use of breakthrough technologies at all. The quality of the seed material affects the yield, in turn; the quality is directly dependent on the material costs. The application of fertilizers [1, 2], plant protection products, and special equipment for innovative and progressive technologies requires significant financial costs [3]. Therefore, a high yield with high costs for obtaining this crop does not guarantee an actual profit [4-6]. When assessing the efficiency of the farm, production costs are compared with the revenue received from sales, in economics this indicator is profitability – a positive profitability indicates the development of farming, a negative indicates approaching economic problems. In the Volgograd region, sunflower

is one of the highly profitable crops; however, with the desire to obtain a high yield, marginality decreases due to high production costs. To reduce commercial costs, a rational integrated approach is needed, starting with improving the conditioned qualities of seeds, replacing expensive mineral fertilizers with organic fertilizers used during pre-sowing treatment [7, 8]. Biological fertilizers used during pre-sowing treatment act more precisely, thereby reducing their consumption and financial costs. The lowest costs in organizing pre-sowing treatment are achieved through physical methods aimed at stimulating seeds [9, 10], partially replacing and reducing the cost of expensive fertilizers. The effectiveness of electrical and physical methods, which include exposure to direct and alternating electric fields, magnetic fields, high and low frequency electromagnetic fields, laser and ultraviolet radiation treatment with different wavelengths; and pulsed fields has been proven by numerous scientific studies [11-13]. Very few studies have been conducted on the effect of pre-sowing treatment of sunflower seeds in an alternating voltage electric field on the profitability of oilseed cultivation, and no studies have been conducted in the Volgograd region. **Object.** Hybrids of sunflower seeds Fortuna, EU Bella, EU Petunia, treated with an electric field of alternating voltage of industrial frequency and a plant growth regulator. **Materials and methods.** The influence of pre-sowing methods on the profitability of sunflower cultivation in the Volgograd region was studied in a three-year field experiment on the chernozem of the Yuzhny Mikhailovsky district. The profitability of pre-sowing seed treatment with an electric field, a plant growth regulator, and the combined action of the previous two options was compared. **Results and conclusions.** The methods of pre-sowing treatment affected the profitability of sunflower cultivation. By reducing the cost of production, profitability increased. The maximum profitability over an average of three years for the "Electric Field + Zerebra Agro" processing option was for the EU Bell hybrid – 310 %. The minimum profitability for the same variant was obtained for the EU Petunia hybrid – 175 %.

Keywords: profitability of sunflower cultivation, sunflower cultivation, sunflower hybrids, pre-sowing seed treatment.

Citation. Chernyavsky A. N., Aksenov M. P., Petrov N. Yu., Petrov Yu. N., Gorbacheva A. S., Salaev B. K., Arylov Yu. N., Bolaev B. K., Kurepina N. L., Batyrov V. A. The sunflower cultivation profitability during the electrophysical pre-sowing treatment of seeds. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 247-253 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-27.

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 631.53.027.33+633.854.78

РЕНТАБЕЛЬНОСТЬ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ПОДСОЛНЕЧНИКА ПРИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЙ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКЕ СЕМЯН

¹Чернявский А. Н., кандидат сельскохозяйственных наук

¹Аксенов М. П., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

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

²Петров Ю. Н., кандидат сельскохозяйственных наук

¹Горбачева А. С., кандидат экономических наук, доцент

³Салаев Б. К., доктор биологических наук, профессор

³Арылов Ю. Н., доктор биологических наук, профессор

³Болаев Б. К., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

³Курепина Н. Л., доктор экономических наук, профессор

³Батыров В. А., доктор сельскохозяйственных наук

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, Российская Федерация

Исследование выполнено в рамках Гос. задания «Цифровые технологии управления агролесосистемами на основе математического моделирования, динамических характеристик биопродуктивности лесных полос и агрофитоценозов в условиях изменяющегося климата Юга России».

Актуальность. В условиях рыночной экономики, задачей коммерческих предприятий, занимающихся в области растениеводства, является не только повышение урожайности и валового сбора, но и поддержание рентабельности на уровне позволяющем платить заработную плату, налоги, амортизацию техники. Урожайность, значительно превышающая средние показатели по региону, совсем не свидетельствует о применении прорывных технологий. На урожайность влияет качество семенного материала, в свою очередь, качество находится в прямой зависимости от материальных затрат. Внесение удобрений [1, 2], средств защиты растений, специальное оборудование для инновационных и прогрессивных технологий требует значительных финансовых затрат [3]. Поэтому высокий урожай при высоких затратах на получение данного урожая не гарантирует фактическую прибыль [4-6]. При оценке эффективности работы хозяйства сопоставляются затраты на производство с выручкой полученной при реализации, в экономике этот показатель является рентабельностью –

положительная рентабельность свидетельствует о развитии фермерского хозяйства, отрицательная – о приближающихся экономических проблемах. В Волгоградской области подсолнечник относится к высокорентабельным культурам, однако при стремлении получения высокого урожая снижается маржинальность в связи с высокими производственными издержками. Для снижения коммерческих издержек необходим рациональный комплексный подход, начиная с повышения кондиционных качеств семян, замены дорогостоящих минеральных удобрений на органические удобрения, применяемые при предпосевной обработке [7, 8]. Биоудобрения, применяемые при предпосевной обработке, действуют более точно, за счет этого сокращается их расход и финансовые затраты. Наименьшие затраты при организации предпосевной обработки, достигаются за счет физических способов направленных на стимуляцию семян [9, 10], частично заменяя и сокращая расходы на дорогостоящие удобрения. Эффективность электрофизических способов, к которым относятся: воздействия постоянного и переменного электрического поля, магнитного поля, электромагнитного поля высокой и низкой частоты, обработка лазерным и ультрафиолетовым излучением с различной длиной волны, импульсное поле, доказана многочисленными научными исследованиями [11-13]. Исследований по влиянию предпосевной обработки семян подсолнечника в электрическом поле переменного напряжения, на рентабельность возделывания масличных культур проводилось крайне мало, а на территории Волгоградского региона не проводилось. **Объект.** Гибриды семян подсолнечника Фортуна, ЕС Белла, ЕС Петуния, обработанные электрическим полем переменного напряжения промышленной частоты и регулятором роста растений. **Материалы и методы.** Влияние способов предпосевной обработки на рентабельность возделывания подсолнечника в Волгоградской области, изучали в трехлетнем полевом опыте, на черноземе южном Михайловского района. Сравнивалась рентабельность при предпосевной обработке семян электрическим полем, регулятором роста растений и совместного действия предыдущих двух вариантов. **Результаты и выводы.** Способы предпосевной обработки влияли на рентабельность возделывания подсолнечника. За счет снижения себестоимости продукции, возростала рентабельность. Максимальная рентабельность в среднем за три года на варианте обработки «Электрическое поле + Зеребра Агро» была у гибрида ЕС Белла – 310 %. Минимальная рентабельность при этом же варианте получена у гибрида ЕС Петуния – 175 %.

Ключевые слова: рентабельность возделывания подсолнечника, возделывание подсолнечника, гибриды подсолнечника, предпосевная обработка семян.

Цитирование. Чернявский А. Н., Аксенов М. П., Петров Н. Ю., Петров Ю. Н., Горбачева А. С., Салаев Б. К., Арылов Ю. Н., Болаев Б. К., Курепина Н. Л., Батыров В. А. Рентабельность возделывания подсолнечника при электрофизической предпосевной обработке семян. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 247-253. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-27.

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. Подсолнечник является основным сырьем для производства растительного масла в России. Посевные площади в России под подсолнечник достигают 7 млн га, что составляет 11-12 % от общей площади пашни. Такое внимание к возделыванию культуры среди сельскохозяйственных производителей обусловлено постоянным растущим спросом на сырье, как на местном рынке, так и за рубежом. Современная селекция гибридов подсолнечника иностранных производителей позволяет получать урожайность до 4 т/га и выше при благоприятных климатических условиях. Однако, у большинства производителей Волгоградской области средняя урожайность колеблется в пределах 1,4-1,6 т/га. Низкая урожайность гибридов, обладающих высоким биологическим потенциалом обусловлена нарушением севооборота, неравномерности выпадения осадков во время вегетации, длительное отсутствие осадков после посева. Одним из факторов снижения урожайности является засорённость посевов на ранних стадиях развития, когда происходит основная конкуренция за влагу и питательные вещества. Следовательно, необходимо совершенствовать технологию возделывания и применять нестандартные агроприемы, как при обработке почвы, так и подготовке семян перед посевом. Для повышения всхожести и стимуляции развития растений, успешно применяются регуляторы роста, при предпосевной обработке и во время вегетации. Действующие вещества современных стимуляторов роста обладают и защитными свойствами. Перспективным направлением, с точки зрения получения экологически чистого продукта, является применение электрофизических способов осуществления предпосевной стимуляции семян.

Целью наших исследований являлось сравнение способов предпосевной обработки семян подсолнечника регулятором роста «Зеребра Агро» и электрическим полем переменного напряжения промышленной частоты напряженность 8 кВ/см на рост и развитие растений подсолнечника, возделываемого в зоне черноземных почв Волгоградского региона.

Материалы и методы. Для повышения урожайности и рентабельности возделывания подсолнечника в зоне черноземных почв Волгоградского региона, проводились трехлетние (2021-2023 гг.) полевые исследования на гибридах подсолнечника. Содержание гу-

муса в почве 4,65-4,72 %, содержание легкогидролизуемого азота 98,8 мг/кг, калия 353 мг/кг, фосфора 38,2 мг/кг. Гигроскопичность в метровом слое 9,56 %, влажность завядания – 12,56 %. В двухфакторном опыте в качестве фактора А – исследовали гибриды подсолнечника: Фортуна, ЕС Петуния и ЕС Белла. В качестве фактора В – способ предпосевной обработки семян: обработка регулятором роста Зеребра Агро, обработка в электрическом поле, комплексная обработка в электрическом поле и регулятором роста Зеребра Агро.

В лабораторных условиях были проведены исследования по изучению влияния напряжённости электрического поля и времени воздействия на лабораторную всхожесть и энергию прорастания семян гибридов подсолнечника, для установления оптимальных параметров воздействия электрического поля. Определены оптимальные параметры: напряженность электрического поля 8 кВ/см и время обработки 60 секунд.

Результаты и обсуждение. Урожайность зависит от количества растений на единицу площади, диаметра и выполненности корзины. В свою очередь количество растений находится в прямой зависимости от полевой всхожести и сохранности растений к уборке. На сохранность растений уже влияют многие природные факторы – запасы продуктивной влаги за зимний и весенний период, осадки в период вегетации, суммарное количество солнечной энергии за период вегетации. Однако, при одних и тех же условиях естественной среды развития, урожайность культуры зависит от биологических особенностей гибрида. Годы исследований характеризовались достаточно высокими запасами продуктивной влаги, в 2021 году – 155,3 мм, в 2022 году – 160,6 мм, 148,3 мм в 2023 году. При таких климатических условиях преимущественный биологический потенциал проявил гибрид Фортуна, урожайность составляла 2,13-2,39 т/га, минимальная урожайность по годам исследований у гибрида ЕС Петуния 1,84-2,05 т/га. Изучаемые способы предпосевной обработки положительно влияли на прибавку урожайности у всех гибридов. Наибольшая отзывчивость на варианте «Зеребра Агро» относительно контроля была у гибрида ЕС Петуния в 2023 году – прибавка к контролю 0,2 т/га. На варианте исследований «Электрическое поле» наибольшая прибавка урожая установлена у гибрида ЕС Петуния – прибавка к контролю 0,43 т/га. При комплексной обработке «Электрическое поле + Зеребра Агро» прибавка к контролю варьировала в зависимости от гибрида от 0,46 т/га у гибрида ЕС Петуния до 0,68 т/га у гибрида Фортуна (таблица 1).

Таблица 1 – Урожайность гибридов подсолнечника по годам исследований, т/га

Table 1 – Yield of sunflower hybrids by research years, t/ha

Вариант предпосевной обработки (Фактор В) / Pre-sowing treatment option (Factor B)	Год / Year	Гибриды (Фактор А) / Hybrids (Factor A)			Средняя по фактору В / The average factor in
		Фортуна / Fortune	ЕС Белла / EU Bella	ЕС Петуния / EU Petunia	
Без обработки / Without processing	2021	2,39	2,25	2,05	2,23
Зеребра Agro / Zerebra Agro		2,56	2,55	2,27	2,46
Электрическое поле / Electric field		2,64	2,60	2,40	2,55
Электрическое поле + Зеребра Agro / Electric field + Zerebra Agro		3,07	2,73	2,50	2,77
Средняя урожайность по фактору А / Average yield by factor A		2,67	2,53	2,31	2,50
HCP ₀₅ А – 0,018; HCP ₀₅ В – 0,022; HCP ₀₅ АВ – 0,019					
Без обработки / Without processing	2022	2,25	2,27	2,20	2,24
Зеребра Agro / Zerebra Agro		2,46	2,48	2,35	2,43
Электрическое поле / Electric field		2,51	2,65	2,35	2,50
Электрическое поле + Зеребра Agro / Electric field + Zerebra Agro		3,02	2,80	2,66	2,65
Средняя урожайность по фактору А / Average yield by factor A		2,56	2,55	2,39	2,41
HCP ₀₅ А – 0,02; HCP ₀₅ В – 0,023; HCP ₀₅ АВ – 0,021					
Без обработки / Without processing	2023	2,13	2,05	1,84	2,01
Зеребра Agro / Zerebra Agro		2,31	2,25	2,08	2,21
Электрическое поле / Electric field		2,46	2,45	2,27	2,39
Электрическое поле + Зеребра Agro / Electric field + Zerebra Agro		2,60	2,62	2,30	2,51
Средняя урожайность по фактору А / Average yield by factor A		2,38	2,34	2,12	2,28
HCP ₀₅ А – 0,021; HCP ₀₅ В – 0,019; HCP ₀₅ АВ – 0,018					

Повышение урожайности подсолнечника с применением новых технологий требует дополнительных материальных затрат. Не всегда незначительное повышение урожайности приносит прибыль, поэтому целесообразно оценивать эффективность внедрения технологий с помощью экономических показателей рентабельности. При анализе экономической эффективности, установлено снижение себестоимости продукции относительно контроля на всех вариантах предпосевной обработки. Так, при обработке семян гибрида подсолнечника Фортуна регулятором роста «Зеребра Агро» себестоимость равнялась 10308 рублей за 1 т, на варианте обработки «Электрическое поле» – 9900 рублей за 1 т, на варианте комплексной обработки «Электрическое поле + Зеребра Агро» – 8680 рубль за 1 т, а на контроле (без обработки) – 11118 рублей за 1 т. Комплексная обработка семян «Электрическое поле + Зеребра Агро» снижало себестоимость при возделывании гибрида ЕС Белла с 10480 до 7717 рублей на 1 т. При повышении урожайности при внедрении дополнительных агроприемов незначительно повышались расходы на дополнительные расходы по приобретению препарата, электрической энергии, расходы на заработную плату рабочих. Все дополнительные расходы учтены при расчете рентабельности возделывания подсолнечника. При обработке семян в электрическом поле рентабельность была выше, чем при обработке препаратом «Зеребра Агро». На гибриде подсолнечника Фортуна рентабельность равнялась 185 %, на гибриде подсолнечника ЕС Белла – 439 %, на гибриде подсолнечника ЕС Петуния – 175 %. При применении комплексной предпосевной обработки было достигнуто максимальное значение рентабельности у гибридов подсолнечника Фортуна, ЕС Белла и ЕС Петуния 239, 310 и 197 %, соответственно (таблица 2).

Таблица 2 – Рентабельность возделывания подсолнечника, среднее за период 2021-2023 гг.
Table 2 – Profitability of sunflower cultivation, average for the period 2021-2023

Вариант / Option	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Затраты средств на 1 га, руб. / Yield per 1 ha, rub.	Цена реализации 1 т, руб. / The selling price of 1 ton, rub.	Себестоимость 1 т, руб. / Cost price 1 ton, rub.	Стоимость валовой продукции с 1 га, руб. / The cost of gross output per 1 hectare, RUB.	Прибыль с 1 га, руб. / Profit from 1 ha, RUB.	Рентабельность, % / Profitability, %
Гибрид подсолнечника Фортуна / Sunflower Hybrid Fortuna							
Без обработки / Without processing	2,26	25126	32000	11118	72320	47194	143
Зеребра Агро / Zerebra Agro	2,44	25151	32000	10308	78080	52929	170
Электрическое поле / Electric field	2,54	25146	32000	9900	81280	56134	185
Электрическое поле + Зеребра Агро / Electric field + Zerebra Agro	2,90	25171	32000	8680	92800	67626	239
Гибрид подсолнечника ЕС Белла / Sunflower Hybrid EU Bella							
Без обработки / Without processing	2,19	22946	32000	10480	70080	47134	189
Зеребра Агро / Zerebra Agro	2,43	22971	32000	10490	77760	54789	231
Электрическое поле / Electric field	2,57	20996	32000	8170	82240	61244	260
Электрическое поле + Зеребра Агро / Electric field + Zerebra Agro	2,72	20991	32000	7717	87040	66049	310
Гибрид подсолнечника ЕС Петуния / Sunflower hybrid EU Petunia							
Без обработки / Without processing	2,03	24326	32000	11983	64960	40634	126
Зеребра Агро / Zerebra Agro	2,23	24351	32000	10920	71360	47009	157
Электрическое поле / Electric field	2,34	24346	32000	10404	74880	72444	175
Электрическое поле + Зеребра Агро / Electric field + Zerebra Agro	2,48	24371	32000	9827	79360	54898	197

Выводы. Изучаемые способы предпосевной обработки семян подсолнечника оказывали существенное влияние на урожайность и рентабельность возделывания подсолнечника. Максимальная урожайность на контроле была получена в 2021 году у гибрида Фортуна – 2,39 т/га. На варианте «Зеребра Агро» урожайность у всех гибридов подсолнечника повышалась на 6,64-11,54 % в зависимости от гибрида. На варианте «Электрическое поле» максимальная при-

бавка урожая 18,9 % была у гибрида ЕС Петуния, минимальная – 9,47 % у гибрида Фортуна. На варианте «Электрическое поле + Зеребра Агро», наибольшая прибавка урожайности – 20 % получена на гибриде ЕС Петуния. Способы предпосевной обработки влияли и на рентабельность возделывания подсолнечника. За счет снижения себестоимости продукции возрастала рентабельность. Максимальная рентабельность в среднем за три года на варианте обработки «Электрическое поле + Зеребра Агро» была у гибрида ЕС Белла – 310 %. Минимальная рентабельность при этом же варианте получена у гибрида ЕС Петуния – 175 %.

Conclusions. The studied methods of pre-sowing sunflower seed treatment had a significant impact on the yield and profitability of sunflower cultivation. The maximum yield under control was obtained in 2021 for the Fortuna hybrid – 2.39 t/ha. On the "Zerebra Agro" variant, the yield of all sunflower hybrids increased by 6.64-11.54 %, depending on the hybrid. In the "Electric Field" variant, the EU Petunia hybrid had a maximum yield increase of 18.9 %, while the Fortuna hybrid had a minimum yield increase of 9.47 %. In the "Electric field + Zerebra Agro" variant, the largest yield increase of 20 % was obtained on the EU Petunia hybrid. The methods of pre-sowing treatment also affected the profitability of sunflower cultivation. By reducing the cost of production, profitability increased. The maximum profitability over an average of three years for the "Electric Field + Zerebra Agro" processing option was for the EU Bell hybrid – 310 %. The minimum profitability for the same variant was obtained for the EU Petunia hybrid – 175 %.

Библиографический список

1. Ханиева И. М. и др. Влияние отечественных жидких органоминеральных удобрений на урожайность и качественные показатели гибридов подсолнечника. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2023. № 4. С. 25-28.
2. Никифоров В. М., Никифоров М. И., Пасечник Н. М. Использование микроудобрений в технологии возделывания подсолнечника на семена. Вестник Брянской ГСХА. 2023. № 3 (97). С. 3-8.
3. Кузыченко Ю. А., Гаджумаров Р. Г., Джандаров А. Н. Возделывание подсолнечника с полосным рыхлением почвы в условиях Предкавказья. Аграрная наука. 2022. № 7-8. С. 132-135.
4. Радайкина Л. М., Камалихин В. Е. Эффективность применения усовершенствованной технологии возделывания подсолнечника. Тенденции развития науки и образования. 2022. № 88-1. С. 143-146.
5. Партоев К., Садридинов С., Пулатов Я. Э. Эффективность агротехнических приёмов при выращивании сельскохозяйственных культур. Кормопроизводство. 2018. № 2. С. 19-22.
6. Несмеянова М. А., Дедов А. В. Приемы повышения плодородия почвы и их эффективность при возделывании подсолнечника. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 4. С. 16-22.
7. Коцарева Н. В., Коваленко Е. В. Влияние предпосевной обработки семян подсолнечника на высоту растений и фотосинтетическую деятельность гибридов f1 Борей и f1 Дарий в условиях юго-запада ЦЧР. Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2021. № 1 (29). С. 117-121.
8. Ахмедов В. Ю., Соболев Ю. В. Повышение энергии прорастания семян с помощью нового способа предпосевной водной обработки. Аграрная Россия. 2021. № 9. С. 3-8.
9. Гирька А. Д. и др. Рост, развитие и формирование урожайности подсолнечника под влиянием регуляторов роста и удобрений. Зерновые культуры. 2018. Т. 2. № 2. С. 301-308.
10. Смирнов В. П., Костин В. И., Федорова И. Л. Эффективность применения регуляторов роста при формировании урожайности подсолнечника. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 1 (49). С. 45-50.
11. Левина Н. С. и др. Предпосевная обработка семян подсолнечника, сои и кукурузы низкочастотным электромагнитным излучением. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. № 4. С. 22-28.
12. Савченко В. В., Синявский А. Ю. Предпосевная обработка семян подсолнечника в магнитном поле. Агротехника и энергообеспечение. 2021. № 1 (30). С. 18-23.
13. 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.
14. Юдаев И. В. и др. Эффективные режимы предпосевной обработки семян подсолнечника в электрическом поле переменного напряжения. Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2021. Т. 68. № 2 (43). С. 3-8.

References

1. Khanieva I. M. et al. The influence of domestic liquid organic mineral fertilizers on the yield and quality indicators of sunflower hybrids. Bulletin of the Russian Agricultural Science. 2023. No 4. Pp. 25-28.
2. Nikiforov V. M., Nikiforov M. I., Pasechnik N. M. The use of micro fertilizers in the technology of sunflower cultivation for seeds. Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy. 2023. No 3 (97). Pp. 3-8.
3. Kuzychenko Yu. A., Gadjumarov R. G., Dzhandarov A. N. Sunflower cultivation with strip loosening of the soil in the conditions of the Pre-Caucasus. Agricultural science. 2022. No 7-8. Pp. 132-135.
4. Radaikina L. M., Kamalikhin V. E. The effectiveness of the use of improved sunflower cultivation technology. Trends in the development of science and education. 2022. No 88-1. Pp. 143-146.
5. Partoev K., Sadridinov S., Pulatov Ya. E. The effectiveness of agricultural techniques in the cultivation of crops. Fodder production. 2018. No 2. Pp. 19-22.
6. Nesmeyanova M. A., Dedov A.V. Techniques for increasing soil fertility and their effectiveness in sunflower cultivation. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2022. No 4. Pp. 16-22.
7. Kotsareva N. V., Kovalenko E. V. The effect of pre-sowing treatment of sunflower seeds on plant height and photosynthetic activity of f1 Borei and f1 Darius hybrids in the south-west of the Central Asian Republic. Innovations in agriculture: problems and prospects. 2021. No 1 (29). Pp. 117-121.

8. Akhmedov V. Yu., Sobolev Yu. V. Increasing the energy of seed germination using a new method of pre-sowing water treatment. *Agrarian Russia*. 2021. No 9. Pp. 3-8.
9. Girka A. D. et al. The growth, development and formation of sunflower yields under the influence of growth regulators and fertilizers. *Grain crops*. 2018. Vol. 2. No 2. Pp. 301-308.
10. Smirnov V. P., Kostin V. I., Fedorova I. L. The effectiveness of growth regulators in the formation of sunflower yields. *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2020. No 1 (49). Pp. 45-50.
11. Levina N. S. et al. Pre-sowing treatment of sunflower seeds, soybeans and corn with low-frequency electromagnetic radiation. *Agricultural machinery and technology*. 2018. Vol. 12. No 4. Pp. 22-28.
12. Savchenko V. V., Sinyavsky A. Y. Pre-sowing treatment of sunflower seeds in a magnetic field. *Agricultural machinery and energy supply*. 2021. No 1 (30). Pp. 18-23.
13. Glubokov M. V., Abubakarov A. G., Shkurkin S. I. Pre-sowing seed treatment with an ultrahigh frequency electromagnetic field in the organization of public procurement. *Economics, labor, management in agriculture*. 2023. No 9 (103). Pp. 151-163.
14. Yudaev I. V. and others. Effective modes of pre-sowing treatment of sunflower seeds in an alternating voltage electric field. *Electrical technologies and electrical equipment in the agro-industrial complex*. 2021. Vol. 68. No 2 (43). Pp. 3-8.

Информация об авторах

Чернявский Алексей Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: alexei.tcherniawskij@yandex.ru

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, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН).

Горбачева Анна Семеновна, кандидат экономических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26).

Салаев Бадма Катинович, 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

Арылов Юрий Нимеевич, доктор биологических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6490-3837>, e-mail: kalmsaiga@mail.ru

Болаев Баатр Канурович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8210-9971>, e-mail: kanur64@mail.ru

Курепина Наталья Леонидовна, доктор экономических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9337-3903>, e-mail: kurepinanl@mail.ru

Батыров Владимир Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, и.о. заведующего кафедрой, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет им. Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), ORCID: 0000-0003-2183-4058, e-mail: vladimir-ba@mail.ru

Authors' Information

Chernyavsky Aleksey Nikolaevich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskij 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, Universitetskij Ave., 26).

Aksenov Mihail Petrovich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskij Ave., 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1619-655X>, e-mail: aksenovmp@mail.ru

Petrov Nikolay Yuryevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskij Ave., 26), e-mail: technolog_16@mail.ru

Petrov Yuri Nikolaevich, Senior Researcher, Federal Research Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation, and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences.

Salaev Badma Katynovich, 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), e-mail: bk.salaev@mail.ru

Arylov Yuri Nimeevich, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, 358000, Kalmykia, Elista, Pushkin str., 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6490-3837>, e-mail: kalmsaiga@mail.ru

Bolaev Baatr Kanurovich, Doctor of Agricultural Sciences, 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/0000-0001-8210-9971>, e-mail: kanur64@mail.ru

Kurepina Natalya Leonidovna, Doctor of Economics, Professor of the Department, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, 358000, Kalmykia, Elista, Pushkin str., 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9337-3903>, e-mail: kurepinanl@mail.ru

Batyrov Vladimir Aleksandrovich, Doctor of Agricultural Sciences, Acting Head of the Department, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, 358000, Kalmykia, Elista, Pushkin str., 11), ORCID: 0000-0003-2183-4058, e-mail: vladimir-ba@mail.ru

THE PRODUCTIVE POTENTIAL OF DACTYLIS GLOMERATA L. IN THE CONDITIONS OF THE STAVROPOL REGION¹Chumakova V. V., ²Egorova G. S., ¹Mironova T. M.¹North Caucasus Federal Scientific Agrarian Center
Mikhailovsk, Stavropol region, Russian Federation²Volgograd State Agricultural University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: sosna777@bk.ru

Received 10.10.2025

Submitted 12.11.2025

This work was supported by a grant from the Russian Science Foundation for the research project "Genetic Diversity of *Dactylis glomerata* L. Populations as a Source of Valuable Initial Material for Breeding for Productivity and Quality," No. 24-26-00030, December 29, 2023.

Summary

The results of a study of cocksfoot specimens from the global collection of the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, as well as varietal and wild-growing material of various ecological and geographical origins, are presented. Genetic sources of forage productivity were identified for use in breeding in the Stavropol region.

Abstract

Introduction. Success in breeding work with the cockatiel is largely determined by the genetic diversity and the degree of study of the source material. The aim of the study was to investigate and identify genetic sources of forage productivity among collection specimens of the cockatiel of domestic and foreign origin as the source material for breeding. **Materials, methods and objects.** The article presents the results of assessing the forage productivity of 63 wild-growing specimens and varieties of the cockatiel of various ecological and geographical origins in comparison with the standard variety Genra. The studies were conducted in 2022-2025 in the unstable moisture zone of the Stavropol region on the experimental field of the North Caucasus Federal Scientific Center according to the methods of the All-Russian Research Institute of Forage named after V. R. Williams (2012). **The scientific novelty and practical significance** of the research consist in obtaining new data on the gene pool of the cockatiel and identifying economically valuable genotypes as new source material. **Results.** For use in breeding work with cocksfoot on the productivity of forage mass in the conditions of the zone of unstable moisture of the Stavropol region, the following varieties were selected from the world collection of the All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N. I. Vavilov (VIR): Khutorskaya K-27514 (+6.8 % of green and 5.4 % of dry weight), Tatyrskaya K-31309 (+10.2; 5.4 %), Sverdlovchanka 86 (+9.0; 10.7 %), Narymskaya 3 (+1.1; 5.5 %), as well as wild-growing samples K-29037 from Krasnodar (+13.0; 7.1 %) and a local sample from Stavropol Territory (+2.8; 10.7 %, respectively).

Keywords: *Dactylis glomerata* L., genetic sources, varieties of *Dactylis glomerata* L., breeding of *Dactylis glomerata* L.

Citation. Chumakova V. V., Egorova G. S., Mironova T. M. The productive potential of *Dactylis glomerata* L. in the conditions of the Stavropol region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 254-261 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-28.

The authors' contribution. All authors were directly involved in the planning, implementation, and analysis of the results 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 633.22:631.524.84(470.6)

ПРОДУКТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЕЖИ СБОРНОЙ В УСЛОВИЯХ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ¹Чумакова В. В., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник²Егорова Г. С., доктор сельскохозяйственных наук, профессор¹Миронова Т. М., аспирант, научный сотрудник¹ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»
Ставропольский край, г. Михайловск, Российская Федерация²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Работа выполнена при поддержке Гранта РНФ по научному проекту «Генетическое разнообразие популяций *Dactylis glomerata* L. как источник ценного исходного материала для селекции на продуктивность и качество», № 24-26-00030 от 29.12.2023 г.

Аннотация. Успех селекционной работы с ежой сборной во многом определяется генетическим разнообразием и степенью изученности исходного материала. **Цель исследования** – изучить и выделить среди коллекционных образцов ежи сборной отечественного и зарубежного происхождения

генетические источники продуктивности кормовой массы в качестве исходного материала для селекции. **Материал, методы и объекты.** В статье представлены результаты оценки кормовой продуктивности 63 дикорастущих образцов и сортов ежи сборной различного эколого-географического происхождения в сравнении со стандартным сортом Генра. Исследования проводились в 2022-2025 годах в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края на экспериментальном поле ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» по методике ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса (2012). **Научная новизна и практическая значимость** исследований состоит в получении новых данных о генофонде ежи сборной и выявлении хозяйственно ценных генотипов в качестве нового исходного материала. **Результаты.** Для использования в селекционной работе на продуктивность кормовой массы ежи сборной в условиях зоны неустойчивого увлажнения Ставропольского края из мировой коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова (ВИР) выделены сорта: Хуторская К-27514 (+ 6,8 % по зеленой и 5,4 % по сухой массе), Татырская К-31309 (+10,2; 5,4 %), Свердловчанка 86 (+ 9,0; 10,7 %), Нарымская 3 (+1,1; 5,5 %), а также дикорастущие образцы К-29037 из Краснодарского края (+13,0; 7,1 %) и местный образец из Ставропольского края (+2,8; 10,7 % соответственно).

Ключевые слова: ежа сборная, *Dactylis glomerata* L., генетические источники, сорта ежи сборной, селекция ежи сборной.

Цитирование. Чумакова В. В., Егорова Г. С., Миронова Т. М. Продуктивный потенциал ежи сборной в Ставропольском крае. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 254-261. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-28.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Развитие животноводства и увеличение производства животноводческой продукции, реализация программ ландшафтного земледелия и рационального использования региональных естественных ресурсов во многом определяется развитием травосеяния. Многолетние бобовые и злаковые травы обладают рядом ценных биологических свойств, обеспечивающих их широкое использование в растениеводстве, полевом и луговом кормопроизводстве [1].

Одной из высоко востребованных в сельскохозяйственном производстве многолетних злаковых трав является ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.). Ежа сборная довольно широко распространена в дикой природе, а также используется в полевом кормопроизводстве, при создании и улучшении сенокосно-пастбищных травостоев, производстве, гранул, сена и сенажа [2]. Культуру отличают такие характерные особенности, как высокая урожайность, конкурентоспособность, долголетие, питательная ценность и хорошая поедаемость кормовой массы, что обосновывает возможность её преимущественного выбора для различных систем кормопроизводства. Ежа сборная широко используется в России и за рубежом при создании раннеспелых травостоев, хорошо адаптируется к различным условиям выращивания, может расти на разных типах почвы, улучшает её структуру и защищает от деградации. В рационе животных ежа сборная способна не только обеспечить их витаминами и минералами, но и способствует увеличению продуктивности и здоровья [3, 4, 5]. Ежа сборная отличается высокой устойчивостью в агрофитоценозах, что позволяет ей сохраняться и продолжать накапливать биомассу там, где другие виды не могут выдержать конкуренцию по условиям произрастания и вымирают [6].

Повышение эффективности возделывания ежи сборной возможно только на основе использования современных высокоурожайных сортов и гибридов, приспособленных к возделыванию в конкретных почвенно-климатических условиях. Успех селекционной работы во многом определяется генетическим разнообразием и степенью изученности исходного материала. Использование коллекционного материала в селекции кормовых трав играет ключевую роль [7, 8, 9]. Это позволяет не только выявить генетические источники, но и разработать стратегию создания новых сортов по назначению, срокам и способам их использования. Селекция на повышение продуктивности имеет первостепенное значение. В то же время наследуемость признака продуктивности относительно низка, что доказано в селекции ряда многолетних злаковых трав [10, 11, 12, 13].

Цель исследования – провести скрининг коллекционных образцов ежи сборной отечественного и зарубежного происхождения и выделить генетические источники продуктивности кормовой массы для селекции культуры в условиях Ставропольского края.

Научная новизна – получены новые знания о генофонде культуры и выявлены перспективные генотипы для создания нового исходного материала и высококонкурентных сортов.

Актуальность – использование потенциала изученного коллекционного материала ежи сборной обеспечит создание нового исходного материала и сортов с высокой продуктивностью кормовой массы для конкретных условий возделывания.

Условия, материал и методы. Исследования проводили на экспериментальной базе ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» в 2022-2025 гг. в условиях зоны неустойчивого увлажнения Ставропольского края.

Зона проведения исследований по многолетним показателям характеризуется умеренно-континентальным климатом с ГТК=1,06. Почва опытного участка – типичный среднесуглинистый карбонатный чернозем с содержанием в горизонте 0-30 см гумуса на уровне 2,0-3,0 % (ГОСТ 26213-91), общего азота 0,22 % (ГОСТ 26107-84), подвижного фосфора 19-22 мг/кг (ГОСТ 26205-91), обменного калия 200-220 мг/кг (ГОСТ 26210-91).

За 2022-2025 годы исследований температурный режим и количество выпавших осадков в зимний и за вегетационный периоды складывались с большими колебаниями и отклонениями от среднемноголетних данных. Наиболее засушливыми в период весеннего и послеукосного отрастания травостоя были 2024 и 2025 годы. В 2023 и 2025 гг. отмечалось очень раннее весеннее отрастание травостоя, что было связано с резким повышением температуры воздуха при достаточной обеспеченности влагой (рисунок 1).

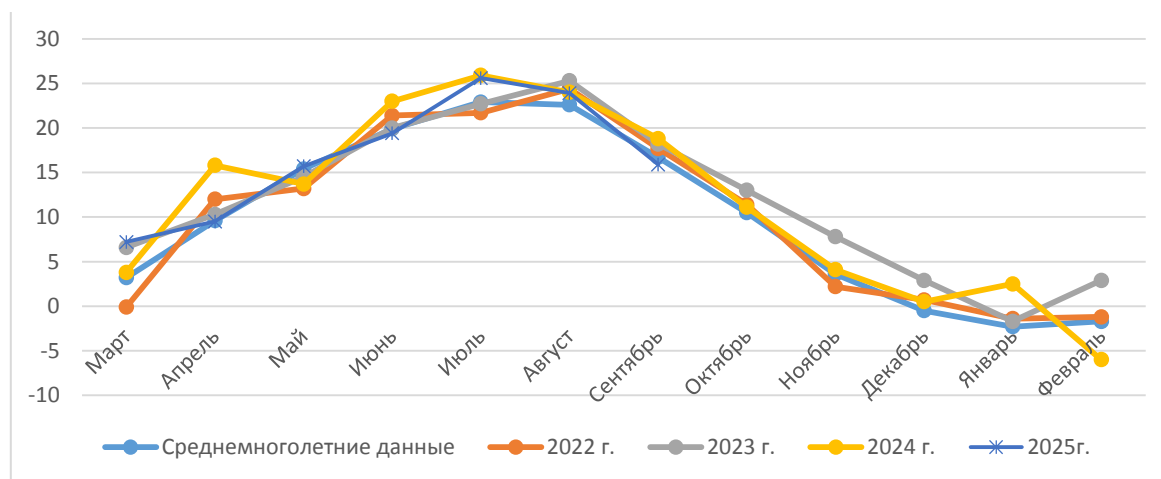


Рисунок 1 – Среднемесячная температура воздуха за 2022-2025 годы исследований, °C
Figure 1 – Average monthly air temperature for the 2022-2025 research years, °C

В год посева в весенне-летний период отмечено превышение количества выпавших осадков на 60,8 мм в сравнении с многолетними данными. Достаточное количество осадков в фазу «выметывание» травостоя отмечалось в 2023 году. В первый год пользования травостоем был получен наибольший за все годы изучения уровень урожайности кормовой массы. Резкое повышение температуры воздуха и практически отсутствие осадков наблюдалось в августе-сентябре, что способствовало выпадению травостоя у многих изученных образцов и снижению продуктивности на следующие годы пользования травостоем.

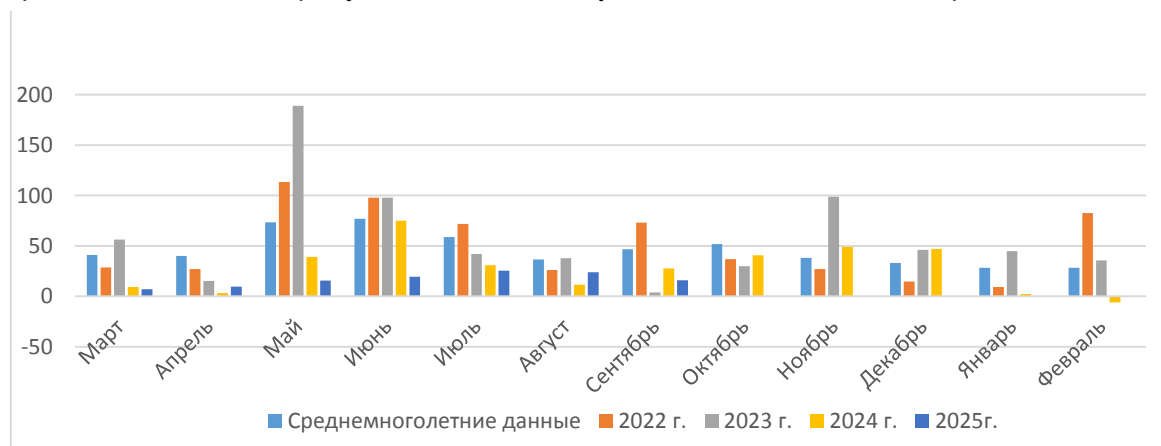


Рисунок 2 – Среднемесячное количество осадков за 2022-2025 годы исследований, мм
Figure 2 – Average monthly precipitation for the 2022-2025 study years, mm

Оценка морфобиологических особенностей изученного коллекционного материала в контрастно складывающихся за годы исследований погодных условий позволила дать им всестороннюю оценку и отобрать для использования в селекции генотипы с высокой продуктивностью кормовой массы.

В коллекционном питомнике было изучено 63 образца ежи сборной. Коллекция включала 44 дикорастущих образца различного эколого-географического происхождения и 19 сортов, из которых 11 российских и 8 зарубежных. Предшественник – пар. Срок посева – первая декада апреля. Исследования проводились на фоне естественного плодородия, борьба с сорняками – ручными прополками. В качестве стандарта использован сорт ежи сборной Генра, высеянный в питомнике через каждые два образца.

Фенологические наблюдения, оценку, учёт урожайности кормовой массы выполняли в соответствии с методическими указаниями по селекции многолетних трав, разработанными во ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса [14], статистическую обработку урожайных данных проводили по Б. А. Доспехову [15] с использованием компьютерных программы Microsoft Excel.

Морфологические и биологические признаки и свойства устанавливались путем глазомерной оценки и измерениями. Фенологические наблюдения проводились регулярно через 3-5 дней. При наступлении основных фаз роста и развития наблюдения проводились ежедневно. Началом фазы считался тот момент, когда она наступала у 10 % травостоя; полная фаза – у 75 %. Дату начала всходов регистрировали, когда намечались рядки; фазу полных всходов – когда рядки четко были обозначены. Начало кущения отмечали при появлении первых боковых побегов (обычно при двух – трех настоящих листьях). Высота травостоя измерялась в сантиметрах от поверхности почвы до верхушек соцветий в пяти случайных точках на делянке на 35-й день после начала вегетации и в фазе «начало выметывания соцветий» (что совпадало с периодом учета первого укоса зелёной массы).

Оценка мощности травостоя, или общая хозяйственная оценка изучаемых образцов, проводилась визуально по пятибалльной шкале. При этом принимались во внимание такие характеристики, как равномерность, плотность стояния травостоя, кустистость, облиственность и другие параметры.

Результаты и их обсуждение. В год посева, несмотря на благоприятные условия по увлажнению в апреле-июле 2022 года, все изученные образцы, включая стандартный сорт, не сформировали укосный травостой.

В последующие годы жизни травостоя все образцы развивались по полному циклу. Весеннее отрастание травостоя наблюдалось в период с 20 по 25 марта, выметывание генеративных побегов отмечено с 21 по 23 мая.

По скороспелости изученные сортообразцы были разделены на три группы: скороспелые, среднеспелые и позднеспелые. В группу раннеспелых, с продолжительностью вегетации от начала отрастания весной до полного выметывания генеративных побегов 45-47 дней, вошли 5 образцов: 3 дикорастущих (из Ставропольского края, Грузии и Казахстана), а также 2 сорта (Хуторская и Первомайская). Основную группу изученных образцов (имеющих показатель на уровне стандартного сорта с продолжительностью вегетации от начала вегетации до первого укоса в 48-50 дней) составили среднеспелые образцы. Сюда вошли большинство дикорастущих образцов отечественного и иностранного происхождения, а также сорта Двина, Татырская, Нарымская 3, Хуторская из Краснодарского края, Свердловской и Томской областей, Канады, Кыргызстана и Казахстана. К позднеспелым (с продолжительностью вегетации до 60 и более дней) были отнесены дикорастущие образцы и сорта из Латвии, Эстонии, Украины и республики Алтай.

По высоте растений в условиях Ставропольского края коллекционные образцы были представлены в большинстве среднерослыми формами (высота в фазу укосной спелости 75-85 см). В группу высокорослых вошли 13 образцов (более 85 см в фазу «выметывание»). Низкорослые, в количестве трех образцов из Восточно-Казахстанской области, Коми и Китая имели высоту менее 75 см.

Высокую облиственность в первом укосе (до 63 %) имели сорта Двина, Татырская, Нарымская 3, Хуторская и стандарт, а также дикорастущие образцы из Ставропольского и Краснодарского краев, Республик Карачаево-Черкессия, Беларусь и Армения.

Урожайность зеленой массы на втором году жизни травостоя варьировала от 0,55 до 3,36 кг/м². Урожайность зеленой массы стандартного сорта составила 3,14 кг/м². Уровень стандарта превысили только три образца: дикорастущий образец К-29037 из Красно-

дарского края, а также сорта Хуторская и Татырская. Наибольшую продуктивность зеленой массы ($3,36 \text{ кг/м}^2$) имел сорт ежи сборной Татырская К-31309 из Кыргызстана, при уровне стандартного сорта $3,14 \text{ кг/м}^2$.

В условиях крайне засушливого 2024 года урожайность зеленой массы у большинства образцов была ниже в сравнении со вторым и третьим годами жизни травостоя в 3-5 раз. На третьем году жизни травостоя урожайность зеленой массы варьировала от $0,11$ до $2,39 \text{ кг/м}^2$, при урожайности стандартного сорта $1,02 \text{ кг/м}^2$. Превысили уровень стандарта 10 образцов на $0,18$ - $1,37 \text{ кг/м}^2$. Наибольшую урожайность показал сорт Свердловская 86 на уровне $2,39 \text{ кг/м}^2$, созданный в Уральском федеральном научно-исследовательском центре Уральского отделения РАН.

На четвертом году жизни травостоя урожайность зеленой массы также была очень низкой и варьировала от $0,15$ до $1,20 \text{ кг/м}^2$. Урожайность стандартного сорта в $1,15 \text{ кг/м}^2$ превысили три дикорастущих образца из Красноярского и Ставропольского краев и КЧР.

Урожайность зеленой массы в среднем за три года пользования травостоем (2023-2025 гг.) составила у изученных коллекционных образцов от $0,55$ до $1,90 \text{ кг/м}^2$. По урожайности зеленой массы уровень стандартного сорта на $1,1$ - $14,1$ % превысили 7 коллекционных образцов: дикорастущие из Ставропольского края, Карачаево-Черкесской Республики, К-29037 из Краснодарского края, а также сорта Хуторская (К-27514) из Краснодарского края, Татырская (К-31309) из Кыргызстана, Свердловчанка 86 из Свердловской области и Нарымская 3 из Томской области (таблица 1).

Таблица 1 – Урожайность зелёной массы (кг/м^2) выделившихся коллекционных образцов ежи сборной за 2023-2025 годы (посев 2022 г.)

Table 1 – Productivity of green mass (kg/m^2) of isolated specimens of the hedgehog in the collection nursery for 2023-2025 (sowing in 2022)

Название / Name	Происхождение / Origin	2023	2024	2025	Среднее за 3 года / Average for 3 years	% к St
Генра, St / Genra, St	Ставропольский край / Stavropol region	3,14	1,02	1,15	1,77	-
К-29037 дикорастущая / K-29037 wild – growing	Краснодарский край / Krasnodar region	3,30	1,30	1,40	2,00	13,0
дикорастущая / wild – growing	Ставропольский край / Stavropol region	2,47	1,79	1,80	2,02	14,1
дикорастущая / wild – growing	КЧР / Karachay-Cherkess Republic	3,01	1,20	1,15	1,79	1,1
Свердловчанка-86 / Sverdlovchanka-86	Свердловская область / Sverdlovsk region	2,50	2,39	0,90	1,93	9,0
К-31309 Татырская / K-31309 Tatyrskaya	Кыргызстан / Kyrgyzstan	3,36	1,20	1,30	1,95	10,2
К-27514 Хуторская / K-27514 Khutorskaya	Краснодарский край / Krasnodar region	3,20	1,21	1,00	1,89	6,8
Нарымская 3 / Narymskaya 3	Томская область / Tomsk region	2,46	1,78	1,13	1,79	1,1
НСР 05		0,10	0,17	0,04		

В качестве генетических источников урожайности зеленой массы по годам пользования травостоем выделены сорта Свердловчанка-86, Хуторская К-27514 и Татырская К-31309, а также дикорастущие К-29037 из Краснодарского и местный образец из Ставропольского края с урожайностью в среднем за три года пользования травостоем $1,79$ - $2,02 \text{ кг/м}^2$, с превышением уровня стандартного сорта на $6,8$ - $14,1$ %. Высокий уровень урожайности зеленой массы в засушливом 2024 г. у сортов Свердловчанка 86 и Нарымская 3 позволяет отнести их к устойчивым к засухе формам.

Урожайность сухого вещества (расчетный показатель по выходу воздушно-сухого вещества) в первый год пользования травостоем у изученных коллекционных образцов составила от $0,17$ до $0,96 \text{ кг/м}^2$, превышения над стандартом не было выявлено ни у одного образца, которая составила в условиях 2023 года $0,99 \text{ кг/м}^2$. На втором году пользования травостоем урожайность стандартного сорта снизилась в условиях засухи в три раза и составила $0,33 \text{ кг/м}^2$, которую превзошли 13 образцов. Наибольшая урожайность сухого ве-

щества отмечена на уровне 0,61-0,81 кг/м² у сортов Свердловчанка 86, Нарымская 3 и дикорастущего образца из Ставропольского края. В условиях засушливого вегетационного периода 2025 года уровень стандарта по урожайности воздушно-сухого вещества (0,37 кг/м²) существенно превысили только 3 образца: дикорастущие из Ставропольского края и КЧР, а также сорт Хуторская К-27514. В среднем за три года пользования травостоем урожайность сухого вещества у изученных образцов составила 0,16-0,62 кг/м², при урожайности стандарта 0,56 кг/м². По выходу и урожайности воздушно-сухого вещества по годам пользования травостоем были выделены 6 коллекционных образцов (таблица 2).

Таблица 2 – Урожайность воздушно-сухого вещества (кг/м²) выделившихся коллекционных образцов ежи сборной за 2023-2025 годы (посев 2022 г.)

Table 2 – Productivity of air-dry matter (kg/m²) of released hedgohg specimens in the collection nursery for 2023-2025 (sowing in 2022)

Название / Name	Происхождение / Origin	2023	2024	2025	Среднее за 3 года / Average for 3 years	% к St
Генра, St / Genra, St	Ставропольский край / Stavropol region	0,99	0,33	0,37	0,56	-
К-29037 дикорастущая / K-29037 wild – growing	Краснодарский край / Krasnodar region	0,84	0,49	0,47	0,60	7,1
дикорастущая / wild – growing	Ставропольский край / Stavropol region	0,74	0,68	0,43	0,62	10,7
Свердловчанка-86 / Sverdlovchanka-86	Свердловская область / Sverdlovsk region	0,65	0,81	0,39	0,62	10,7
К-31309 Татырская / K-31309 Tatyrskaya	Кыргызстан / Kyrgyzstan	0,98	0,41	0,39	0,59	5,4
К-27514 Хуторская / K-27514 Khutorskaya	Краснодарский край / Krasnodar region	0,92	0,43	0,42	0,59	5,4
Нарымская 3 / Narymskaya 3	Томская область / Tomsk region	0,70	0,61	0,46	0,59	5,4
НСР 05		0,02	0,07	0,01		

В качестве генетических источников выхода и урожайности воздушно-сухой массы выделены сорта из мировой коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова Хуторская К-27514 и Татырская К-31309, Нарымская 3, Свердловчанка 86, дикорастущий образец К-29037 из Краснодарского края, а также местный дикорастущий образец, урожайность которых в среднем за три года пользования травостоем составила 0,59-0,62 кг/м² с превышением стандартного сорта на 5,4-10,7 %.

Выводы. Наши исследования показали, что формирование и величина урожайности кормовой массы коллекционных образцов ежи сборной во многом определялась складывающимися метеорологическими условиями.

Для использования в дальнейшей селекционной работе в условиях Ставропольского края выделено 6 генетических источников продуктивности кормовой массы. Это сорта Хуторская К-27514 (прибавка к стандарту 6,8 % по зеленой и 5,4 % по сухой массе), Татырская К-31309 (10,2; 5,4 %), Свердловчанка 86 (9,0; 10,7 %), Нарымская 3 (1,1; 5,5 %). Из изученных дикорастущих образцов в коллекции выделен дикорастущий К-29037 из Краснодарского края (13,0; 7,1 %) из Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова, а также местный образец из Ставропольского края (2,8; 10,7 %).

Исследования показали, что для использования в селекции ежи сборной на продуктивность кормовой массы перспективно использовать как местные и инорайонные дикорастущие формы, так селекционные сорта различного эколого-географического происхождения.

Conclusions. Our research has shown that the formation and yield of forage mass in the collection of cocksfoot trefoil samples were largely determined by prevailing meteorological conditions.

Six genetic sources of forage mass productivity was identified for use in further breeding work in the Stavropol region. These varieties are Khutorskaya K-27514 (increase over the standard by 6.8 % in green mass and 5.4 % in dry mass), Tatyrskaya K-31309 (10.2 %; 5.4 %), Sverdlovchanka 86 (9.0 %; 10.7 %), and Narymskaya 3 (1.1 %; 5.5 %). Of the wild samples studied in the collection, wild K-29037 from Krasnodar region (13.0 %; 7.1 %) was isolated from the All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N. I. Vavilov, as well as a local sample from Stavropol region (2.8; 10.7 %).

Research has shown that both local and non-local wild forms, as well as selected varieties of different ecological and geographical origins, are promising for use in breeding cocksfoot for forage productivity.

Библиографический список

1. Косолапов В. М., Трофимов И. А., Трофимова Л. С., Яковлева Е. П. Многофункциональное кормопроизводство России. Кормопроизводство. 2011. № 10. С. 3-5.
2. Лазарев Н. Н., Шитикова А. В., Куренкова Е. М., Кухаренкова О. В., Дикарева С. А., Тяжкороб А. Р. Ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.) – кормовая культура универсального использования в адаптивном лугопастбищном хозяйстве (обзор). Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2024. № 2. С. 93-109.
3. Чумакова В. В., Чумаков В. Ф., Деревянникова М. В., Миронова Т. М. Виды и сорта многолетних злаковых трав для сохранения и восстановления биологических ресурсов степных регионов. Степи Северной Евразии: материалы X международного симпозиума. Оренбург: Институт степи Уральского отделения РАН, 2024. С. 1483-1486.
4. Клименко В. П. Качественные объёмистые корма – основа полноценных рационов для высокопродуктивного скота. Адаптивное кормопроизводство. 2019. № 3. С. 102-115.
5. Rechitean D., Bostan C., Istrate-Schiller C., Horablaga N. M. et al. Performance of the *Dactylis glomerata* L. species in the conditions of A.R.D.S. Lovrin. Life Science and Sustainable Development. 2022. Vol. 3. No 1. Pp. 129-136.
6. Robins J. G., Jensen K. B., Buffham J. R., Bushman B. S. et al. 'USDA-Yeti' orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.), a new orchardgrass cultivar that combines excellent winterhardiness and agronomic performance. Journal of Plant Registrations. 2023. Vol. 17. I. 3. Pp. 478-482.
7. Чумакова В. В., Чумаков В. Ф., Деревянникова М. В., Лебедева Н. С., Миронова Т. М., Сухарев С. А. Адаптивные сорта кормовых трав и их семеноводство в Северо-Кавказском регионе. Многофункциональное адаптивное кормопроизводство. 2022. № 29 (77). С. 58-63.
8. Li S., Nie Z., Zhang D. Competition between cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) and companion species: Evidence for allelopathy. Field Crops Research. 2016. V. 196. Pp. 52-462.
9. Скалозуб О. М., Ключкова Н. Л. Оценка исходного материала для селекции ежи сборной в условиях Приморского края. Вестник НГАУ. 2021. No 3 (60). С. 57-64.
10. Bakhtiari M. A., Saeidnia F., Majidi M. M., Mirlohi A. Growth traits associated with drought survival, recovery and persistence of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) under prolonged drought treatments. Crop and Pasture Science. 2019. V. 70 (1). Pp. 85-94.
11. Turner L. R., Donaghy D. J., Lane P. A., Rawnsley R. P. Effect of defoliation management, based on leaf stage, on perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.), prairie grass (*Bromus willdenowii* Kunth.) and cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) under dryland conditions. 1. Regrowth, tillering and water-soluble carbohydrate concentration. Grass and Forage Science. 2006. Vol. 61. Pp. 164-174.
12. Ren J., Li F., Yin C. Orchard grass safeguards sustainable development of fruit industry in China. Journal of Cleaner Production. 2023. V. 382.
13. Сапрыкин С. В. и др. Научные основы селекции и семеноводства многолетних трав в Центрально-Черноземном регионе России. Воронеж: ОАО «Воронежская областная типография», 2020. 496 с.
14. Косолапов В. М., Костенко С. И., Пилипенко С. В., Ключкова В. С. и др. Методические указания по селекции многолетних злаковых трав. М.: РГАУ-МСХА, 2012. 185 с.
15. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.

References

1. Kosolapov V. M., Trofimov I. A., Trofimova L. S., Yakovleva E. P. Multifunctional Forage Production in Russia. Forage Production. 2011. No. 10. Pp. 3-5.
2. Lazarev N. N., Shitikova A. V., Kurenkova E. M., Kukharekova O. V., Dikareva S. A., Tyazhkorob A. R. Cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) – a General-Purpose Forage Crop in Adaptive Grassland Management (Review). Bulletin of the Timiryazev Agricultural Academy. 2024. No 2. Pp. 93-109.
3. Chumakova, V. V., Chumakov, V. F., Derevyannikova, M. V., Mironova, T. M. Species and varieties of perennial cereal grasses for the conservation and restoration of biological resources of steppe regions. Steppes of Northern Eurasia: Proceedings of the X International Symposium. Orenburg: Steppe Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2024. Pp. 1483-1486.
4. Klimenko V. P. High-quality, bulky feeds are the basis for complete diets for highly productive cattle. Adaptive Forage Production. 2019. No 3. Pp. 102-115.
5. Rechitean D., Bostan C., Istrate-Schiller C., Horablaga N. M. et al. Performance of the *Dactylis glomerata* L. species in the conditions of A.R.D.S. Lovrin. Life Science and Sustainable Development. 2022. Vol. 3. No 1. Pp. 129-136.
6. Robins J. G., Jensen K. B., Buffham J. R., Bushman B. S. et al. 'USDA-Yeti' orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.), a new orchardgrass cultivar that combines excellent winterhardiness and agronomic performance. Journal of Plant Registrations. 2023. Vol. 17. I. 3. Pp. 478-482.
7. Chumakova V. V., Chumakov V. F., Derevyannikova M. V., Lebedeva N. S., Mironova T. M., Sukharev S. A. Adaptive varieties of forage grasses and their seed production in the North Caucasus region. Multifunctional adaptive forage production. 2022. No 29 (77). Pp. 58-63.
8. Li S., Nie Z., Zhang D. Competition between cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) and companion species: Evidence for allelopathy. Field Crops Research. 2016. V. 196. Pp. 52-462.
9. Skalozub O. M., Klockkova N. L. Evaluation of source material for breeding orchard grass in Primorsky region. Bulletin of NGAU. 2021. No 3 (60). Pp. 57-64.
10. Bakhtiari M. A., Saeidnia F., Majidi M. M., Mirlohi A. Growth traits associated with drought survival, recovery and persistence of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) under prolonged drought treatments. Crop and Pasture Science. 2019. V. 70 (1). Pp. 85-94.

11. Turner L. R., Donaghy D. J., Lane P. A., Rawnsley R. P. Effect of defoliation management, based on leaf stage, on perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.), prairie grass (*Bromus willdenowii* Kunth.) and cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) under dryland conditions. 1. Regrowth, tillering and water-soluble carbohydrate concentration. Grass and Forage Science. 2006. Vol. 61. Pp. 164-174.
12. Ren J., Li F., Yin C. Orchard grass safeguards sustainable development of fruit industry in China. Journal of Cleaner Production. 2023. V. 382.
13. Saprykin S. V., et al. Scientific foundations of breeding and seed production of perennial grasses in the Central Black Earth Region of Russia. Voronezh: OJSC "Voronezh Regional Printing House", 2020. 496 p.
14. Kosolapov V. M., Kostenko S. I., Pilipenko S. V., Klochkova V. S., et al. Guidelines for the Breeding of Perennial Cereal Grasses. Moscow: Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy, 2012. 185 p.
15. Dospekhov B. A. Field Experiment Methodology (with Basics of Statistical Processing of Research Results). Moscow: Alliance, 2014. 351 p.

Информация об авторах

Чумакова Вера Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующая отделом, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» (Российская Федерация, 356241, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 49), ORCID: 0000-0003-0913-6855, e-mail: sosna777@bk.ru

Егорова Галина Сергеевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующая кафедрой, ФБГОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, 26), e-mail: egorova.g.s.2022@gmail.com

Миронова Татьяна Михайловна, научный сотрудник, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» (Российская Федерация, 356241, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 49), ORCID: 0000-0003-3699-1056; e-mail: TatianaMironov@yandex.ru

Authors' Information

Chumakova Vera Vladimirovna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Head of the Department, North Caucasus Federal Scientific Agrarian Center (Russian Federation, 356241, Stavropol region, Mikhailovsk, Nikonov Street, 49), ORCID: 0000-0003-0913-6855; e-mail: sosna777@bk.ru

Egorova Galina Sergeevna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskii Ave., 26), e-mail: egorova.g.s.2022@gmail.com

Mironova Tatyana Mikhailovna, Researcher, North Caucasus Federal Scientific Agrarian Center (Russian Federation, 356241, Stavropol region, Mikhailovsk, Nikonov Street, 49), ORCID: 0000-0003-3699-1056, e-mail: TatianaMironov@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-29

THE ASSESSMENT OF THE NATURAL POPULATIONS OF *DACTYLIS GLOMERATA* L. FOR USE IN BREEDING

¹Mironova T. M., ²Egorova G. S., ¹Chumakova V. V., ¹Chumakov V. F.

¹North Caucasus Federal Scientific Agrarian Center
Mikhailovsk, Stavropol region, Russian Federation

²Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: sosna777@bk.ru

Received 31.10.2025

Submitted 12.11.2025

This work was supported by a grant from the Russian Science Foundation for the research project "Genetic Diversity of *Dactylis glomerata* L. Populations as a Source of Valuable Initial Material for Breeding for Productivity and Quality, No. 24-26-00030 dated December 29, 2023.

Abstract

Introduction. The basis for breeding the cocksfoot is the combination of high yield potential and adaptability in a single genotype. These indicators must already be present in the initial breeding material. **Object.** To mobilize, study, and evaluate natural populations of the cocksfoot, followed by the selection of promising forms for use in breeding. **Materials and methods.** To study natural populations, 18 expeditionary trips were organized in the North Caucasus and Southern Federal Districts. From 2022 to 2025, 44 wild-growing accessions of various ecological and geographical origins were studied at the collection nursery. The studies were conducted using the VIR methodological guidelines for conducting expeditionary surveys (2019), as well as the recommendations for breeding cereal grasses of the All-Russian Research Institute of Forage (2012). **Results.** The habitats and targeted collection sites of wild biotypes and populations of the cocksfoot were identified along expeditionary survey routes. A total of 245 natural populations and biotypes were introduced to replenish the collection fund of the North Caucasus Federal Scientific Research Center. An assessment of 44 wild collection specimens demonstrated the species' high diversity. Wild specimens K-29037 from Krasnodar Krai and a local specimen from Stavropol Krai, which exceeded the standard by 13.0-14.1 % in forage mass, were selected as genetic sources for breeding. K-22499, K-29059, and K-31614 from Denmark, Canada, and Ukraine, as well as a local population from Stavropol Krai, exceeded the standard by 4-20 % in seed productivity.

Keywords: *Dactylis glomerata* L., introduction of *Dactylis glomerata* L., breeding of *Dactylis glomerata* L., variety *Dactylis glomerata* L.

Citation. Mironova T. M., Egorova G. S., Chumakova V. V., Chumakov V. F. The assessment of the natural populations of *Dactylis glomerata* L. for use in breeding. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 261-269 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-29.

Author' Contributions. The authors of the studies were directly involved in their planning, implementation, and analysis of the results. All authors reviewed the final version and approved the submitted version.

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

УДК 633.22:631.52

ОЦЕНКА ПРИРОДНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ ЕЖИ СБОРНОЙ *DACTYLIS GLOMERATA* L. С ЦЕЛЬЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СЕЛЕКЦИИ

¹Миронова Т. М., научный сотрудник

²Егорова Г. С., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹Чумакова В. В., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

¹Чумаков В. Ф., старший научный сотрудник

¹ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»

Ставропольский край, г. Михайловск, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

Работа выполнена при поддержке Гранта РНФ по научному проекту «Генетическое разнообразие популяций *Dactylis glomerata* L. как источник ценного исходного материала для селекции на продуктивность и качество», № 24-26-00030 от 29.12.2023 г.

Актуальность. Основой селекции ежи сборной является сочетание в одном генотипе высокого потенциала урожайности и адаптивности. Соответствующие показатели необходимо иметь уже на уровне исходного материала для селекции. **Цель.** Мобилизовать, изучить и дать оценку природных популяций ежи сборной с последующим отбором перспективных форм для использования в селекции. **Материал и методы.** Для изучения природных популяций организовано 18 экспедиционных выездов в Северо-Кавказском и Южном федеральных округах. В коллекционном питомнике в 2022-2025 гг. изучены 44 дикорастущих образца различного экологического и географического происхождения. Исследования проводились с использованием методических указаний ВИР по проведению экспедиционных обследований (2019), а также рекомендаций по селекции злаковых трав ВНИИ кормов (2012). **Результаты.** Выявлены места произрастания и целенаправленного сбора дикорастущих биотипов и популяций ежи сборной по маршрутам экспедиционных обследований. Интродуцировано 245 природных популяций и биотипов для пополнения коллекционного фонда ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ». Оценка 44 дикорастущих коллекционных образцов показала большое разнообразие вида. В качестве генетических источников для селекции выделены дикорастущие образцы К-29037 из Краснодарского и местный из Ставропольского края, превысившие стандарт на 13,0-14,1 % по кормовой массе, а также К-22499, К-29059, К-31614 из Дании, Канады, Украины и местная популяция из Ставропольского края, превысившие стандарт от 4 до 20 % по продуктивности семян.

Ключевые слова: ежа сборная *Dactylis glomerata* L., интродукция ежи сборной, селекция ежи сборной, сорта ежи сборной.

Цитирование. Миронова Т. М., Егорова Г. С., Чумакова В. В., Чумаков В. Ф. Оценка природных популяций ежи сборной *Dactylis glomerata* L. с целью использования в селекции. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 261-269. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-29.

Авторский вклад. Авторы проведенных исследований непосредственно принимали участие в их планировании и проведении, анализе полученных результатов. Все авторы ознакомились с окончательной версией и одобрили представленный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Использование многолетних трав в полевых севооборотах является стандартной практикой и основным методом обогащения почвы элементами питания, защиты от засоления, подтопления, водной и ветровой эрозии, сохранения и обогащения биоразнообразия. Многолетние травы позволяют сократить затраты в процессе производства высококачественных и сбалансированных по составу кормов[1].

Ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.) является одним из самых распространенных и востребованных видов среди многолетних злаковых трав. Культура характеризуется устойчивостью в одновидовых и многокомпонентных сенокосно-пастбищных травостоях, отличается конкурентоспособностью, долголетием, высокой экологической пластичностью [2, 3]. В природе ежа сборная довольно широко распространена. Предпочитает расти в горно-степном и луго-степном поясах, охватывая субальпийскую зону до высоты 2000-2600 м над

уровнем моря. Довольно часто встречается и успешно растет на полянах, опушках и в разреженных лесах [4, 5, 6]. По данным Wu J., Yan L., Peng J. et al. общая площадь местообитаний ежи сборной в мире составляет $2133,01 \times 10^4$ км². По континентам она рассеяна неравномерно [7, 8].

Повышение эффективности возделывания ежи сборной возможно только на основе использования современных высокоурожайных сортов культуры, приспособленных к возделыванию в конкретных почвенно-климатических условиях. Успех селекционной работы определяется генетическим разнообразием и степенью изученности исходного материала, применением эффективных методов селекции [9, 10].

Начало селекционной работы с ежой сборной в ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» в 1974 году было связано с привлечением мировой коллекции ВИР, включающей около 100 дикорастущих образцов и большой коллекции дикорастущего материала высокогорных и предгорных равнин Армении. С использованием этого исходного материала методом многократного отбора были созданы новые сорта, которые в различные годы вносились в Госреестр селекционных достижений: в 2013 году – первый сорт ставропольской селекции сенокосно-пастбищного типа использования Севанская с урожайностью зеленой массы – 470, сухой – 118, семян – 6,5 ц/га. В 2017 г. к использованию в Средневолжском регионе был допущен новый сорт ежи сборной Гегамская. Сорт отличался высокой облиственностью, толерантностью к болезням, засухоустойчивостью, зимо- и морозостойкостью. Созданный в 2018 г. сорт Союз-60 обладал высокой устойчивостью к засухе, скороспелостью, облиственностью, продуктивностью и качеством кормовой массы. Районированный в настоящее время в Северо-Кавказском регионе сорт ставропольской селекции Генра был внесен в Госреестр селекционных достижений РФ в 2002 году. Сорт имеет на сегодня определенные изъяны: нестабильность семенной продуктивности по годам, низкие облиственность и содержание протеина в кормовой массе, слабую энергию отрастания после укоса, неравномерное созревание семенного материала [11]. В связи с чем были поставлены задачи мобилизации и выявления новых дикорастущих генотипов с целью их дальнейшего привлечения в селекционный процесс.

В России в настоящее время для использования в сельскохозяйственном производстве допущено 29 сортов ежи сборной. В Северо-Кавказском регионе допущено к использованию 5 сортов. В Госреестре селекционных достижений РФ сохраняются старые российские сорта, созданные в 50-60 гг. прошлого столетия, за последние три года в Госреестр не было внесено ни одного нового сорта [12].

Историей отечественной селекции ежи сборной доказано, что наибольший удельный вес в создании новых сортов имели местные дикорастущие популяции. Самой природой была проведена колоссальная работа по формированию приспособленных к конкретным местам произрастания популяций, в том числе в условиях засухи, засоления и затопления почв, на склоновых землях и других малопригодных к произрастанию условиях [13].

Цель. Изучить потенциал природных популяций ежи сборной, дать им оценку в коллекционном питомнике и выделить генетические источники продуктивности кормовой массы и семян для селекционной работы.

Материал и методы. Маршруты экспедиционных выездов были разработаны с учетом данных немногочисленных литературных источников по распространению ежи сборной в южных регионах России. В исследованиях по определению таксономической принадлежности, при проведении эколого-географического анализа, оценки эндемизма и хозяйственной ценности коллекционных образцов были использованы методические указания Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (ВИР) [14] и ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса [15]. Статистическая обработка результатов исследований проводилась в соответствии с методикой полевого опыта по Доспехову Б. А. [16].

В 2022-2025 гг. на экспериментальном полигоне ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» были изучены 44 дикорастущих образца. Из них 6 были отобраны в природных ландшафтах Ленинградской области, на Алтае, в Ставропольском крае и Карачаево-Черкесской Республике и 38 получены из мировой коллекции ВИР [17]. Стандартом в опыте служил сорт ежи сборной Генра. Предшественник – пар. Посев был проведен 21 апреля 2022 года, способ посева широкоярусный с шириной междурядий 70 см. Коллекционным образцам дана оценка всех показателей роста и развития травостоя, определяющих уровень продуктивности кормовой массы и семян.

Почвы опытного участка – обыкновенный среднесуглинистый карбонатный чернозем с содержанием гумуса на уровне 2,0-3,0 %. Опытное поле расположено в третьей агроклиматической зоне Ставропольского края, гидротермический коэффициент находится на уровне 1,1-1,3. Среднегодовая среднесуточная температура воздуха составляет 8,4 °С, сумма активных температур варьирует от 3 300 до 3650 °С, за год в среднем выпадает 554 мм осадков. Довольно большие колебания и отклонения метеоусловий от среднемноголетних данных позволили дать всестороннюю оценку дикорастущего материала на реакцию к климату и отобрать для использования в селекции адаптивные образцы [18].

За 2024 и 2025 гг. было проведено 18 экспедиционных выездов на территории 22 муниципальных районов в Ставропольском и Краснодарском краях, Волгоградской области, республик Калмыкия, КЧР и Адыгея по маршрутам общей протяженностью 3500 км. Это позволило пополнить генофонд ежи сборной ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» 245 природными образцами.

Результаты и обсуждение. В Северо-Кавказском и Южном федеральных округах в природе ежа сборная довольно широко распространена как в предгорных, так и в равнинных местообитаниях. В дикой природе на обследованных территориях распространение популяций и отдельных растений отмечено на различных местообитаниях. Установлено, что на юге России ежа сборная является довольно полиморфным видом, имеет множество экотипов, различающихся по морфологическим признакам и биологическим особенностям. Результаты 16 экспедиционных выездов в 2024-2025 гг. в Ставропольском, Краснодарском краях, Республиках Калмыкия, Карачаево-Черкессия, Адыгея и Калмыкия по сбору дикорастущего материала уже опубликованы нами [18] и позволили пополнить коллекционный фонд ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» 220 дикорастущими образцами ежи сборной. В 2025 г. маршрут экспедиционных исследований дополнительно прошел в сухостепной зоне Котельниковского и Октябрьского муниципальных округов Волгоградской области (рисунок 1). По маршруту обследований в Волгоградской области и Республике Калмыкия был отобран дикорастущий материал на суглинистых и песчаных почвах, в том числе подверженных засолению, в количестве 25 единиц как на увлажненных участках, так и в засушливых условиях произрастания популяций и экотипов. Отобранные образцы послужат основой закладки на экспериментальном полигоне ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» коллекционного питомника с целью получения новых сведений о генофонде ежи сборной и использования в качестве исходного материала при создании новых сортов кормового и декоративного направления использования.

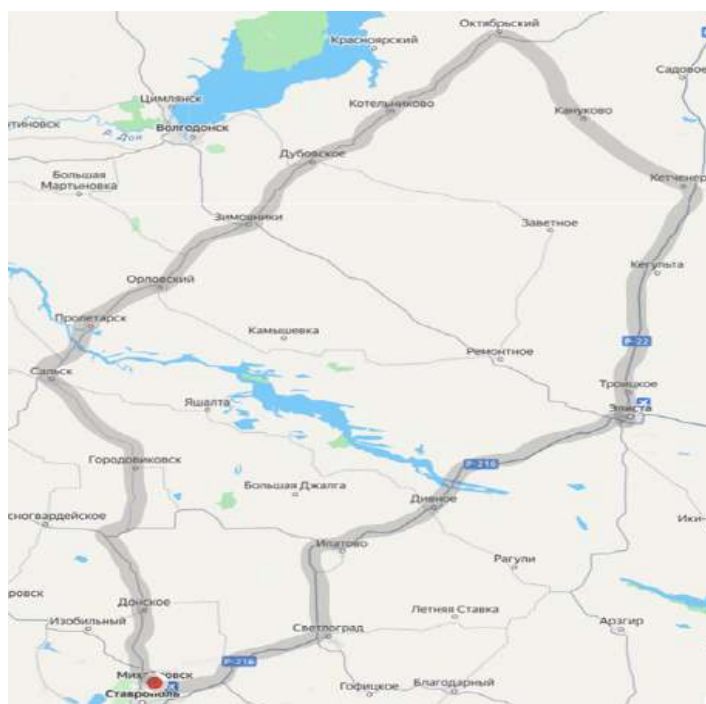


Рисунок 1 – Карта-схема маршрутов экспедиций по Волгоградской области и Республике Калмыкия, 2025 г.
Figure 1 – Map-scheme of expedition routes in the Volgograd region and the Republic of Kalmykia, 2025

Широкий набор дикорастущих образцов ежи сборной местного, инорайонного происхождения и из мировой коллекции ВИР в количестве 44 единиц получил всестороннюю оценку в 2022-2025 годах на экспериментальном полигоне ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ».

В год посева в условиях дефицита влаги все изученные дикорастущие образцы не сформировали укосный травостой, также как изученные в опыте сорта, в том числе стандартный сорт Генра. На втором – четвертом годах жизни травостоя в ходе вегетационного периода были зафиксированы все ключевые этапы развития изучаемых образцов. Начало весеннего отрастания наблюдалось в период с 20 по 25 марта. В фазу «выметывание», которое начиналось 21-23 мая, проводился учет урожайности зеленой массы. Сбор семян проводился в фазу «полное созревание семян» 5-10 июня.

Урожайность зеленой массы на втором году жизни травостоя у изученных дикорастущих образцов варьировала от 0,55 кг/м² у образца К-10462 из Восточно-Казахстанской области до 3,30 кг/м² у К-29037 из Краснодарского края, который превысил уровень стандарта (3,14 кг/м²) на 0,16 кг/м². На третьем году жизни травостоя урожайность зеленой массы дикорастущих образцов была низкой и варьировала от 0,11 до 1,79 кг/м², при урожайности стандартного сорта 1,02 кг/м². На четвертом году жизни травостоя урожайность зеленой массы также была очень низкой и варьировала от 0,15 до 1,80 кг/м². Урожайность стандартного сорта (на уровне 1,15 кг/м²) достоверно превысили дикорастущие образцы из Ставропольского края и КЧР. Урожайность зеленой массы в среднем за три года пользования травостоем составила у дикорастущих образцов от 0,55 кг/м² у К-10462 из Восточно-Казахстанской области до 2,00 кг/м² у К-29037 из Краснодарского и 2,02 кг/м² у местного образца из Ставропольского края, превысив уровень стандартного сорта на 13,0 и 14,1 % соответственно (рисунок 2).

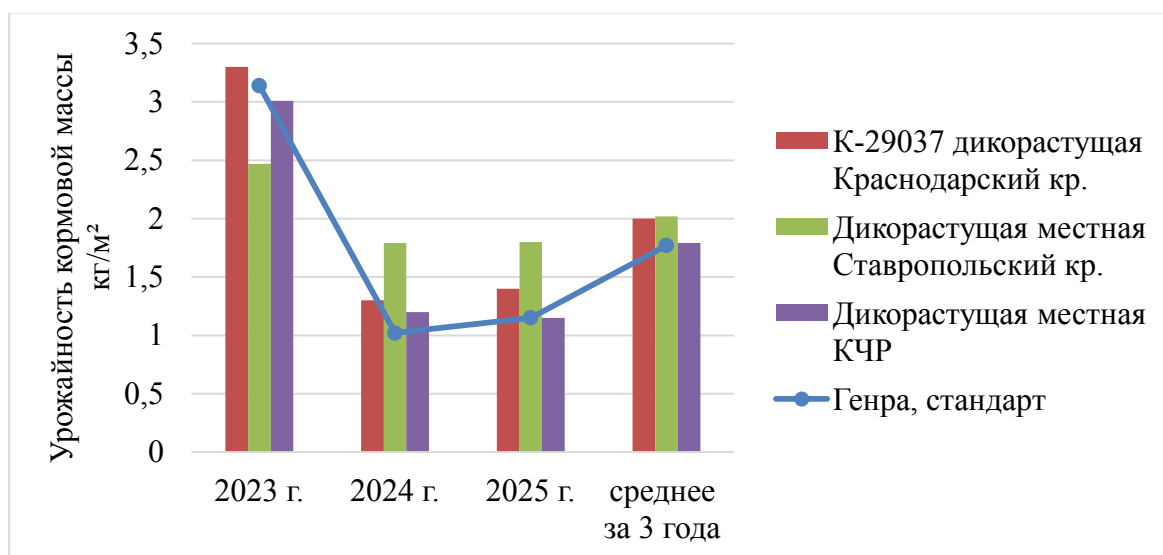


Рисунок 2 – Урожайность зеленой массы (кг/м²) выделившихся образцов ежи сборной в коллекционном питомнике (посев 2022 г.)

Figure 2 – Green mass yield (kg/m²) of selected specimens of cocksfoot in a collection nursery (sowing 2022)

Анализ процентного выхода воздушно-сухого вещества показал, что этот показатель варьировал за годы исследований у изученных коллекционных образцов от 21 до 43 % в зависимости от возраста травостоя и уровня его облиственности. В среднем за три года пользования травостоем урожайность воздушно-сухого вещества у изученных дикорастущих образцов варьировала от 0,13 до 0,84 кг/м², при варьировании показателей стандарта от 0,99 на первом и до 0,33 кг/м² на втором году пользования травостоем. В качестве генетических источников выхода и урожайности воздушно-сухой массы выделены только два дикорастущих образца: из мировой коллекции ВИР К-29037 из Краснодарского края и местный дикорастущий образец из Ставропольского края, урожайность которых в среднем за 2023-2025 гг. пользования травостоем составила 0,60-0,62 кг/м² с превышением стандартного сорта на 7,1-10,7 % (рисунок 3).

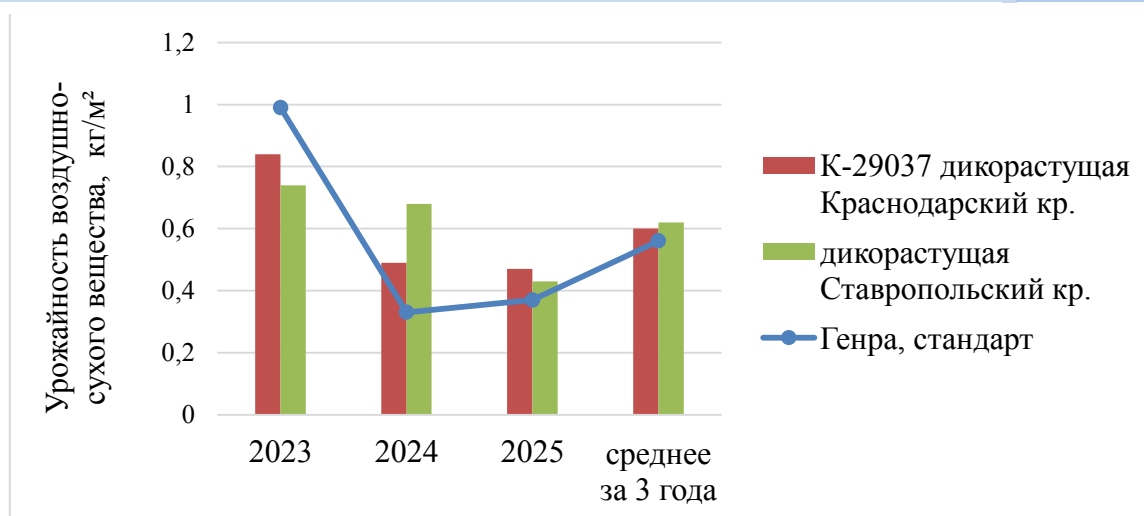


Рисунок 3 – Урожайность воздушно-сухой массы (кг/м²) выделившихся образцов ежи сборной в коллекционном питомнике (посев 2022 г.)

Figure 3 – Air-dry mass yield (kg/m²) of selected specimens of cocksfoot in a collection nursery (sowing 2022)

Изученные дикорастущие образцы проявили высокую вариабельность по семенной продуктивности. В первый год пользования травостоем выделился дикорастущий образец из Ставропольского края, урожайность которого составила 0,114 кг/м². Средний уровень стандартного сорта (0,066 кг/м²) ещё достоверно превысили 11 дикорастущих образцов. На втором году пользования травостоем наблюдалось резкое снижение семенной продуктивности у дикорастущих образцов К-10879 и К-10997 из Казахстана, К-21182 из Ирландии, К-22499 из Дании. В то же время интенсивным отрастанием, большим количеством образовавшихся генеративных побегов в условиях крайне засушливого 2024 года характеризовались дикорастущие образцы К-11859 из Казахстана, К-21282 из Ирландии, К-22498 из Дании, К-29314 из Хакасии, К-22878 из Норвегии и К-29059 из Канады, урожайность семян которых доходила до 0,078-0,092 кг/м². При урожайности стандарта 0,033 кг/м². На третьем году пользования травостоем урожайность семян изученных дикорастущих образцов варьировала от 0,010 кг/м² у К-10879 из Казахстана до 0,063 кг/м² у К-29059 из Канады, при средней урожайности стандартного сорта Генра 0,038 кг/м². У семи дикорастущих образцов образование генеративных побегов отсутствовало, в том числе у выделившегося высокой семенной продуктивностью в первый год пользования местного дикорастущего образца из Ставропольского края. Стабильность по продуктивности семян по годам пользования травостоем отмечена у стандартного сорта Генра, дикорастущих образцов К-29059 из Канады и К-39697 из Томской области.

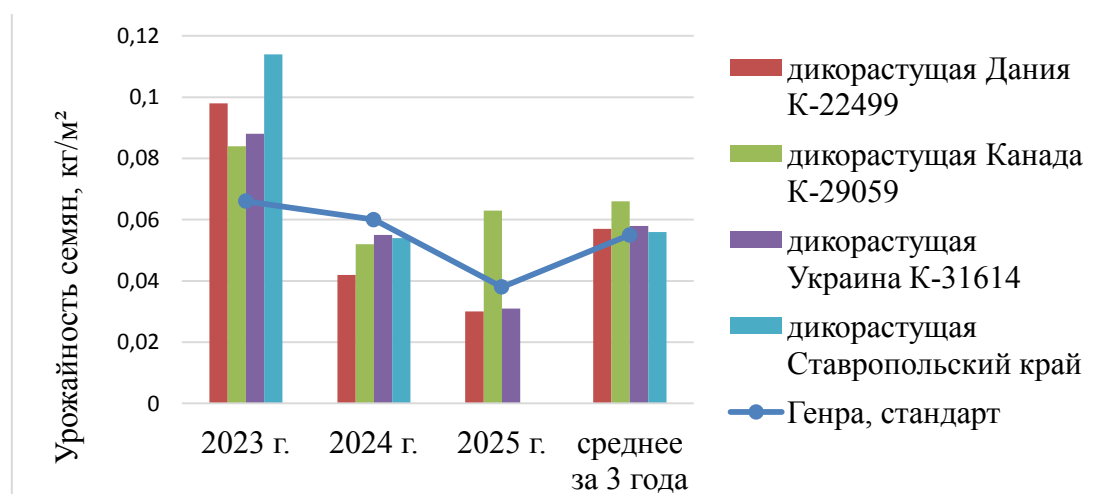


Рисунок 4 – Урожайность семян (кг/м²) выделившихся образцов ежи сборной в коллекционном питомнике (посев 2022 г.)

Figure 4 – Seed yield (kg/m²) of selected specimens of cocksfoot in a collection nursery (sowing in 2022)

В среднем за 2023-2025 годы урожайность семян дикорастущих образцов варьировала от 0,019 кг/м² у дикорастущего образца из Алтая до 0,066 кг/м² у К-29059 из Канады. Для использования в селекции выделено в коллекции 4 генисточника семенной продуктивности (рисунок 4).

Выводы. Результаты селекционной работы с ежой сборной в ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» в предыдущие годы, анализ и изучение дикорастущего материала из мировой коллекции ВИР и образцов местного происхождения позволяют сделать заключение об эффективности привлечения дикорастущих форм различного эколого-географического происхождения при создании исходного материала и сортов.

Расширение генофонда культуры, его мобилизацию для изучения и использования в селекционной работе могут обеспечить экспедиционные сборы дикорастущего материала. Нами получены новые сведения о генофонде вида в Южном и Северо-Кавказском федеральных округах. Коллекционный фонд ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» пополнен 245 новыми дикорастущими образцами, обладающими адаптивностью к местным условиям.

Результаты оценки дикорастущих образцов ежи сборной российского и зарубежного происхождения показали большое их разнообразие по ряду хозяйственно ценных признаков и позволили выявить перспективные для использования в селекции.

В качестве генетических источников урожайности кормовой массы выделены дикорастущие образцы К-29037 из Краснодарского и местный из Ставропольского края с урожайностью в среднем за три года пользования травостоем 2,00-2,02 кг/м², с превышением уровня стандартного сорта на 13,0-14,1 %. Для использования в дальнейшей селекционной работе по продуктивности семян выделены дикорастущие образцы К-22499 из Дании, К-29059 из Канады, К-31614 из Украины и местная популяция из Ставропольского края с превышением уровня стандарта в среднем за три года пользования травостоем от 4 до 20 %.

Conclusions. The results of the Cockatoo breeding program at the North Caucasus Federal Scientific Center in previous years, as well as the analysis and study of wild material from the VIR global collection and locally-originating specimens, suggest the effectiveness of using wild forms of varying ecological and geographical origins in the development of source material and cultivars.

Expeditionary collections of wild material can help expand the crop's gene pool and mobilize it for study and use in breeding. We have obtained new information about the species' gene pool in the Southern and North Caucasus Federal Districts. The collection fund of the North Caucasus Federal Scientific Center has been expanded with 245 new wild specimens adaptable to local conditions.

The evaluation of wild Cockatoo specimens of Russian and foreign origin demonstrated their great diversity in a number of economically valuable traits and properties, allowing us to identify genetic sources for use in breeding. Wild accessions K-29037 from Krasnodar region and a local population from Stavropol region were selected as genetic sources of forage mass productivity. They showed an average yield of 2.00-2.02 kg/m² over three years of grass stand use, exceeding the standard variety level by 13.0-14.1 %. Wild accessions K-22499 from Denmark, K-29059 from Canada, K-31614 from Ukraine, and a local population from Stavropol region were selected for use in further breeding work on seed productivity. They exceed the standard level by 4 to 20 % on average over three years of grass stand use.

Библиографический список

1. Косолапов В. М., Трофимов И. А., Трофимова Л. С. и др. Многофункциональное кормопроизводство России. Кормопроизводство. 2011. № 10. С. 3-5.
2. Тулинов А. Г., Косолапова Т. В. Оценка экологической пластичности сортообразцов ежи сборной в условиях Республики Коми. Аграрная наука. 2024. № 6. С. 106-111.
3. Stewart A. V., Ellison N. W. Wild crop relatives: Genomic and breeding resources: Millets and grasses. Dactylis. Germany: Springer, 2011. Pp. 73-87.
4. Sosnowski J., Jankowski K., Domański P., Herda D. Dry matter yield of different varieties of *Dactylis glomerata* and *Festuca pratensis*. Journal of Ecological Engineering. 2015. V. 16. I. 3. Pp. 211-216.
5. Elverland E., Dalmannsdottir S., Tombre I., Jorgensen M. Coexistence of geese and grassland – new grassland mixtures tolerating geese grazing. Grassland Science in Europe. 2022. V. 27. Pp. 367-369.
6. Лазарев Н. Н., Шитикова А. В., Куренкова Е. М., Кухаренкова О. В., Дикарева С. А., Тяжкороб А. Р. Ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.) – кормовая культура универсального использования в адаптивном лугопастбищном хозяйстве (обзор). Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2024. № 2. С. 93-109.
7. Wu J., Yan L., Peng J. et al. Modeling Climate Indicates Potential Shifts the Global Distribution of Orchard grass. *Ergonomics*. 2023. V. 1398. Pp.1-17.
8. Li S., Nie Z., Zhang D. Competition between cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) and companion species: Evidence for allelopathy. Field Crops Research. 2016. No 196. Pp. 52-462.
9. Косолапов В. М., Костенко С. И., Думачева Е. В., Чернявских В. И. многолетние травы для пастбищ, газонов и рекультивации: селекция и практика. Кормопроизводство. 2022. № 10. С. 14-17.
10. Костенко С. И., Кулешов Г. Ф., Клочкова В. С. и др. Ежа сборная. Основные виды и сорта кормовых культур. М.: Наука, 2015. С. 187-190.

11. Чумакова В. В. и др. Адаптивные сорта кормовых трав и их семеноводство в Северо-Кавказском регионе. Многофункциональное адаптивное кормопроизводство. 2022. № 29 (77). С. 58-63.
12. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том 1. Сорта растений (по состоянию на 31 мая 2024 г.). 620 с. <https://gossortrf.ru/registry/?ysclid=lumjifvxsp94143317>
13. Миронова Т. М., Чумакова В. В., Деревянникова М. В. Поиск и изучение новых генотипов ежи сборной для селекции на продуктивность в условиях Ставропольского края. Аграрный вестник Северного Кавказа. 2024. № 3 (55). С. 29-33.
14. Смекалова Т. Н., Озерская Т. М., Дзюбенко Н. И. Методические указания по проведению экспедиционных обследований ВИР. Санкт-Петербург: ВИР, 2019. 43 с.
15. Косолапов В. М., Костенко С. И., Пилипенко С. В., Ключкова В. С., Костенко Н. Ю., Малюженец Е. Е., Разгуляева Н. В., Кулешов Г. Ф., Пуца Н. М., Пампура Е. К., Фомин А. И. Методические указания по селекции многолетних злаковых трав. М.: РГАУ-МСХА, 2012. 185 с.
16. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.
17. Миронова Т. М., Чумаков В. Ф., Чумакова В. В. Перспективные образцы ежи сборной для использования в селекции на семенную продуктивность. Сельскохозяйственный журнал. 2025. № 3 (18). С. 56-63.
18. Чумакова В. В., Миронова Т. М., Чумаков В. Ф., Деревянникова М. В. Ресурсный потенциал дикорастущих популяций ежи сборной (*Dactylis glomerata* L.) в Южном и Северо-Кавказском федеральных округах России: результаты экспедиционных обследований. Аграрный вестник Северного Кавказа. 2025. № 15 (3). С. 88-97.

References

1. Kosolapov V. M., Trofimov I. A., Trofimova L. S., et al. Multifunctional forage production in Russia. Forage production. 2011. No 10. Pp. 3-5.
2. Tulinov A. G., Kosolapova T. V. Evaluation of the ecological plasticity of cocksfoot varieties in the Komi Republic. Agrarian science. 2024. No 6. Pp. 106-111.
3. Stewart A. V., Ellison N. W. Wild crop relatives: Genomic and breeding resources: Millets and grasses. Dactylis. Germany: Springer, 2011. Pp. 73-87.
4. Sosnowski J., Jankowski K., Domański P., Herda D. Dry matter yield of different varieties of *Dactylis glomerata* and *Festuca pratensis*. Journal of Ecological Engineering. 2015. V. 16. I. 3. Pp. 211-216.
5. Elverland E., Dalmannsdottir S., Tombre I., Jorgensen M. Coexistence of geese and grassland – new grassland mixtures tolerating geese grazing. Grassland Science in Europe. 2022. V. 27. Pp. 367-369.
6. Lazarev N. N., Shitikova A. V., Kurenkova E. M., Kukharenkova O. V., Dikareva S. A., Tyazhkorob A. R. Cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) – a universal forage crop in adaptive grassland management (review). Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy. 2024. No 2. Pp. 93-109.
7. Wu J., Yan L., Peng J. et al. Modeling Climate Indicates Potential Shifts the Global Distribution of Orchard grass. Fgronomy. 2023. V. 1398. Pp. 1-17.
8. Li S., Nie Z., Zhang D. Competition between cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) and companion species: Evidence for allelopathy. Field Crops Research. 2016. No 196. Pp. 52-462.
9. Kosolapov V. M., Kostenko S. I., Dumacheva E. V., Chernyavskikh V. I. Perennial grasses for pastures, lawns, and reclamation: selection and practice. Forage Production. 2022. No 10. Pp. 14-17.
10. Kostenko S. I., Kuleshov G. F., Klochkova V. S. et al. Cocksfoot. Main types and varieties of forage crops. Moscow: Nauka, 2015. Pp. 187-190.
11. Chumakova V. V., et al. Adaptive varieties of forage grasses and their seed production in the North Caucasus region. Multifunctional and adaptive forage production. 2022. No 29 (77). Pp. 58-63.
12. State Register of Breeding Achievements Approved for Use. Volume 1. Plant Varieties (as of May 31, 2024). 620 p. <https://gossortrf.ru/registry/?ysclid=lumjifvxsp94143317>
13. Mironova T. M., Chumakova V. V., Derevyannikova M. V. Search and study of new genotypes of cocksfoot for breeding for productivity in the conditions of Stavropol region. Agrarian Bulletin of the North Caucasus. 2024. No 3 (55). Pp. 29-33.
14. Smekalova T. N., Ozerskaya T. M., Dzyubenko N. I. Methodological guidelines for conducting expeditionary surveys of VIR. St. Petersburg: VIR, 2019. 43 p.
15. Kosolapov V. M., Kostenko S. I., Pilipenko S. V., Klochkova V. S., Kostenko N. Yu., Malyuzhenets E. E., Razgulyaeva N. V., Kuleshov G. F., Putsa N. M., Pampura E. K., Fomin A. I. Methodological guidelines for the breeding of perennial cereal grasses. Moscow: Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy, 2012. 185 p.
16. Dospekhov B.A. Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results). M.: Alliance, 2014. 351 p.
17. Mironova T. M., Chumakov V. F., Chumakova V. V. Promising specimens of the cocksfoot fern for use in breeding for seed productivity. Agricultural Journal. 2025. No 3 (18). Pp. 56-63.
18. Chumakova V. V., Mironova T. M., Chumakov V. F., Derevyannikova M. V. Resource potential of wild populations of the cocksfoot fern (*Dactylis glomerata* L.) in the Southern and North Caucasian Federal Districts of Russia: results of expeditionary surveys. Agrarian Bulletin of the North Caucasus. 2025. No 15 (3). Pp. 88-97.

Информация об авторах

Миронова Татьяна Михайловна, научный сотрудник, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» (Российская Федерация, 356241, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 49), ORCID: 0000-0003-3699-1056, e-mail: TatianaMironov@yandex.ru

Егорова Галина Сергеевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующая кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, 26), e-mail: egorova.g.s.2022@gmail.com

Чумакова Вера Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующая отделом, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» (Российская Федерация, 356241, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 49), ORCID: 0000-0003-0913-6855; e-mail: sosna777@bk.ru

Чумаков Валерий Федорович, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» (Российская Федерация, 356241, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 49), ORCID: 0000-0002-9552-0548; e-mail: v.chumakov1956@bk.ru

Authors' Information

Mironova Tatyana Mikhailovna, Researcher, North Caucasus Federal Scientific Agrarian Center (Russian Federation, 356241, Stavropol region, Mikhailovsk, Nikonov str., 49), ORCID: 0000-0003-3699-1056; e-mail: TatyanaMironov@yandex.ru

Egorova Galina Sergeevna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskii Ave., 26), e-mail: egorova.g.s.2022@gmail.com

Chumakova Vera Vladimirovna, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Head of the Department, North Caucasus Federal Scientific Agrarian Center (Russian Federation, 356241, Stavropol region, Mikhailovsk, Nikonov str., 49), ORCID: 0000-0003-0913-6855; e-mail: sosna777@bk.ru

Chumakov Valery Fedorovich, Senior Researcher, North Caucasus Federal Scientific Agrarian Center (Russian Federation, 356241, Stavropol region, Mikhailovsk, Nikonov str., 49), ORCID: 0000-0002-9552-0548; e-mail: v.chumakov1956@bk.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-30

THE PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF SOYBEAN PLANTS DEPENDING ON THE COMPONENTS OF THE WATER BALANCE, SEED INOCULATION AND FOLIAR TREATMENTS OF CROPS IN THE CONDITIONS OF LIGHT CHESTNUT SOILS OF THE LOWER VOLGA REGION

¹Agapova S. A., ²Moskvichev A. Yu

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

²Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: sveta-sxi@rambler.ru

Received 31.07.2025

Submitted 22.09.2025

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

The present study analyzes the influence of various agrotechnical techniques on the photosynthetic activity of soybeans. The influence of irrigation, pre-sowing seed treatment with inoculants and the use of various preparations for foliar fertilization on the photosynthetic activity of soybean plants is studied. The results of the experiments indicate significant effectiveness of the integrated application of these methods to improve photosynthetic activity and, as a result, increase soybean yields.

Abstract

Introduction. In this work, the photosynthetic activity of soybean plants is studied under conditions of two irrigation regimes, pre-sowing inoculation of seeds and the use of various preparations during foliar treatments. **Materials and methods.** Experimental studies were conducted on light chestnut soils of the Volgograd region using a medium-ripened soybean variety Volgogradka 2, bred by local breeding at the All-Russian Scientific Research University of Irrigated Agriculture (VNIIOZ) and the Volgograd State Agrarian University. The laying of field experiments and the relevant observations were carried out in accordance with generally accepted methods at the experimental site of the VNIIOZ (Experimental station "Irrigated" Volgograd region, Vodny settlement) for two years (2022-2023). **Results and conclusion.** The analysis of photosynthetic activity showed significant pre-sowing inoculation of seeds under the two studied irrigation regimes. The best results were achieved with a constant irrigation regime that ensures soil moisture content of at least 80 % of the lowest moisture capacity. Under this regime, the photosynthetic potential of plants during seed inoculation ranged from 1954 to 2640 thousand m²/ha, and the net photosynthetic productivity was 3.65-3.71 g/m²·day. In total, over two years of research, the best option for the accumulation of dry biomass from the studied preparations should be recognized for the use of a biological complex during the growing season, reaching 9.78 t/ha under the designated irrigation regime. The results obtained demonstrate the high efficiency of an integrated approach to agrotechnology aimed at optimizing photosynthetic activity and increasing the productivity of soybean plants. The maximum yield of 3.91 t/ha was recorded in plots with a constant irrigation regime (80 % HC), pre-sowing seed accumulation and foliar application of a biological complex. This combination of the studied factors provided the best structural indicators of the formed level. The purpose of this study was to study the photosynthetic activity of a local soybean variety Volgogradka 2 during seed inoculation and foliar treatments under conditions of varying moisture availability.

Keywords: soybean cultivation technologies, soybean irrigation, soybean yield, soybean seed inoculation, soybean seed quality, soybean foliar treatments.

Citation. Agapova S. A., Moskvichev A. Yu. The photosynthetic activity of soybean plants depending on the components of the water balance, seed inoculation and foliar treatments of crops in the conditions of light chestnut soils of the Lower Volga region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 269-276 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-30.

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 633.34:631.445.51

**ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ РАСТЕНИЙ СОИ В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВОДНОГО БАЛАНСА, ИНОКУЛЯЦИИ СЕМЯН И ФОЛИАРНЫХ
ОБРАБОТОК ПОСЕВОВ В УСЛОВИЯХ СВЕТО-КАШТАНОВЫХ ПОЧВ
НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ**

¹Агапова С. А., младший научный сотрудник

²Москвичев А. Ю., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия –
филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации 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 данной работе исследуется фотосинтетическая активность растений сои в условиях двух режимов орошения, предпосевной инокуляции семян и применения различных препаратов при внекорневых обработках. **Материалы и методы.** Экспериментальные исследования проводились на светло-каштановых почвах Волгоградской области с использованием среднеспелого сорта сои Волгоградка 2, выведенной местной селекцией Всероссийского научно-исследовательского университета орошаемого земледелия (ВНИИОЗ) и Волгоградского ГАУ. Закладка полевых опытов и проведение соответствующих наблюдений осуществлялась в соответствии с общепринятыми методиками на опытном участке ВНИИОЗ (Опытная станция «Орошаемая» Волгоградская область, п. Водный) в течение двух лет (2022-2023 гг.). **Результаты и выводы.** Анализ фотосинтетической активности показал определенное превосходство предпосевной инокуляции семян при двух исследуемых режимах орошения. Наилучшие результаты были достигнуты при постоянном режиме орошения, обеспечивающим влажность почвы не менее 80 % от наименьшей влагоемкости (НВ). При этом режиме фотосинтетический потенциал растений при проведении инокуляции семян варьировался от 1954 до 2640 тыс. м²/га, а чистая продуктивность фотосинтеза составляла 3,65-3,71 г/м²* в сутки. В целом, за два года исследований, лучшим вариантом по накоплению сухой биомассы из исследуемых препаратов следует признать использование биоконкомплекса в период вегетации, достигнув 9,78 т/га на обозначенном режиме орошения. Полученные результаты демонстрируют высокую эффективность комплексного подхода к агротехнологии, направленной на оптимизацию фотосинтетической активности и увеличение продуктивности растений сои. Максимальный урожай в 3,91 т/га был зафиксирован на делянках с постоянным режимом орошения (80 % НВ), предпосевной инокуляцией семян и внекорневым внесением биоконкомплекса. Это сочетание изучаемых факторов обеспечивало наилучшие структурные показатели, сформировавшегося урожая. **Целью** данного исследования было изучение фотосинтетической активности местного сорта сои Волгоградка 2 при проведении инокуляции семян и фолиарных обработках в условиях различной влагообеспеченности.

Ключевые слова: технологии возделывания сои, орошение сои, урожайность сои, инокуляция семян сои, качество семян сои, фолиарные обработки посевов сои.

Цитирование. Агапова С. А., Москвичев А. Ю. Фотосинтетическая деятельность растений сои в зависимости от составляющих водного баланса, инокуляции семян и фолиарных обработок посевов в условиях светло-каштановых почв Нижнего Поволжья. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 269-276. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-30.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Соя, благодаря своему уникальному химическому составу, обладает высокой питательной ценностью и широким спектром применения, что делает ее одной из наиболее универсальных и востребованных сельскохозяйственных культур [1]. Согласно данным службы государственной статистики в Волгоградской области наблюдается устойчивая тенденция к увеличению посевных площадей под сою: с 22,5 тыс. га в 2022 году, до 23,8 тыс. га в 2023 году [2, 3, 4].

Фиксация атмосферного азота из воздуха и перевод его в минеральные соединения в почве, играющие ключевую роль в симбиотическом взаимоотношении растений с микроорганизмами, демонстрируют динамическое изменение в зависимости от фазы развития сои. Наибольший уровень азотфиксации наблюдается в период цветения, что коррелирует с максимальной фотосинтетической активностью растений [5].

В настоящее время одной из приоритетных задач агронауки является совершенствование технологии возделывания сои, в частности, посредством применения биопрепаратов. В сельскохозяйственном производстве активно внедряются регуляторы роста растений, которые способствуют повышению урожайности и качества продукции [6, 7].

Формирование урожая сои напрямую зависит от ассимиляционной листовой поверхности, которая является основным фактором фотосинтетической продуктивности. Быстрое накопление вегетативной массы свидетельствует о высоком потенциале фотосинтетической активности растений [8]. Для реализации этого потенциала необходимо создание оптимальных условий для роста и развития растений, что включает обеспечение адекватного водоснабжения [9], минерального питания и защиту от стрессовых факторов окружающей среды (Борисоник З. Б., 1985; Ничипорович А. А., 1961).

Фотосинтез является фундаментальным процессом, обеспечивающим синтез органических веществ, составляющих до 90-95 % биомассы растений [10]. Увеличение урожайности напрямую связано с повышением таких показателей, как площадь листьев и фотосинтетический потенциал посевов. Избыточная концентрация токсичных элементов, таких как натрий и хлор, может ингибировать фотосинтетическую активность, что приводит к снижению урожайности [11].

Листья, являясь основной составляющей ассимиляционной поверхности, играют ключевую роль в формировании органического вещества растений [12].

Оптимальное развитие площади листовой поверхности является важным фактором, определяющим уровень урожайности сои. Однако, избыточно высокие фотосинтетические потенциалы могут негативно сказываться на продуктивности фотосинтеза, что требует создания условий для эффективного использования солнечной энергии.

Целью настоящего исследования являлось изучение фотосинтетической активности местного сорта сои Волгоградка 2 при инокуляции семян и фолиарных обработках биопрепаратами в условиях различной влагообеспеченности.

Материалы и методы. В течение двух лет (2022-2023 гг.) на орошаемых землях Опытной станции «Орошаемая», расположенной в поселке Водном города Волгограда проводились комплексные полевые исследования. Объектом исследования служил сорт сои Волгоградка 2. Посев широкорядный – 70 см, норма высева 600 тыс. шт./га. Агротехника возделывания сои в опыте общепринятая. Повторность опыта трехкратная, размещение вариантов в опыте рендомизированное.

Опыты проводились по 3-х факторной схеме:

Фактор А предпосевная обработка семян:

1. Контроль (без обработки).

2. Обработка комплексной смесью биопрепаратов: Импровер, Геостим ФитГ и Гумэл

Супер.

Фактор В водный режим почвы:

1. Поддержание влажности почвы на уровне 70-80-70 % наименьшей влагоемкости (НВ) с глубиной увлажнения 0,4 и 0,6 м:

- 0,4 м (70 % НВ) в период от посева до конца ветвления;

- 0,6 м (80 % НВ) в период от начала цветения до конца налива зерна;

- 0,6 м (70 % НВ) от конца налива до полной спелости.

2. Поддержание влажности почвы не ниже 80 % НВ на протяжении всего вегетационного периода, где глубина увлажнения 0,4 м находилась в период от посева до конца ветвления, а от начала цветения до полной спелости зерна в слое 0,6 м.

Фактор С: фолиарная обработка растений:

1. Контроль (без обработки).

2. Фунгицидная обработка препаратом Колосаль про.

3. Применение природного минерала Билатор.

4. Обработка баковой смесью биопрепаратов (Геостим ФитЖ, БФТИМ, Импровер, Гумэл Люкс и Гумэл БорМолибден).

Препараты предоставлены компанией ООО «БиотехАгро». Обработку семян препаратами проводили в день посева с добавлением пленкообразователя Импровер, ВР.

Для оценки фотосинтетической активности сои анализировались следующие параметры: площадь листовой поверхности, фотосинтетический потенциал (ФП) и чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ). Статистическая обработка данных проводилась с использованием дисперсионного анализа по методике Б. А. Доспехова, а также с использованием компьютерных программ.

Почвенные условия характеризовались малой мощностью гумусового горизонта (0,00-0,26 м) и низким содержанием гумуса в пахотном слое (1,5-2,0 %). Содержание азота было низким (36-44 мг/кг по Тюрину), подвижного фосфора – средним (30-34 мг/кг), а обменного калия – высоким (250-300 мг/кг по Мачигину).

По агроклиматическим характеристикам вегетационный период можно классифицировать как засушливый, с гидротермическим коэффициентом (ГТК) 0,52 в 2022 году и 0,32 в 2023 году, что подчеркивает необходимость оптимизации водного режима и для повышения продуктивности культуры.

Результаты и обсуждение. Соя, являясь тепло- и влаголюбивой культурой, предъявляет высокие требования к водному режиму почвы. В условиях Волгоградской области, где наблюдаются недостаточные запасы влаги в почве и дефицит атмосферных осадков, обеспечение требуемого уровня влагообеспеченности становится критически важным фактором для успешного возделывания этой культуры. Поливные мероприятия не только компенсируют дефицит влаги, но и способствуют значительному повышению урожайности по сравнению с богарными условиями.

В силу того, что годы проведения исследований характеризовались различной степенью влагообеспеченности, для достижения заданного уровня увлажнения почвы в рамках различных вариантов опыта потребовалось варьировать количество поливов в течение вегетационного периода. Это, в свою очередь, оказало влияние на величину оросительной нормы, которая варьировалась в зависимости от условий влагообеспеченности и применяемой агротехники.

Суммарное водопотребление сои определялось на основе водного баланса, включающего оросительную норму, атмосферные осадки и почвенную влагу. Анализ структуры суммарного водопотребления показал, что в условиях орошения основными источниками водного обеспечения являются оросительная норма и атмосферные осадки. В таблице 1 представлены результаты расчета структуры суммарного водопотребления, которые демонстрируют доминирующую роль оросительной воды и осадков в обеспечении влагой растений сои.

Таблица 1 – Составляющие водного баланса исследуемой культуры при разных режимах орошения, 2022-2023 гг.

Table 1 – Components of the water balance of the studied crop under different irrigation regimes, 2022-2023

Предполивная влажность почвы, % НВ / Pre-irrigation soil moisture, % НВ	Годы исследований / Years of research	Оросительная норма / Irrigation rate		Приход осадков / Arrival of precipitation		Использование почвенной влаги / Use of soil moisture		Суммарное водопотребление, м³/га / Total water consumption, m³/ha
		м³/га / m³/ha	%	м³/га / m³/ha	%	м³/га / m³/ha	%	
70-80-70 % НВ, h 0,4 и 0,6 м	2022	3500	76,45	896,0	19,57	182,0	3,98	4578
	2023	3800	77,69	816,0	16,68	275,0	5,63	4891
	среднее	3650	77,07	856,0	18,12	228,5	4,81	4735
80 % НВ 0,4 и 0,6 м	2022	3800	78,97	896,0	18,62	116,0	2,41	4812
	2023	4050	82,08	816,0	16,54	68,0	1,38	4934
	среднее	3925	80,52	856,0	17,58	92,0	1,90	4873

В таблице 1 представлены данные водного баланса посевов сои, где оросительная норма составляет основную статью водопотребления, варьируя от 76 до 80,5 %. Дождевые осадки вносят вклад в размере 16-9 %, а неиспользованная почвенная влага – от 1,4 до 5,6 %. Анализ данных за два года показывает, что наибольшее суммарное водопотребление составило 4873 м³/га при постоянном режиме орошения на уровне 80 % наименьшей влагоемкости (НВ), в то время как при дифференцированном режиме (70-80-70 % НВ) этот показатель снизился до 4735 м³/га. Важно отметить, что коэффициент водопотребления был рассчитан для оптимального варианта наблюдений, включающего использование биологического комплекса на посевах сои.

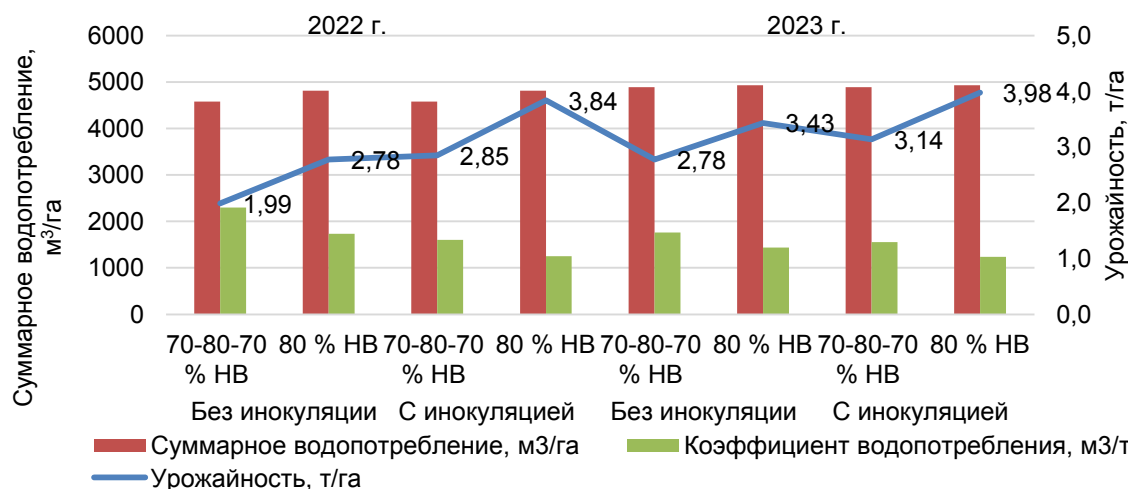


Рисунок 1 – Влияние водного режима и инокуляции семян на коэффициент водопотребления сои (м³/т), 2022-2023 гг.

Figure 1 – Effect of water regime and seed inoculation on soybean water consumption coefficient (m³/t), 2022-2023

Рисунок 1 демонстрирует динамику среднего коэффициента водопотребления на дифференцированном режиме орошения (70-80-70 % HB), который в 2022 году составил 1954 м³/т, а при постоянном режиме (80 % HB) – 1492 м³/т. В 2023 году соответствующие показатели были равны 1659 м³/т и 1339 м³/т соответственно.

Таблица 2 – Фотосинтетическая активность по изучаемым вариантам среднее за 2022-2023 гг.
Table 2 – Photosynthetic activity for the studied variants is the average for 2022-2023

Варианты опыта / Experience options	Максимальная площадь листьев, тыс. м²/га / Maximum leaf area, thousand m²/ha	Фотосинтетический потенциал, тыс. м²/га*дней / Photosynthetic potential, thousand m²/ha*days	Чистая продуктивность фотосинтеза, г/м² сутки / Net productivity of photosynthesis, g/m² day	Сухая биомасса, т/га / Dry biomass, t/ha
70-80-70 % HB				
Без инокуляции / Without inoculation				
Контроль / Control	22,2	1290	3,26	4,22
Фунгицид / Fungicide	24,2	1524	3,14	4,81
Природный минерал / Natural mineral	25,1	1613	3,23	5,23
Биокомплекс / Biological complex	27,9	1707	3,48	5,97
С инокуляцией / With inoculation				
Контроль / Control	25,4	1582	3,28	5,20
Фунгицид / Fungicide	27,0	1660	3,61	5,62
Природный минерал / Natural mineral	28,6	1888	3,49	6,60
Биокомплекс / Biological complex	30,7	2060	3,41	7,49
80 % HB				
Без инокуляции / Without inoculation				
Контроль / Control	29,0	1689	3,42	5,78
Фунгицид / Fungicide	28,2	1840	3,43	6,29
Природный минерал / Natural mineral	29,8	1863	3,67	6,84
Биокомплекс / Biological complex	32,28	2031	3,83	7,77
С инокуляцией / With inoculation				
Контроль / Control	31,6	1954	3,65	7,12
Фунгицид / Fungicide	32,0	2038	3,69	7,52
Природный минерал / Natural mineral	37,2	2620	3,30	8,53
Биокомплекс / Biological complex	40,1	2646	3,71	9,78

Фотосинтетическая активность является ключевым фактором жизнедеятельности растений сои.

Данные таблицы 2 показывают, что при дифференцированном режиме орошения сухая биомасса варьировала от 4,22 до 5,97 т/га без инокуляции семян, и от 5,20 до 7,49 т/га при предпосевной инокуляции. На втором водном режиме эти показатели составили 5,78-7,77 т/га и 7,12-9,78 т/га соответственно.

Наивысшие значения сухой биомассы (9,78 т/га) были достигнуты при использовании биоконплекса в период вегетации на постоянном режиме орошения (80 % НВ) с инокуляцией семян.

Таблица 3 – Структурные показатели урожая зерна сои, среднее за 2022-2023 гг.

Table 3 – Structural indicators of soybean grain harvest, average for 2022-2023

Варианты опыта / Experience options	Показатели / Indicators			
	масса зерен на одном растении, г / Weight of grains per plant, g	масса 1000 зерен, г / Weight 1000 grains, g	количество зерна на растении, шт. / Amount of grain on the plant, pcs.	высота прикрепления нижнего боба, м / Height of attachment of the lower bean, m
70-80-70 % НВ				
Без инокуляции / No inoculation				
Контроль / Control	4,21	103,5	40,1	0,13
Фунгицид / Fungicide	4,57	111,9	46,4	0,14
Природный минерал / Natural mineral	5,14	127,0	51,0	0,14
Биоконплекс / Biological complex	5,57	138,4	57,5	0,15
С инокуляцией / With inoculation				
Контроль / Control	5,67	116,3	42,8	0,13
Фунгицид / Fungicide	5,85	124,5	50,2	0,14
Природный минерал / Natural mineral	6,71	137,8	56,9	0,14
Биоконплекс / Biological complex	8,25	148,1	64,5	0,14
80 % НВ				
Без инокуляции / No inoculation				
Контроль / Control	6,51	121,4	46,2	0,14
Фунгицид / Fungicide	7,05	126,1	53,1	0,15
Природный минерал / Natural mineral	7,51	140,3	57,0	0,15
Биоконплекс / Biological complex	8,45	148,2	77,5	0,16
С инокуляцией / With inoculation				
Контроль / Control	8,12	138,7	50,8	0,14
Фунгицид / Fungicide	8,83	146,0	57,7	0,15
Природный минерал / Natural mineral	9,67	150,5	68,1	0,16
Биоконплекс / Biological complex	11,23	165,1	81,7	0,16

Анализ структуры урожая (таблица 3) показал максимальные значения на варианте с инокуляцией семян и поддержанием влажности почвы на уровне не ниже 80 % НВ, а также опрыскиванием посевов биоконплексом в период вегетации. Эти показатели включают массу зерна на растении (11,23 г), массу 1000 зерен (165,1 г), количество зерен на растении (81,7 шт.) и высоту прикрепления нижнего боба (0,16 м).

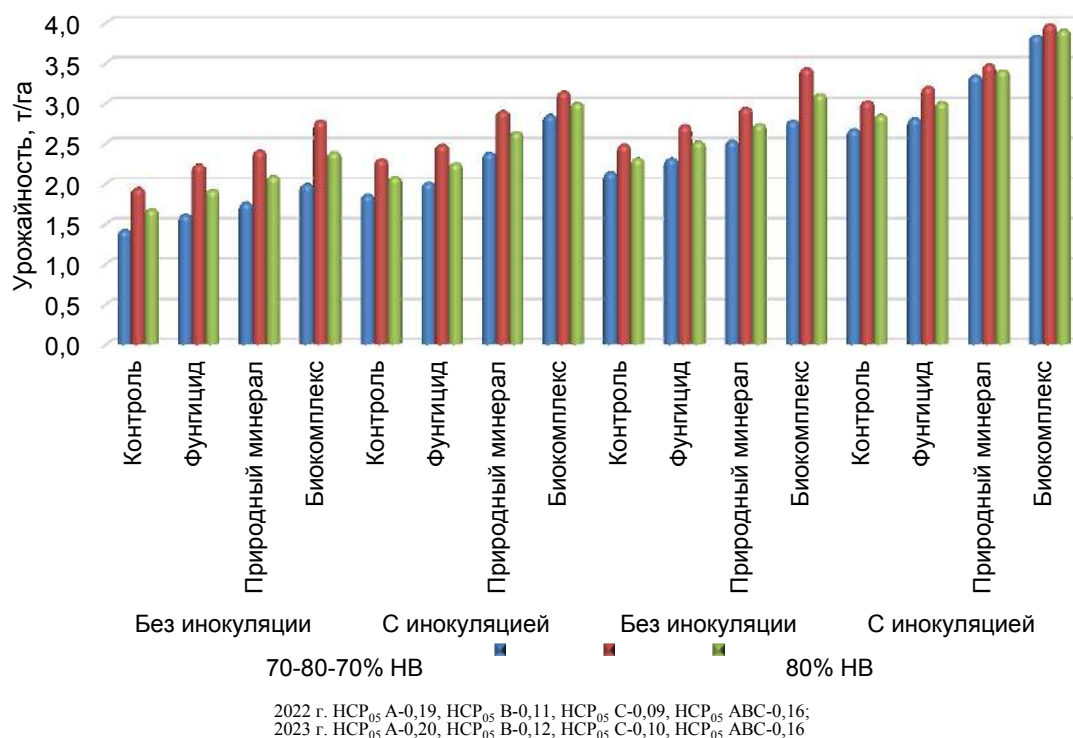


Рисунок 2 – Продуктивность зерна сои по изучаемым факторам, за 2022-2023 гг.

Figure 2 – Soybean grain productivity by studied factors, for 2022-2023

Рисунок 2 иллюстрирует продуктивность за два года, где 2023 год оказался более урожайным, чем 2022 год. Однако за исследуемый период были достигнуты наивысшие значения урожайности, составившие 3,91 т/га при оптимальном сочетании факторов: поддержание влажности почвы на уровне 80 % НВ, предпосевная инокуляция семян и фолитарное внесение комплекса биопрепаратов.

Закключение. Показатели фотосинтетической активности оказывают положительное влияние на исследуемые факторы, достигая своего максимального значения при использовании предпосевной инокуляции семян в сочетании с постоянным режимом орошения, обеспечивающим поддержание влажности почвы на уровне 80 % от наименьшей влагоемкости (НВ) в слое 0,4 и 0,6 метра, а также при применении биокomплекса препаратов на вегетирующих растениях. Следует отметить, что эти показатели находятся в полной корреляции с продуктивностью сои по всем изучаемым вариантам.

Conclusions. The indicators of photosynthetic activity have a positive effect on the studied factors, reaching their maximum value when using pre-sowing seed inoculation in combination with a constant irrigation regime that ensures soil moisture content at 80 % of the lowest moisture capacity in layers of 0.4 and 0.6 meters, as well as when using a biological complex of preparations on vegetating plants. It should be noted that these indicators are in full correlation with soybean productivity for all studied variants.

Библиографический список

1. Чамурлиев О. Г., Толоконников В. В., Чамурлиев О. Г. Соя при орошении в Нижнем Поволжье: монография. Волгоград, 2018. 156 с.
2. Кошкарёва Т. С. и др. Влияние различных сортов и режимов орошения на биоэнергетическую эффективность производства сои. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 3 (55). С. 192-198.
3. Москвичев А. Ю., Агапова С. А. Реакция растений сои на инокуляцию семян и режимы орошения светло-каштановых почв в условиях Нижнего Поволжья. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 5. С. 13-21.
4. Толоконников В. В., Вронская Л. В., Мухаметханова С. С., Канцер Г. П. Рост урожайности сортов сои и эффективности применения удобрения в условиях орошения. Орошаемое земледелие. 2022. № 2. С. 24-27.
5. Бельшикина М. Е., Кобозева Т. П., Гуреева Е. В. Рост и развитие сортов сои северного экотипа в зависимости от влияния лимитирующих факторов вегетационного периода. Аграрный научный журнал. 2020. № 9. С. 4-9.
6. 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.

7. 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.
8. Kotlyarova E. G., et al. Formation of the Symbiotic Apparatus and Yield of Soy Varieties Depending on the Level of Fertilization. International Journal of Advanced Biotechnology and Research. 2017. V. 8. No. 4. Pp. 1156-1164.
9. Чамурлиев О. Г. и др. Эффективность возделывания сои на орошении в условиях Волгоградской области. Аграрный научный журнал. 2024. № 7. С. 61-64.
10. Шабалдас О. Г. и др. Фотосинтетическая активность посевов сои в зависимости от сорта в условиях Центрального Предкавказья. Земледелие. 2022. № 8. С. 31-34.
11. Есаулко А. Н., Письменная Е. В., Ожередова А. Ю. и др. Влияние макро- и микроудобрений на фотосинтетическую деятельность и продукционную способность озимой пшеницы на выщелоченном черноземе. Земледелие. 2022. № 7. С. 36-39.
12. Сабирова Т. П. и др. Фотосинтетический потенциал и продуктивность вико-овсяной смеси в зависимости от обработки почвы и удобрений в условиях Северо-Западного региона. Вестник АПК Верхневолжья. 2019. № 1 (45). С. 16-21.

References

1. Chamurliov O. G., Tolokonnikov V. V., Chamurliov O. G. Soybeans in irrigation in the Lower Volga region: monograph. Volgograd, 2018. 156 p.
2. Koshkareva T. S., et al. Influence of Different Varieties and Irrigation Regimes on the Bioenergetic Efficiency of Soybean Production. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2019. № 3 (55). Pp. 192-198.
3. Moskvichev A. Yu., Agapova S. A. Reaction of Soybean Plants to Seed Inoculation and Irrigation Regimes of Light Chestnut Soils in the Lower Volga Region. Siberian Bulletin of Agricultural Science. 2023. V. 53. № 5. Pp. 13-21.
4. Tolokonnikov V. V., Vronskaya L. V., Mukhametkhanova S. S., Kantser G. P. Increase in the yield of soybean varieties and the efficiency of fertilizer application under irrigation conditions. Irrigated agriculture. 2022. № 2. Pp. 24-27.
5. Belyshkina M. E., Kobozeva T. P., Gureeva E. V. Growth and Development of Northern Ecotype Soybean Varieties Depending on the Influence of Limiting Factors of the Growing Season. Agrarian Scientific Journal. 2020. № 9. Pp. 4-9.
6. Agapova S. A., Moskvichev A. Y. Effect of pre-sowing inoculation of seeds and foliar application of preparations on the productivity and quality of soybean grain under conditions of sprinkling irrigation in the Lower Volga region. Land reclamation and hydraulic engineering. 2024. V. 14. № 3. Pp. 181-191.
7. Tolokonnikov V. V., Mukhametkhanova S. S., Kantser G. P. Methods of increasing the seed productivity of soybean varieties during irrigation in the Lower Volga region. Irrigated agriculture. 2023. № 3 (42). Pp. 15-18.
8. Kotlyarova E. G., et al. Formation of the Symbiotic Apparatus and Yield of Soy Varieties Depending on the Level of Fertilization. International Journal of Advanced Biotechnology and Research. 2017. V. 8. No. 4. Pp. 1156-1164.
9. Chamurliov O. G., et al. Efficiency of soybean cultivation on irrigation in the conditions of the Volgograd region. Agrarian Scientific Journal. 2024. № 7. Pp. 61-64.
10. Shabaladas O. G. et al. Photosynthetic activity of soybean crops depending on the variety in the conditions of the Central Ciscaucasia. Agriculture. 2022. № 8. Pp. 31-34.
11. Esaulko A. N., Pismennaya E. V., Ozheredova A. Y., et al. Influence of macro- and microfertilizers on photosynthetic activity and production ability of winter wheat on leached chernozem. Agriculture. 2022. № 7. Pp. 36-39.
12. Sabirova T. P., et al. Photosynthetic potential and productivity of vetch-oat mixture depending on tillage and fertilizers in the North-West region. Bulletin of the Agro-Industrial Complex of the Upper Volga. 2019. № 1 (45). Pp. 16-21.

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 St., 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

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-31

THE INFLUENCE OF THE PROTECTIVE STRIPS ON THE PRODUCTIVE POTENTIAL OF SPRING BARLEY IN THE AGROFORESTRY LANDSCAPE

Guzenko A. Yu., Koshelev A. V., Egorov A. V., Sytin G. O.

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

Corresponding author E-mail: alexkosh@mail.ru

Received 01.08.2025

Submitted 30.10.2025

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 research materials on the influence and use of protective curtains along forest belts on the productivity of moisture reserves and the yield of spring barley in the Volgograd region of the Russian Federation.

Abstract

Introduction. The article presents research materials on the influence and use of protective wings and field-protective wings along forest belts on the productivity of moisture reserves and the yield of spring barley in the Volgograd region of the Russian Federation. The study was conducted from 2020 to 2022. It has been established that the scenes of various types affect the distribution of productive moisture, depending on the culture used in a certain agroforest landscape. **Materials and methods.** To find out the factors affecting moisture reserves and crop formation, they were processed over the entire period of the experiment using the Dospekhov B. A. technique and in the MS Excel program to obtain functional dependencies. **Results and conclusions.** This study showed that the sowing of sunflower wings in 2020 showed significant indicators for the retention of productive moisture, increasing the growth potential for different phases of development. The most accurate correlation of the correlative relationships of the yield structure of spring barley Ratnik with the sowing of protective sunflower wings Vniimk-8883 variety with a seeding rate of 4.5 kg ha⁻¹ to preserve productive moisture in the dispersed zone in acutely arid climatic conditions. The reliability in terms of the significance of the Fisher criterion was on average 0.02 for almost all indicators. This study proves the importance of sowing protective wings along forest belts to improve the agroecosystems of the Russian Federation.

Keywords: barley cultivation, spring barley, forest belts, protective strips, formation of barley yields.

Citation. Guzenko A. Yu., Koshelev A. V., Egorov A. V., Sytin G. O. The influence of the protective strips on the productive potential of spring barley in the agroforestry landscape. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 276-284 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-31.

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

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

УДК 630*116:633.162:631.559

ВЛИЯНИЕ ЗАЩИТНЫХ КУЛИС НА ПРОДУКТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ АГРОЛЕСОЛАНДШАФТА

Гузенко А. Ю., младший научный сотрудник

Кошелев А. В., ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук

Егоров А. В., младший научный сотрудник

Сытин Г. О., младший научный сотрудник

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

Исследования проведены в рамках выполнения проекта 125021302094-5 «Формирование и функционирование адаптивных агролесомелиоративных комплексов юга России в условиях климатических изменений с использованием цифровых технологий».

Актуальность. В статье представлены материалы исследований о влиянии и использовании защитных кулис и ползащитных лесополос на продуктивность влагозапасов и урожайность ярового ячменя в условиях Волгоградской области Российской Федерации. Исследования проводились с 2020 по 2022 год. Установлено, что кулисы различного типа влияют на распределение продуктивной влаги в зависимости от культуры, используемой в определенном агролесоландшафте. **Материалы и методы.** Для выявления факторов, влияющих на запасы влаги и формирование урожая, данные за весь период эксперимента были обработаны с использованием методики Доспехова Б. А. и в программе MS Excel для получения функциональных зависимостей. **Результаты и выводы.** Данное исследование показало, что посев кулис из подсолнечника в 2020 году продемонстрировал значительные результаты в отношении сохранения продуктивной влаги и увеличения потенциала роста на разных фазах развития. Наиболее точная корреляционная взаимосвязь структуры урожайности ярового ячменя сорта «Ратник» была достигнута при посеве защитных кулис из подсолнечника сорта «Вниимк-8883» с нормой посева 4,5 кг/га для сохранения продуктивной влаги в диссепированном слое в условиях острозасушливого климата. Достоверность по критерию значимости Фишера составила в среднем 0,02 для почти всех показателей. Данное исследование доказывает важность посева защитных кулис вдоль лесополос для улучшения состояния агроценозов Российской Федерации.

Ключевые слова: возделывание ячменя, яровой ячмень, лесные полосы, защитные кулисы, формирование урожая ячменя.

Цитирование. Гузенко А. Ю., Кошелев А. В., Егоров А. В., Сытин Г. О. Влияние защитных кулис на продуктивный потенциал ярового ячменя в условиях агролесоландшафта. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 276-284. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-31.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Introduction. Farming in the Volgograd region is associated with certain risks, primarily due to the arid climate and uneven precipitation [13]. However, the high sum of positive and effective temperatures, solar insolation, a rich spectrum of soil-absorbing complexes, and an alkaline environment create favorable conditions for the ripening of agricultural crops and the achievement of optimal quality indicators [3].

Intensive farming techniques have led to soil degradation, namely a decrease in humus content, soil compaction, secondary salinization, agro-depletion, and in some areas, waterlogging. The imbalance in the agroecosystem leads to a decline in product quality and yield. It has been established that as a result of intensive technologies, the humus content in the soil falls by 20-30 % from its average values, and in recent decades its share has decreased by 0.8-1.2 % [7]. These circumstances have led to an objective need for a new scientific approach and new-generation scientific developments in agriculture (Levina, 2018) [4, 5].

In modern agriculture, high yields and quality of grain crops depend on the amount and uniformity of precipitation, especially in the arid conditions of southern Russia. Over the past decades, agricultural producers in the Lower Volga region have suffered significant annual grain losses due to dry seasons (Balashov et al., 2017). The increasing deterioration of climatic conditions is prompting a review of established approaches to agriculture in order to develop adaptive technologies for crop cultivation and sustainable yields (Kiryushin, 2010) [9, 11, 12, 15].

Over the past 10 years, the average annual yield of spring barley in Russia has been around 2.3 t/ha, while in southern Russia it is 1.6 t/ha. In the Volgograd region, due to constant climatic fluctuations, the yield of spring barley varies from 0.6 to 1.5 t/ha. Repeated droughts, strong dry winds, hail and short-term high precipitation make spring barley a weakly resistant production crop for this region [2, 8].

In the studies of Sida T. S. and coauthors the *Faidherbia albida* park areas cover a large area of the Sudano-Sahelian Zone of Africa, a region that suffers from declining soil fertility, food insecurity and climate change. Park areas provide many benefits, including fuelwood, replenishment of soil nutrients, moisture retention and increased yields under the canopy. Its modification of the microclimate can provide an accessible strategy for adaptation to climate change [14].

Annually recurring hot and dry weather conditions on the example of the Volgograd region of the Russian Federation, contributed to the development of various measures for rational snow retention on the field. The use of special high-stemmed crops with wide rows for a couple – wings (wings pairs) (Ivanov et al., 2013; Zelenev et al., 2017).

Plant wings as a means of snow retention have been known for a long time [1, 10]. However, they were not widely used in production, due to the accumulation of weed vegetation, which was not destroyed in the rows of wings. Currently, in connection with the development of methods of soil-protective agriculture and the possibility of using herbicides, it is possible to obtain relatively clean wings [7].

Based on the relevance of the problem, we set the goal of the study – to identify the general patterns of the influence of planting of various field crops, as protective wings along forest belts, on the yield of spring barley in the acutely arid zone of the Lower Volga region.

For the first time in the Volgograd region, measures are being taken to improve yields in the zone of protective forest belts with the use of protective curtain crops without additional fertilizing and the introduction of biological preparations during the growing season of spring barley.

Materials and methods. The research was conducted on a test site – an experimental field belonging to the Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences in the Gorodishchensky District of the Volgograd Region, in an area influenced by forest belts (cadastral number of the land plot: 34:03:000000:6). The test site is a slightly undulating plain with light brown soil (figure 1).

The soil on the test site has a medium loamy granulometric composition, with a humus content of 1.4 %, nitrate nitrogen (N-NO_3) content is 4 mg/kg of soil, mobile phosphorus (P_2O_5) content is 23 mg/kg of soil, exchangeable potassium (K_2O) content is 39.8 mg/kg of soil, and pH is 6.9 (fig. 2). In 2020, the field was left fallow before sowing barley, and in 2021, winter wheat was the predecessor crop. The climate is sharply continental, $\text{HTC} = 0.5-0.6$. The sum of the average daily positive air temperatures is 3400-3500°C. The average annual precipitation is 270-330 mm.



Figure 1 – Sowing of spring barley with wings at the experimental site in 2021

The forest strip is 5 meters high, 4-row. Its composition is dominated by common elm (*Ulmus laevis*), and there is also a golden currant (*Ribes aureum*) (Seminchenko, 2020).

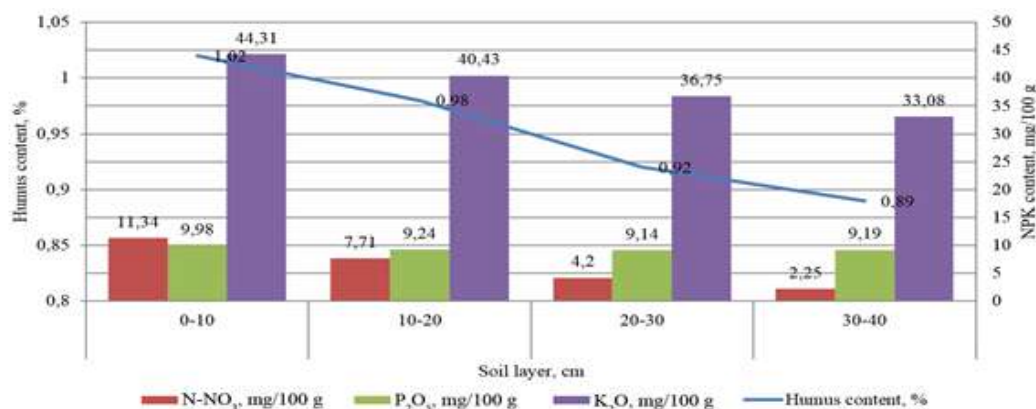


Figure 2 – Agrochemical indicators of chestnut soils of the experimental site

Experience options:

Opt1 (2020) – the first year of experience, in 2019, at the beginning of May, along the protective forest belt, a 6.4 m wide sunflower seed of the Vniimk 8883 variety was sown with a seeding rate of 4.5 kg ha⁻¹ to preserve productive moisture for comparison of the studies obtained and the disclosure of the potential of the Ratnik variety;

Opt2 (2021) – the second year of experience, in 2020, in the first decade of September, the sowing of winter wheat Kamyshanka 4 with a seeding rate of 3.5 million pieces m⁻², 6.4 m wide along the protective forest belt, was used to compare the obtained studies of the yield structure of the spring barley Ratnik variety;

Opt3c (2022) – the third year of experience, a control year without sowing wings along the protective forest belt, which allowed us to compare the studies obtained on the variety of spring barley Ratnik.

Throughout the experiment, spring barley seeds were treated annually before sowing with a general tank mixture: the insecticide-fungicide seed treatment “Tuareg, SME” (composition: imidacloprid – 28 g/l, imazalil – 34 g/l, tebuconazole – 20 g/l) – 1.4 l/t, amino acid biostimulant “Biostim Start” – 1 l/t, fungicide seed treatment “Polaris” (composition: prochloraz – 100 g/l, imazalil – 25 g/l, – tebuconazole – 15 g/l) – 1.5 l/t. Sunflower and winter wheat seeds were also treated with seed protectants to exclude the passage of pests and the spread of weeds at the experimental site.

During 2020-2022, sowing activities were carried out with the SKP – 2.1 anchor seeder. Plot parameters: width – 3.2 m, length – 150 m. Productive moisture and yield structure of spring barley were measured at distances of 5H, 10H, 15H, 20H, and 30H from the forest strip (H – height of tree stands in the forest strip, m). The seed planting depth was 3-5 cm with a sowing rate of 3.9-4.0 million viable seeds per 1 ha (Dospekhov, 2014).

The climatic conditions of the study area are characterized by sharp temperature fluctuations, severe drought in summer, and low snowfall in winter (Weather archive: <https://world-weather.ru>).

Correlation and regression analysis of productive moisture on barley yield structure indicators was performed using MS Excel (Sazhin and Basova, 2016).

Results and conclusions. The temperature regime in the spring period (2020-2022) was favorable for starting research on the experimental field. The average temperature in April was +10.8 °C. This temperature is optimal for sowing spring barley (spring barley seeds germinate at a temperature of +1...+2 °C). The first decade of May also turned out to be warm, the average temperature was +19.1 °C (figure 3) (Weather archive: <https://world-weather.ru>).

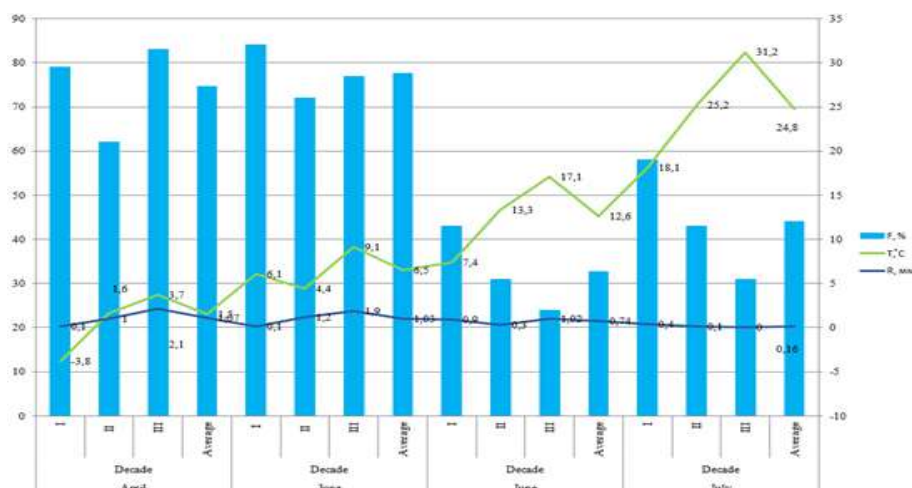


Figure 3 – Average climatic indicators at the experimental site, 2020-2022

Sowing of spring barley of the Ratnik variety in 2020 was carried out on April 16, while only 16 mm of precipitation has fallen since the beginning of the month. The amount of productive moisture per meter during plant vegetation varied from 87 mm in April by 30H to 194 mm in April by 5H. Sowing of sunflower wings in 2019 made it possible to produce snow retention up to 32-38 cm high at a distance from the protective forest belt of 5H to 15H. A large supply of moisture during sowing allowed us to obtain satisfactory shoots of spring barley. By the third decade of May, at the stage of growing barley in 2-3 leaves, there was a minimum amount of precipitation, and the average daily air temperature exceeded +20 °C, as a result, there was a great risk of losing a large percentage of the crop. However, further calculations of the study of the structure gave the opposite positive result due to the large supply of productive moisture approaching the protective forest belt from 5H to 20H (figure 4).

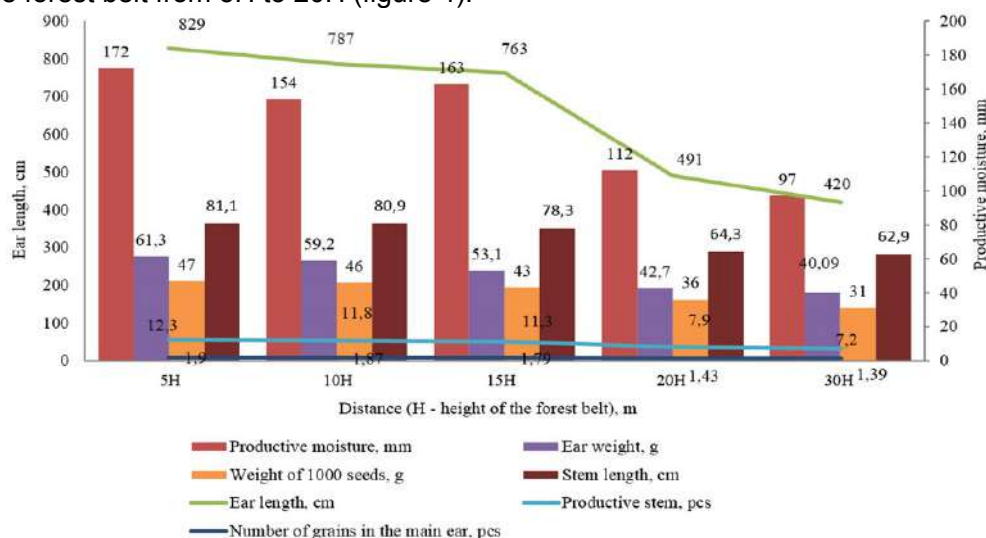


Figure 4 – The structure of the yield of spring barley of the Ratnik at the experimental site – Opt1 (2020)

Sowing of spring barley of the Ratnik variety in 2021 was carried out on April 18. The amount of productive moisture per meter during the vegetation of plants decreased by an average of 25-30 % compared to the previous year at all sampling points from 5H to 30H. Sowing of winter wheat wings in 2020 made it possible to produce snow retention up to 15-21 cm high at a distance from the protective forest belt by 5H to 20H. The second year of research was critically hot and with little precipitation throughout the growing season, and the average daily air temperature exceeded +22.1 °C. Taking into account the prevailing extreme climatic conditions, the indicators of the yield structure fell by 30.4-43.4 %, regardless of the fact that additional snow retention was carried out with the help of winter wheat. The data obtained are shown below (figure 5).

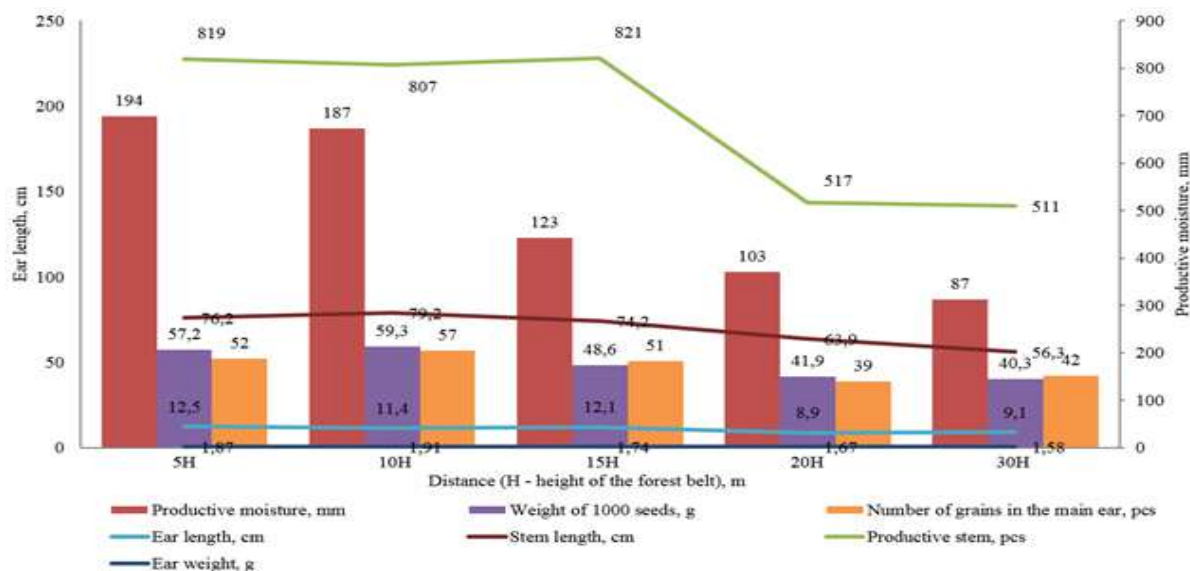


Figure 5 – The structure of the yield of spring barley of the Ratnik at the experimental site – Opt2 (2021)

Sowing of spring barley of the Ratnik variety in 2022 was carried out on April 14, while only 19 mm of precipitation has fallen since the beginning of the month. The productive moisture per meter during the vegetation of plants varied from 43 mm in April by 30H to 154 mm. When there was no backstage area on Opt3c, it gave a minimum supply of productive moisture, so the results obtained were much lower than on variant Opt1 and Opt2 (figure 6).

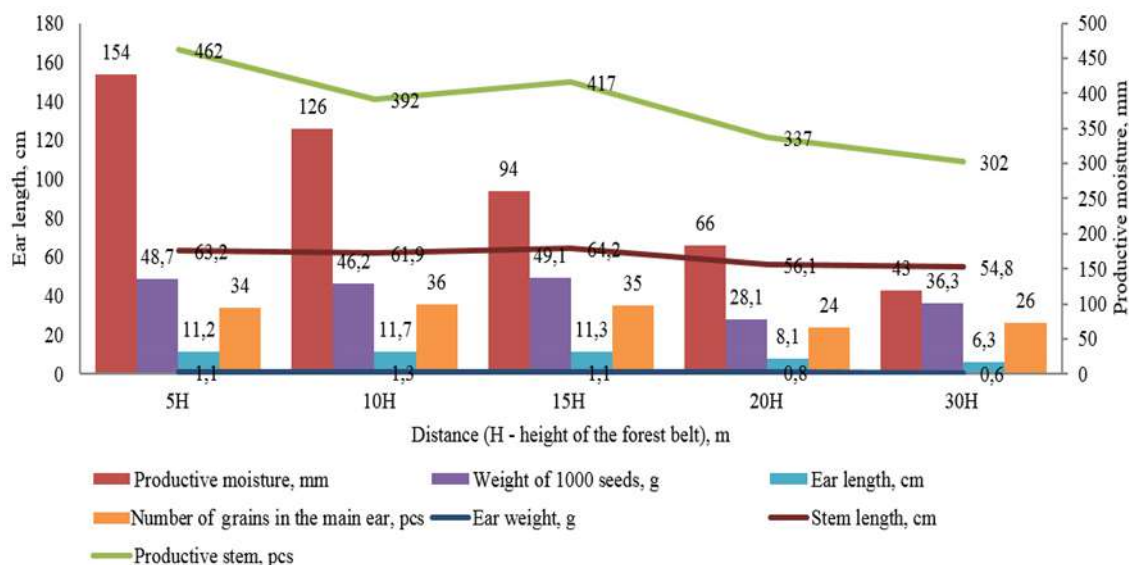


Figure 6 – The structure of the yield of spring barley of the Ratnik at the experimental site – Opt3c (2022)

Considering the remaining data of the yield structure for 2020-2022, a noticeable decrease was obtained in the second and third years in terms of the yield structure of spring barley. This study showed that the sowing of sunflower wings in 2020 showed significant indicators for the retention of

productive moisture, increasing the growth potential for different phases of development. Other factors could also affect the yield. To find out the most accurate dependence of the yield of spring barley along the forest belts with the sowing of protective wings in the depression zone in the acutely arid climatic conditions of the Gorodishchensky district, we conducted statistical data processing based on Excel, and then mathematically modeled using regression equations.

On the basis of the data obtained, regression models were constructed that reveal the relationship between the productive stem of pcs m^2^{-1} – X_1 , weight of 1000 seeds (g) – X_2 , weight of 1000 grains – X_3 , number of grains in the main ear (pcs) – X_4 , ear weight (g) – X_5 , stem length (cm) – X_6 and productive moisture – Y of spring barley of the Ratnik variety for 2020-2022. Based on the assessment of the closeness of the relationship between the studied parameters and the calculated values of the significance level and the Student's criterion ($p = 0.05$; $t_{table} = 0.045$), it can be argued that some coefficients turned out to be insignificant. As a result, these factors were excluded from the list of dependent variables the results are shown in (table 1).

All the studied signs forming the yield of spring barley grain were interrelated, but with varying degrees of dependence. The largest number of correlations was obtained in 2020 – $r=0.99$ and $r=1$, for example, between: productive moisture (mm) and productive stem pcs m^2^{-1} ; productive stem (pcs m^2^{-1}) and ear mass (g); ear length (cm) ear mass (g); this model obeys regression equation $y = 0.6X_1 + 0.1X_2 + 3.02X_3 + 5.01X_5 + 283.6$. The relationships obtained are directly proportional. Consequently, on Opt1, the climate factor had a favorable effect on plant growth and sunflower sowing to create a stable water balance in the soil. The coefficient of determination (R^2) is equal to 1, which indicates a high assessment of the accuracy of the technology.

Below the indicators for 2021, the highest correlation coefficients on Opt2 ($r = 0.95$) between productive moisture (mm) and ear weight (g) and ($r=0.97$), there is an almost linear relationship between productive moisture (mm) and productive stem (pcs m^2^{-1}) and will have the form $y = 0.1X_1 + 9.1X_2 - 4.1X_3 - 1.5X_6 - 6.22$, so the model has a high degree of technology description. In other variants, the degree of correlation Opt1 – $r = 0.95$ between productive moisture (mm), productive stem (pcs m^2^{-1}) and other indicators does not fully describe this technology, since it is a standard scheme for sowing grain crops (table 1).

Table 1 – Correlation and regression analysis of the yield of Ratnik spring barley by structural elements, averaged by distance from the protective forest strip, 2020-2022

Correlative relationships	Correlation coefficient	R ²	Regression equation
2020 (Protective curtain – Sunflower variety Vniimk 8883)			
Productive moisture (mm) and productive stem (pcs m ²⁻¹)	1.0	1.0	y = 0.6X ₁ +0.1X ₂ +3.02X ₃ +5.01X ₅ +283.6
Productive moisture (mm) and ear length (g)	0.98	0.93	
Productive stem (pcs m ²⁻¹) and ear weight (g)	0.99	0.99	
Productive stem (pcs) and stem length (cm)	0.98	0.97	
Ear length (cm) and ear weight (g)	0.99	0.99	
Ear length (cm) and stem length (cm)	0.99	0.89	
2021 (Protective curtain – Winter wheat variety Kamyshanka 4)			
Productive moisture (mm) and productive stem (pcs)	0.97	0.97	y = 0.1X ₁ +9.1X ₂ -4.1X ₃ -1.5X ₆ -6.22
Productive moisture (mm) and ear length (g)	0.95	0.98	
Productive stem (pcs) and ear length (cm)	0.89	0.95	
Weight of 1000 seeds (g) and ear weight (g)	0.94	0.94	
2022 (Without wings)			
Productive moisture (mm) and productive stem (pcs)	0.95	0.93	y = 1.21X ₁ +3.5X ₂ +12.9X ₅ -17.0X ₄ +400.9
The mass of 1000 seeds (g) and the number of grains in the main ear (pcs)	0.95	0.96	
Ear length (cm) and ear weight (g)	0.97	1.0	

The reliability in terms of the significance of the Fisher's criterion was on average 0.02 for almost all indicators. Productive moisture with all other parameters of the structure has a coefficient of determination less than 0.05.

Studies of the authors [6] found that the most effective pre-sowing treatment of spring barley seeds with micro fertilizers Polaris and Siliplant on the background of organic-mineral fertilizer Ecofus was in wet years, in low soil moisture the efficiency of seed pre-sowing treatment decreases. Thus, joint seed pre-sowing treatment allows in favourable years to improve seed quality, which increased germination energy, germination and seed growth vigour and increased root system spreading, which was reflected in barley productivity.

Our research also showed that annual pre-sowing dressing of spring barley seeds with a tank mixture with the use of sunflower tillers allows to increase the growth potential at different phases of development.

Conclusions. Considering the remaining data of the yield structure for 2020-2022, a noticeable decrease was obtained in the second and third years in terms of the yield structure of spring barley. This study showed that the sowing of sunflower wings in 2020 showed significant indicators for the retention of productive moisture, increasing the growth potential for different phases of development. The most accurate correlation of the correlative relationships of the yield structure of spring barley Ratnik with the sowing of protective wings of sunflower variety Vniimk-8883 with a seeding rate of 4.5 kg ha⁻¹ to preserve productive moisture in the dispersed zone in acutely arid climatic conditions. The model on variant Opt1 fully approximates the resulting equation.

Заключение. Согласно имеющимся данным о структуре урожайности за 2020-2022 годы, было зафиксировано заметное ее снижение у ярового ячменя во второй и третий годы. Данное исследование показало, что посев кулис из подсолнечника в 2020 году продемонстрировал значительные результаты в плане сохранения продуктивной влаги и увеличения потенциала роста на разных фазах развития. Наиболее точная корреляция взаимосвязей структуры урожайности ярового ячменя сорта «Ратник» была достигнута при посеве защитных кулис из подсолнечника сорта «Вниимк-8883» с нормой высева 4,5 кг/га для сохранения продуктивной влаги в диссепированном слое в условиях остро засушливого климата. Модель по варианту Opt1 полностью аппроксимирует полученное уравнение.

References

1. Barabanov A. T., Kulik A. V. Efficiency of application of backstage from agricultural plants in the system of the stocked regulator of forest belts. Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and higher education. 2019. V. 1 (53). Pp. 41-47.
2. Barlog P., Hlisnikovsky L., Kunzova E. Yield, content, and nutrient uptake by winter wheat and spring barley in response to applications of digestate, cattle slurry, and NPK mineral fertilizers. Archives of Agronomy and Soil Science. 2020. V. 66 (11). Pp. 1481-1496.
3. Belyakov A. M., Nazarova M. V. Factor of adaptation in agriculture of the Lower Volga region. Research on Crops. 2022. V. 23 (3). Pp. 595-601.
4. Belyakov A. M., Koshelev A. V., Nazarova M. N., Egorov A. V. On the formation of ecologically balanced agrarian landscapes in the dry-steppe zone of chestnut soils. Indian Journal of Agricultural Research. 2024. V. 58 (1). Pp. 106-112.
5. Filin V. I., Petrov N. Yu., Egorova G. S., Belyaev I. A., Efremova E. N. Technological aspects of spring barley yield formation in the chestnut soil zone of the Volgograd region. Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and higher education. 2023. V. 4 (72). Pp. 65-72.
6. Hamid El Abd S. E. A., Bugaev P. D. Impact of seed treatments pre-sowing and organo-mineral fertilizer on spring barley production. Indian Journal of Agricultural Research. 2020. V. 54 (5). Pp. 611-616.
7. Kiryushin V. I. The goals of land use optimization in Russia. Dokuchaev Soil Bulletin. 2023. V. 116. Pp. 5-25.
8. Kulik K. N., Belyaev A. I., Pugacheva A. M. The role of protective afforestation in combating drought and desertification of agricultural landscapes. Arid Ecosystems. 2023. V. 29. No 1 (94). Pp. 4-14.
9. Kulik K. N., Garkusha A. A., Usenko V. I., Kravchenko V. I., Purgin D. V. Potential for improving the yield of field crops on chestnut soils of dry steppes in West Siberia. Russian Agricultural Sciences. 2024. V. 5. Pp. 3-7.
10. Petelko A. I., Panov V. I. The Influence of the Main Natural Factors on the Formation of Surface Flow of Melt Water in Forest-Reclaimed Agricultural Landscapes in the Forest-Steppe and Steppe Zones of the European Part of Russia. Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences series. 2019. V. 43. No 1. Pp. 16-29.
11. Proezdov P. N., Mashtakov D. A., Eskov D. V., Avtonomov A. N., Rozanov A. V. Productivity of slope pastures under the influence of protective forest plantations and mulching in the forest-steppe and steppe of the Volga Upland. Transactions of the St. Petersburg Forestry Research Institute. 2023. V. 3. Pp. 101-111.
12. Sarychev A. N., Mikhalkov D. E., Vdovenko A. V., Vorobyova O. M. Agroecological conditions for winter wheat cultivation under the protection of forest belts. Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. V. 1 (204). Pp. 11-20.
13. Sarychev A. N., Kostin M. V., Pleskachev Yu. N. Influence of protective forest plantations and soil cultivation practices on the agrophysical properties of chestnut soils and crop yields. Forest Bulletin. 2021. V. 25 (6). Pp. 63-70.
14. Sida T. S., Baudron F., Kim H., Giller K. E. Climate-smart agroforestry: Faidherbia albida trees buffer wheat against climatic extremes in the Central Rift Valley of Ethiopia. Agricultural and Forest Meteorology. 2018. V. 248. Pp. 339-347.
15. Seminchenko E. V. Influence of forest belts on the photosynthetic activity of spring barley crops. Bulletin of the Volga Region State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management. 2021. V. 4 (52). Pp. 78-88.

Библиографический список

1. 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.
2. Barlog P., Hlisnikovsky L., Kunzova E. Yield, content, and nutrient uptake by winter wheat and spring barley in response to applications of digestate, cattle slurry, and NPK mineral fertilizers. Archives of Agronomy and Soil Science. 2020. V. 66 (11). Pp. 1481-1496.
3. Belyakov A. M., Nazarova M. V. Factor of adaptation in agriculture of the Lower Volga region. Research on Crops. 2022. V. 23 (3). Pp. 595-601.
4. Belyakov A. M., Koshelev A. V., Nazarova M. N., Egorov A. V. On the formation of ecologically balanced agrarian landscapes in the dry-steppe zone of chestnut soils. Indian Journal of Agricultural Research. 2024. V. 58 (1). Pp. 106-112.
5. Филин В. И., Петров Н. Ю., Егорова Г. С., Беляев И. А., Ефремова Е. Н. Технологические аспекты формирования урожайности ярового ячменя в зоне каштановых почв Волгоградского региона. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 4 (72). С. 65-72.
6. Hamid El Abd S. E. A., Bugaev P. D. Impact of seed treatments pre-sowing and organo-mineral fertilizer on spring barley production. Indian Journal of Agricultural Research. 2020. V. 54 (5). Pp. 611-616.
7. Кирюшин В. И. Задачи оптимизации землепользования в России. Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. 2023. №116. С. 5-25.
8. Кулик К. Н., Беляев А. И., Пугачёва А. М. Роль защитного лесоразведения в борьбе с засухой и опустыниванием агроландшафтов. Аридные экосистемы. 2023. Т. 29. № 1 (94). С. 4-14.
9. Кулик К. Н., Гаркуша А. А., Усенко В. И., Кравченко В. И., Пургин Д. В. Резервы увеличения урожайности полевых культур на каштановых почвах сухой степи Западной Сибири. Российская сельскохозяйственная наука. 2024. № 5. С. 3-7.
10. Петелько А. И., Панов В. И. Влияние основных природных факторов на формирование поверхностного стока талых вод в лесомелиорированных агроландшафтах в лесостепной и степной зонах европейской части России. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2019. Т. 43. № 1. С. 16-29.
11. Проездов П. Н., Маштаков Д. А., Есков Д. В., Автономов А. Н., Розанов А. В. Продуктивность склоновых пастбищ под влиянием защитных лесных насаждений и мульчирования в лесостепи и степи Приволжской возвышенности. Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2023. № 3. С. 101-111.
12. Сарычев А. Н., Михальков Д. Е., Вдовенко А. В., Воробьева О. М. Агроэкологические условия возделывания озимой пшеницы под защитой лесных полос. Аграрный вестник Урала. 2021. № 1 (204). С. 11-20.
13. Сарычев А. Н., Костин М. В., Плещачев Ю. Н. Влияние защитных лесных насаждений и приемов обработки почвы на агрофизические свойства каштановых почв и урожайность сельскохозяйственных культур. Лесной вестник. 2021. Т. 25. № 6. С. 63-70.
14. Sida T. S., Baudron F., Kim H., Giller K. E. Climate-smart agroforestry: Faidherbia albida trees buffer wheat against climatic extremes in the Central Rift Valley of Ethiopia. Agricultural and Forest Meteorology. 2018. V. 248. Pp. 339-347.
15. Семинченко Е. В. Влияние лесных полос на фотосинтетическую деятельность посевов ярового ячменя. Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2021. № 4 (52). С. 78-88.

Authors' Information

Guzenko Aleksey Yuryevich, 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: <https://orcid.org/0000-0002-8237-6495>, e-mail: guzenko-ay@vfanc.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: <https://orcid.org/0000-0003-4048-7549>, e-mail: alexkosh@mail.ru

Egorov Aleksandr Viktorovich, 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: <https://orcid.org/0000-0002-2735-3952>, e-mail: egorov-a@vfanc.ru

Sytin Gennady Olegovich, 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: <https://orcid.org/0000-0001-6005-8413>, e-mail: sytin-g@vfanc.ru

Информация об авторах

Гузенко Алексей Юрьевич, младший научный сотрудник, ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, 97). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8237-6495>. e-mail: guzenko-ay@vfanc.ru

Кошелев Александр Валентинович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией, ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4048-7549>, e-mail: alexkosh@mail.ru

Егоров Александр Викторович, младший научный сотрудник, ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, 97). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2735-3952>, e-mail: egorov-a@vfanc.ru

Сытин Геннадий Олегович, младший научный сотрудник, ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, 97). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6005-8413> e-mail: sytin-g@vfanc.ru

**THE HYDROTHERMAL EFFECT OF PROTECTIVE FOREST PLANTATIONS
ON THE FERTILITY OF CHESTNUT SOILS IN THE VOLGOGRAD REGION**¹Syтин G. O., ¹Koshelev A. V., ²Podkovyrov I. Yu.¹Federal Scientific Centre for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation²All-Russian Research Institute of Phytopathology
Bolshie Vyazemy, Moscow region, Russian Federation

Corresponding author E-mail: alexkosh@mail.ru

Received 28.08.2025

Submitted 30.10.2025

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 research materials on the hydrothermal influence of protective forest plantations on the fertility of chestnut soils in the Volgograd region.

Abstract

Introduction. The reclamation effect of protective forest plantations on agricultural land has been described by many researchers. However, the study of their hydrothermal impact on soil under climate change scenario is of high relevance. The research purpose is to study the hydrothermal effect of forest belts on the fertility of chestnut soils of Volgograd region of Russia in the inter-belt space. **Materials and methods.** The hydrothermal effect of the forest belts was studied at different distances from protective forest plantations up to 200 m according to the methodology of systematic research in agroforest landscapes and the method of Dospekhov. In the course of the research, wind speed, air temperature, soil temperature and soil moisture were determined, snow measurement was performed, and the fertility indicators (NPK) were determined. **Results and conclusions.** The present study showed that the most intense snowmelt was observed at a distance of more than 50 m from the plantings. In the inter-belt space, moisture in the meter-high soil layer is distributed quite evenly, with the exception of the 50-100 m zone, where it accumulates more densely. The greatest temperature fluctuations in the soil indicators were detected at a distance of 100-200 m from protective forest stands (gradients of 1.3-2.25 °C on the surface and 6.35-9.25 °C at a meter depth). The most favorable wind and temperature conditions were observed in the zone of influence of protective forest belts at a distance of up to 100 m from the edge. The most favorable ratios of organic carbon to nitrogen were found at a distance of up to 50 m from protective forest belts. The results obtained make it possible to plan the placement of protective forest plantations and agricultural fields for growing crops, especially in small area farms depending on changing natural and economic conditions.

Keywords: protective forest plantations, forest belts, soil fertility, chestnut soils, wind speed, soil temperature, soil moisture.

Citation. Syтин G. O., Koshelev A. V., Podkovyrov I. Yu. The hydrothermal effect of protective forest plantations on the fertility of chestnut soils in the Volgograd region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 285-292 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-32.

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 551.4:634.958

**ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ
НА ПЛОДОРОДИЕ КАШТАНОВЫХ ПОЧВ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**¹Сытин Г. О., младший научный сотрудник¹Кошелев А. В., ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук²Подковыров И. Ю., заведующий лабораторией, доктор сельскохозяйственных наук, доцент¹ФГБУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук»
г. Волгоград, Российская Федерация²Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии
Московская обл., Одинцовский р-н, пос. Большие Вязёмы, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках выполнения проекта 125021302094-5 «Формирование и функционирование адаптивных агролесомелиоративных комплексов юга России в условиях климатических изменений с использованием цифровых технологий».

Актуальность. Мелиоративное действие защитных лесных насаждений на сельскохозяйственных угодьях описано многими исследователями. Однако изучение их гидротермического воздействия на почву в условиях изменения климата имеет высокую актуальность. Цель исследования

– изучение гидротермического воздействия лесных полос на плодородие каштановых почв Волгоградской области России в межполосном пространстве. **Материалы и методы.** Гидротермическое воздействие лесных полос изучалось на разном расстоянии от защитных лесных насаждений до 200 м по методике системных исследований в агролесоландшафтах и по методу Доспехова. В ходе исследований определялись скорость ветра, температура воздуха, температура и влажность почвы, проводился снегомерный учет, определялись показатели плодородия (NPK). **Результаты и выводы.** Проведенное исследование показало, что наиболее интенсивное снеготаяние наблюдалось на расстоянии более 50 м от насаждений. В межполосном пространстве влага в метровом слое почвы распределяется достаточно равномерно, за исключением зоны 50-100 м, где она скапливается более плотно. Наибольшие колебания температурных показателей почвы выявлены на расстоянии 100-200 м от защитных лесных насаждений (градиенты 1,3-2,25 °C на поверхности и 6,35-9,25 °C на метровой глубине). Наиболее благоприятный ветро-температурный режим наблюдался в зоне влияния защитных лесных полос на расстоянии до 100 м от опушки. Наиболее благоприятные соотношения органического углерода к азоту выявлены на расстоянии до 50 м от защитных лесных полос. Полученные результаты позволяют планировать размещение защитных лесных насаждений и сельскохозяйственных угодий для выращивания сельскохозяйственных культур, особенно в мелкоплощадных хозяйствах, в зависимости от изменяющихся природно-хозяйственных условий.

Ключевые слова: защитные лесные насаждения, лесные полосы, плодородие почвы, каштановые почвы, скорость ветра, температура почвы, влажность почвы.

Цитирование. Сытин Г. О., Кошелев А. В., Подковыров И. Ю. Гидротермическое влияние защитных лесных насаждений на плодородие каштановых почв Волгоградской области. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 285-292. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-32.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Introduction. Large-scale agricultural production is associated with the use of soil as the basis for crop cultivation [9]. Irrational activity can lead to degradation and loss of soil fertility, and as a consequence, to a decrease in yield and production efficiency [2, 11]. The use of fertilizers and ameliorants is currently considered to be one of the most important factors in the formation of artificial fertility (Kiryushin, 2015, 2018).

However, this gives mainly a short-term effect for the period of growing plants. The use of protective forest plantations to maintain and preserve soil fertility on agricultural lands allows for a long-term impact (Berlin et. al., 2015; Gromovik et. al., 2013; Kaganov, 2012; Kretinin and Litvinov, 2001) [3]. It was proved by many researchers that tree plantations affect microclimatic indicators, such as soil moisture retention, snow distribution in the field, reduced evaporation and wind speed (Balakai, 2017; Barabanov and Kulik, 2017; Lisetsky, 2008; Paramonov, 2013; Pleskachev and Sarychev, 2017) [5, 6] and creates favourable conditions for growing crops (Adrov et al., 2013; Vlasenko, 2014) [8, 10, 12].

The reclamation role of woody vegetation is justified in the works of many authors (Haddaway et. al., 2016; Kotlyarova, 2014; Kulik and Pugacheva, 2016) [1, 7, 14]. However, the study of the hydrothermal effect on the soil in modern conditions is of high relevance. This is due to the emergence of new production conditions: climatic, technological, the state of the land and protective forest plantations.

This area of research is particularly relevant for chestnut soils, which are intensively used in agricultural activities and on which protective forest stands have been created everywhere (Kulik, 2018; Kulik and Popova, 2013; Kulik et al., 2020; Kretinin and Koshelev, 2017) [4, 12, 13, 14].

The purpose of the research is to study the hydrothermal effect of forest belts on the fertility of chestnut soils in the inter-belt space.

Materials and methods. Field experiments were carried out in 2020-2022 on a test field in the Kachalino experimental farm of the Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences in the Ilovinsky district of the Volgograd region (figure 1).

Protective forest plantations along the boundaries of the fields were created from 1985 to 1992. They are 12 m wide and consist of four rows. The distance between trees and bushes in rows is 3 m, the edges of the forest strip are 1.5 m on each side. The trees of the squat elm (*Ulmus pumila* L.), black locust (*Robinia pseudoacacia* L.), thorny locust (*Gleditsia triacanthos* L.), petiolate oak (*Quercus robur* L.), Crimean pine (*Pinus nigra subsp Pallasiana*) are located in the inner rows. As of 2020, the height of the trees is 10-11 m.

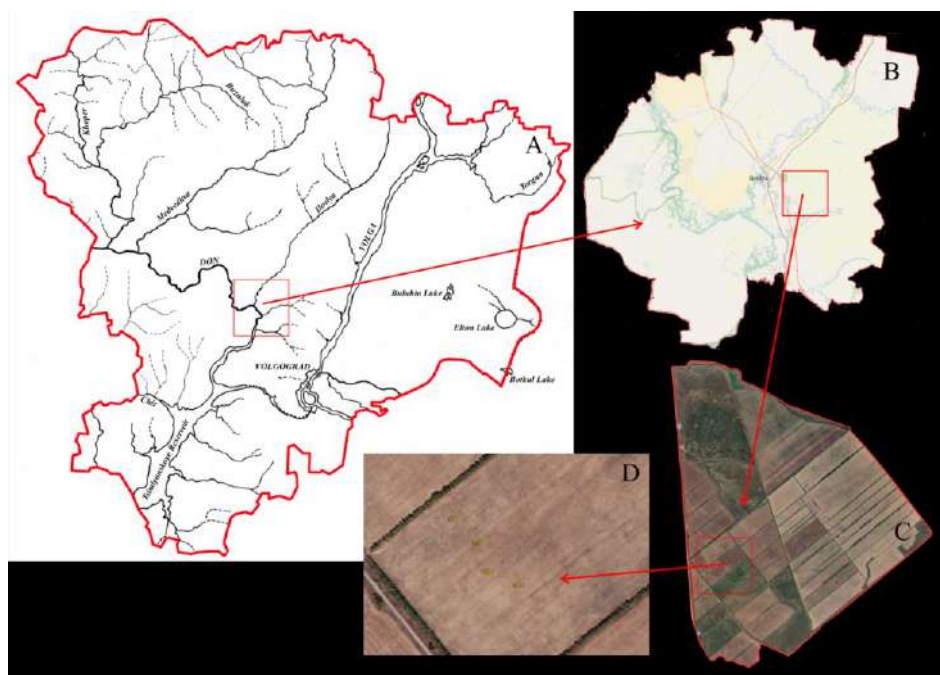


Figure 1 – Location map of the research object:

A – Volgograd region; B – Ilovinsky district; C – Kachalino experimental farm; D – Pilot field

Shrubs of golden currant (*Ribes aureum* Pursh.) grow in the outer rows. The inter-belt space is occupied by the fields with winter wheat crops. Observations of the hydrothermal indicators of the territory were carried out at different distances from the protective forest plantations: FB – directly in the forest belt; 5H – at a distance of 50 m; 10H – at a distance of 100 m; 15H – at a distance of 150 m; 20H – at a distance of 200 m according to the methodology of systemic studies in agroforest landscapes [2]. Routing was performed using the Garmin GPSMAP 64st navigator. Wind speed and air temperature were measured at an altitude of 0.5 and 1.0 m above ground level using a portable Pro Anemometer Hold Peak HP-866B-APP. The soil temperature was measured with a digital thermometer-probe IT-7-Zh-6-1000. Measurements were taken every 10 cm to a depth of 1.0 m in 3 replicates. The moisture content of soil samples was studied in the laboratory by the thermal-weight method on a digital moisture meter A&D MX-50. Soil samples for moisture were collected using a soil drill every 10 cm to a depth of 1.0 m in 3 replicates. The snow-measuring survey was carried out by the route method using a snow-measuring ruler. Soil samples for agrochemical analysis were taken by a soil drill. Tests for the content of individual elements were carried out in the laboratory of the Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences according to generally accepted standards (State Standard 26213-91, State Standard 26423-85, State Standard 26205-91, etc.). Measurements of distances and plants were carried out using a metal measuring tape BMI two COMP.

Results and discussion. 1. Effect of protective forest stands on snow cover and snow melt. Protective forest stands create differences in the temperature regime of the inter-belt space during the snowmelt period. In the experimental plots, the height of the snow cover in the first decade of March under the tree crowns reached 0.085-0.086 m. At a distance of 100 m from the planting, the snow height was 0.063-0.067 m, and at a distance of 200 m – 0.042-0.043 m. The snow-measuring survey showed that with the onset of positive air temperature in the daytime up to +2-5°C, the intensity of snow melting was different. Under the treetops, it was eight times lower than in the open space of the field. Analysis of the ratio of the height of the snow cover and the intensity of its melting showed that in light chestnut soils, the influence of protective forest plantings is expressed at a distance of up to 150 m from the edge of the stand. At a distance of 200 m, the impact of protective forest stands becomes minimal. It was revealed that in the open space, the height of the snow cover decreases faster than in a protective forest stand. This process reflects well the equation of the power function $y = 0.0795x^{-0.783}$. The most intense snowmelt is observed at a distance of more than 50 m from the plantings. At a distance of 150-200 m, the decrease in snow height over the 10-day observation period was equal to 0.023-0.027 m (figure 2).

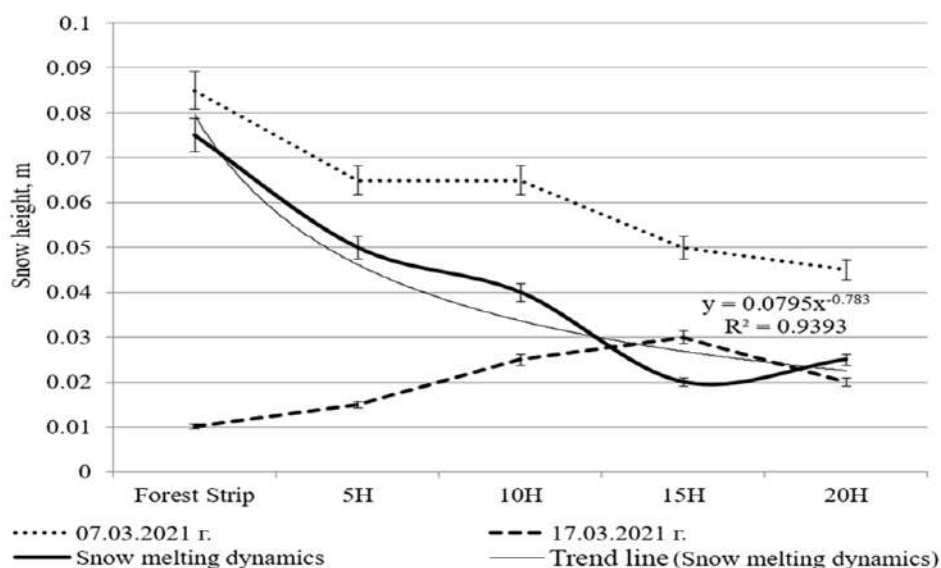


Figure 2 – Dynamics of snow melting at different distances from the protective forest stand in the spring period (average for 2020-2022)

Even with a relatively low snow cover, protective forest stands in the agricultural landscape create a redistribution of heat in spring, which causes differences in snowmelt, soil moisture and the formation of moisture reserves. Microclimatic heterogeneity of space in the spring period creates differences in soil formation conditions at different distances from protective forest stands.

2. Effect of protective forest stand on soil moisture. Field observations have shown that in the spring period, the largest range of moisture reserves in the meter layer of soil (215.0-257.0 mm) is located in the zone from the edge of the stand to a distance of 150 m from it. The highest values were noted at a distance of 50 m from the stand, where the intensity of snowmelt was the greatest. At a distance of 150-200 m, the total moisture reserve averaged 229.0-231.0 mm. It was found that the reserve of productive soil moisture is formed less by 2.0-2.5 times as compared to the total soil moisture reserve. The greatest differences in this ratio are observed at a distance of 50-100 m from the protective forest plantation. At the remaining distances under study, the closest ratios of 2.2-2.3 in terms of values were obtained. In the inter-belt space, moisture in the meter-deep soil layer is distributed fairly evenly, with the exception of the 50-100 m zone, where it accumulates more. No clear functional dependence on the distance has been obtained in the calculations (figure 3).

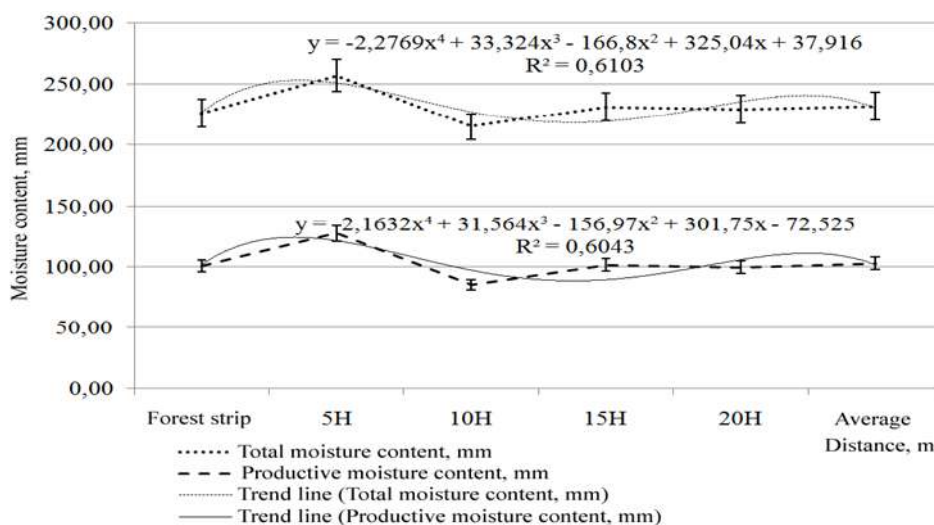


Figure 3 – Distribution of moisture reserves in a meter layer of chestnut soil at different distances from the protective forest plantation in the spring period (average for 2020-2022)

The soil surface plays an important role in the process of heat exchange and in the formation of environmental conditions that affect the growth of plants (Shein et. al., 2016) [7]. During the day, the soil transfers part of the heat to the air. A study of the thermal regime in summer shows that the influence of protective forest stands can be traced to a depth of more than 1.0 m. In the zone of chestnut soils, the upper layer of the soil is overheated to a temperature of 50-60 °C on extremely hot sunny days, which is unfavorable for both plants and soil microflora. The lowest temperatures were detected at a depth of 0.8-1.0 m. It was found that under the tree crowns, the soil temperature in the meter layer is in a fairly favorable range of values (16.0-20.0 °C). At a distance of 50-100 m, a temperature range of 17.2-22.3 °C is observed, which is in the zone of optimum vital activity of plants and microorganisms. At a distance of more than 100 m, a shift in the temperature range in the soil layer to a depth of 0.2 m (22.3-25.6 °C) to the upper limit of unfavorable values is observed. At a depth of 0.5-1.0 m, the temperature regime remains stable at the level of 17.0-20.0 °C (figure 4).

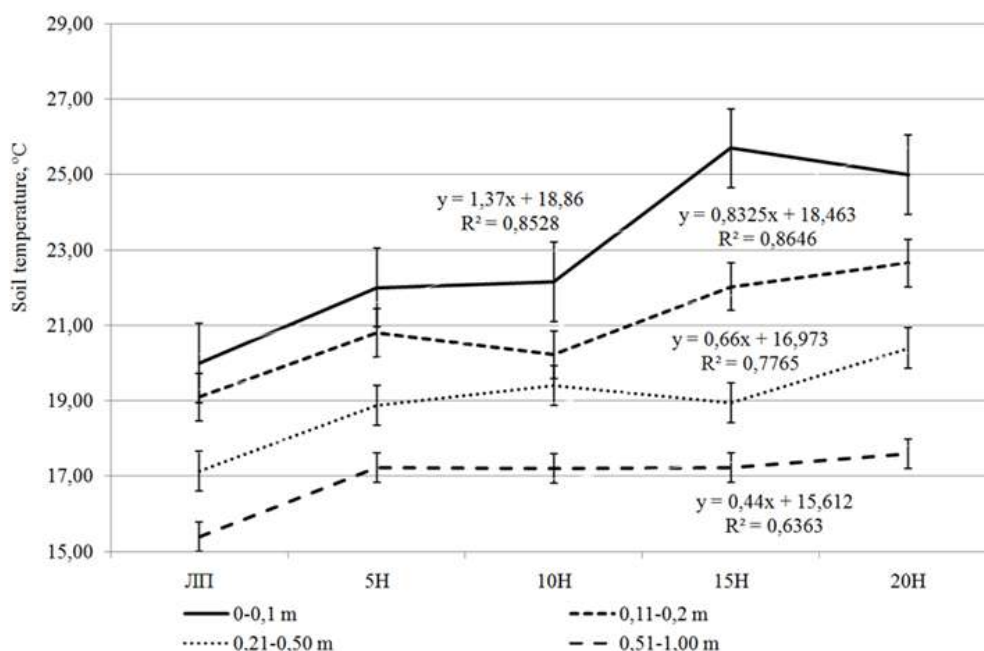


Figure 4 – Effect of protective forest plantations on the temperature regime of chestnut soil in the summer period (average for 2020-2022)

3. Effect of protective forest stand on soil temperature The influence of protective forest plantations on the temperature regime of the meter-deep soil layer has rectilinear dependencies with close connections ($R^2=0.63-0.86$). Soil temperature determines the course of the most important physiological and biochemical processes in plants (photosynthesis, respiration, transpiration, etc.) and the vital activity of microorganisms (Shein et. al., 2016; Zavalin et. al., 2018) [1, 7]. Water-air and nutrient regimes depend on the temperature of the surface layer of air and soil, which positively affect the vital activity of organisms at optimal temperatures of crop growing. Under the influence of protective forest stands, the soil warms up better than in an open field where there is no vegetation cover or during the beginning of the growing season. This improves the development and growth of crops, and after the closure of the herbage, the soil temperature near tree stands becomes lower and protects fields against overheating. These patterns well express the gradients of changes in soil temperature in depth and at different distances from the protective forest plantation (table 1).

The greatest temperature fluctuations were detected at a distance of 100-200 m from protective forest stands (gradients of 1.3-2.25°C on the surface, and 6.35-9.25°C at a meter depth). Woody vegetation in the zone of greatest influence reduces temperature differences, which creates more favorable conditions for the vital activity of plants and soil microorganisms (Adrov et al., 2013; Kort, 1988; Zavalin et. al., 2018) [1, 8, 10, 12, 14].

Table 1 – Gradients of soil temperature decrease by depth

Years	Gradients of soil temperature decrease (°C) at depth, m									
	0-0.1	0.11-0.20	0.21-0.30	0.31-0.40	0.41-0.50	0.51-0.60	0.61-0.70	0.71-0.80	0.81-0.90	0.91-1.00
Protective forest plantation										
2021	1.40	3.40	3.90	4.40	5.20	5.50	6.10	6.60	7.30	7.50
2022	0.10	0.90	1.20	2.80	3.00	3.30	3.70	4.10	3.50	3.90
Average	0.20	1.60	2.00	3.05	3.55	3.85	4.35	4.80	4.85	5.15
Distance from the protective forest plantation in 5 heights (5H)										
2021	0.70	2.00	4.00	4.30	4.60	5.00	6.00	6.80	7.00	6.00
2022	0.70	1.40	1.60	2.00	2.20	2.70	2.90	3.40	3.90	4.00
Average	0.70	1.70	2.80	3.15	3.40	3.85	4.45	5.10	5.45	5.00
Distance from the protective forest plantation in 10 heights (10H)										
2021	1.20	3.90	3.80	4.40	4.90	5.50	5.50	6.00	8.80	9.20
2022	1.60	1.00	1.10	1.10	1.20	2.10	2.70	2.90	3.30	3.50
Average	1.40	2.45	2.45	2.75	3.05	3.80	4.10	4.45	6.05	6.35
Distance from the protective forest plantation in 15 heights (15H)										
2021	1.40	6.80	7.50	8.00	8.10	9.40	9.80	10.90	11.30	11.50
2022	3.10	3.40	5.40	5.50	6.00	6.10	6.30	5.50	6.90	7.00
Average	2.25	5.10	6.45	6.75	7.05	7.75	8.05	8.20	9.10	9.25
Distance from the protective forest plantation in 20 heights (20H)										
2021	3.70	5.10	5.80	7.60	9.10	9.30	10.30	10.50	11.80	12.60
2022	0.20	0.40	1.30	1.70	2.10	3.40	3.70	3.80	4.20	4.40
Average	1.95	2.75	3.55	4.65	5.60	6.35	7.00	7.15	8.00	8.50
Final average	1.30	2.72	3.45	4.07	4.53	5.12	5.59	5.94	6.69	6.85

4. Effect of protective forest stand on air temperature and wind speed. The positive effect of protective forest stands on wind speed and air temperature in the surface layer was recorded (Table 2).

Table 2 – Effect of protective forest plantations on the average multi-year values of air temperature and wind speed at a height of up to 1.0 m

3	Wind speed, m s ⁻¹			Air temperature, °C		
	0.5 m	1.0 m	Difference	0.5 m	1.0 m	Difference
Forest belt	0.83	1.93	1.10	28.90	28.00	0.90
5H	3.37	4.47	1.10	29.73	28.33	1.40
10H	1.90	2.83	0.93	30.30	28.57	1.73
15H	2.43	4.13	1.70	31.33	29.43	1.90
20H	4.23	5.07	0.83	32.73	30.43	2.30
Average	2.55	3.69	1.13	30.60	28.95	1.65
Correlation coefficients	-	-	-	0.759	0.752	-

The wind regime is a direct influence of protective forest belts, which affects the speed and structure of the wind flow, where the forest belt is an obstacle to incoming air flows which causes the reduction of wind speed depending on the structure of trees (Cornelis and Gabriels, 2005; Haddaway et. al., 2016; Ivashchenko, 2013; Schindler et. al., 2012; Vasiliev, 2003; Voloshenkova, 2011) [1]. The change in wind speed and flow in the summer period determines the degree of influence on temperature. In winter, leafless trees change the patterns of snow deposition. Openwork forest belts reduce wind speed to 20-40% (Cornelis and Gabriels, 2005; Kort, 1988; Vasiliev, 2003; Voloshenkova, 2011).

It was found that the increase of altitude above the earth's surface increases the wind speed up to 0.83-1.70 m s⁻¹ (on average 1.13 m s⁻¹). The air temperature in summer increases by an average of 1.65°C. Close interconnections reflecting the influence of protective forest stands on wind speed and air temperature at altitudes of 0.5 and 1.0 m (correlation coefficients of 0.752 and 0.759, respectively) have been revealed. The most favorable conditions for wind and temperature regimes are formed in the zone of protective forest stands at a distance of up to 100 m from the edge.

5. Effect of protective forest stand on soil fertility. It was revealed that in the zone of the greatest influence, protective forest plantations on chestnut soils create favorable conditions growth of plant root systems in terms of fertility (Table 3).

Table 3 – Impact of protective forest plantations on chestnut soil fertility (average for 2020-2022)

Distance	Organic matter, %	N, mg kg ⁻¹	C/N	P ₂ O ₅ , mg kg ⁻¹	K ₂ O, mg kg ⁻¹
Forest belt	2.3±0.07	29.4±0.35	38.2	43.3±2.11	182.5±6.24
5H	1.9±0.04	27.6±0.13	38.8	48.7±3.27	179.1±7.59
10H	1.5±0.02	18.3±0.23	41.9	41.6±5.02	184.3±7.41
15H	1.3±0.01	15.2±0.18	45.5	39.8±3.36	188.2±9.28
20H	1.3±0.01	11.2±0.16	52.3	40.2±2.08	176.4±8.75
Average	1.7	20.34	43.3	42.72	182.1

Protective forest stands create a favorable hydrothermal regime for the process of soil humification and positively affect the microbiological processes of organic matter mineralization (Berlin et. al., 2015; Gromovik et. al., 2013; Kogut et al., 2009; Kretinin, 1967; 1992; 2009; Kretinin and Litvinov, 2001; Zavalin et. al., 2018). The most favorable ratios (close to 25) of organic carbon to nitrogen were found at a distance of up to 50 m from protective forest stands. At the registration sites located at a distance of more than 150 m from the protective forest plantation, the C/N ratio was higher by 5.0-17.2 % than the average C/N ratio for rest of the field. The range of content of mobile phosphorus and potassium compounds was 39.8-43.3 mg kg⁻¹ and 176.4-188.2 mg kg⁻¹, respectively. The provision of chestnut soil with these elements at the experimental site was at a high level [9].

The study revealed that protective forest stands contribute to the accumulation of organic matter in the zone of greatest influence (up to 50 m). However, nitrogen was not formed enough to increase fertility.

Conclusions. Protective forest plantations create a favorable hydrothermal regime that ensures the accumulation of organic matter in the soil and increases fertility. For chestnut soils, the dependence of soil fertility level on the distance from protective forest stands has been established. Its influence can be traced to a distance of up to 100 m (group I). The second group includes the areas with chestnut soils and a distance to a forest plantation of up to 50 m. In the third group there are areas of chestnut soils with a significant distance from forest plantations (over 75 m), where the impact is minimal. It is important to apply these data when planning the placement of protective forest plantations and fields for growing crops, especially in small farms, where it is possible to comply with a variety of technological regulations and standards that are flexibly modified to meet changing natural and economic conditions.

Заключение. Защитные лесные насаждения создают благоприятный гидротермический режим, обеспечивающий накопление органического вещества в почве и повышение плодородия. Для каштановых почв установлена зависимость уровня плодородия почвы от расстояния до защитных лесных насаждений. Его влияние прослеживается на расстояние до 100 м (группа I). Ко второй группе относятся участки с каштановыми почвами и расстоянием до лесного насаждения до 50 м. К третьей группе относятся участки с каштановыми почвами со значительным удалением от лесных насаждений (более 75 м), где воздействие минимально. Эти данные важно использовать при планировании размещения защитных лесных насаждений и полей для выращивания сельскохозяйственных культур, особенно в мелких фермерских хозяйствах, где возможно соблюдение разнообразных технологических регламентов и нормативов, гибко корректируемых в соответствии с изменяющимися природно-хозяйственными условиями.

References

1. Belyuchenko I. S. Ecological functions of forest strips and their role in the optimization of agrarian landscapes. Ecological Bulletin of the North Caucasus. 2019. V. 15. No. 4. Pp. 16-12.
2. Belyakov A. M., Nazarova M. V. Agroecological assessment of the agricultural systems balance in areas of insufficient humidification. Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and higher education. 2021. No. 1 (62). Pp. 45-52.
3. Kopitke P. M., Menzies N. W., Wang P., McKenna B. A., Lombi E. Soil and the intensification of agriculture for global food security. Environment International. 2019. V. 132. 105078.
4. Kulik K. N., Manaenkov A. S., Salugin A. N., Kuzenko A. N. On the state of protective afforestation in the Volgograd region. Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and higher education. 2020. No. 1 (57). Pp. 23-33.
5. Petel'ko A. I., Vypova A. V. Indicators of Water Balance at Various agricultural backgrounds in the Forest-Steppe Zone of the Non-Chernozem Region. Scientific Agronomy Journal. 2022. No. 4 (119). Pp. 58-65.

6. Potashkina Y. N., Koshelev A. V. Impact of Field-Protective Forest Belts on the Microclimate of Agroforest Landscape in the Zone of Chestnut Soils of the Volgograd Region. *Forests*. 2022. No. 13. 1892.
7. Rulev G. A., Rulev A. S., Ruleva O. V. Thermodynamic assessment of forest amelioration of chernozems. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and higher education*. 2019. No. 2 (54). Pp. 153-161.
8. Ruleva O. V., Seminchenko E. V., Rulev G. A. Photosynthetic activity of spring barley crops in the zone of forest belts influence in the Volgograd region. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2021. V. 659. 012089.
9. Sanin S. S. Plant protection and sustainable agriculture in the XXI century. *Plant protection and quarantine*. 2020. No. 4. Pp. 9-16.
10. Sarychev A., Pleskachev Y., Ivantsova E., Onistratenko N. Efficiency of windbreak forest belts for the cultivation of winter grain crops. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2019. No. 25 (3). Pp. 540-545.
11. Sarychev A. N., Kostin M. V., Pleskachev Yu. N. Influence of protective forest plantations and soil cultivation practices on the agrophysical properties of chestnut soils and crop yields. *Forest Bulletin*. 2021. No 25 (6). Pp. 63-70.
12. Sarychev A. N., Reznikova O. V. The effectiveness of protective forest belts depending on the growing season agrometeorological conditions. *Scientific Agronomy Journal*. 2023. No 4 (123). Pp. 74-81.
13. Smirnova M. A., Gennadiyev A. N., Chendeu Yu. G., Kovach R. G. Influence of field-protective forest plantations on local diversity of soils (Belgorod region). *Soil science*. 2020. No. 9. Pp. 1041-1052.
14. Vavin V. G. Phytosanitary significance of field protection strips. *Plant Protection and Quarantine*. 2019. No. 3. P. 28.

Библиографический список

1. Белюченко И. С. Экологические функции лесных полос и их роль в оптимизации агроландшафтов. *Экологический вестник Северного Кавказа*. 2019. № 4. С. 12-16.
2. Беляков А. М., Назарова М. В. Агроэкологическая оценка сбалансированности систем земледелия в зонах недостаточного увлажнения. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2021. № 1 (61). С. 45-52.
3. Kopittke P. M., Menzies N. W., Wang P., McKenna B. A., Lombi E. Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*. 2019. V. 132. 105078.
4. Кулик К. Н., Манаенков А. С., Кузенко 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 (57). С. 23-33.
5. Петелько А. И., Выпова А. В. Показатели водного баланса на различных агрофонах лесостепной зоны Нечерноземья. *Научный агрономический журнал*. 2022. № 4 (119). С. 58-65.
6. Potashkina Y. N., Koshelev A. V. Impact of Field-Protective Forest Belts on the Microclimate of Agroforest Landscape in the Zone of Chestnut Soils of the Volgograd Region. *Forests*. 2022. No. 13. 1892.
7. Рулев Г. А., Рулев А. С., Рулева О. В. Термодинамическая оценка лесомелиорации черноземов. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2019. № 2 (54). С. 153-161.
8. Ruleva O. V., Seminchenko E. V., Rulev G. A. Photosynthetic activity of spring barley crops in the zone of forest belts influence in the Volgograd region. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2021. V. 659. 012089.
9. Санин С. С. Защита растений и устойчивое земледелие в XXI столетии. *Защита и карантин растений*. 2020. № 4. С. 9-16.
10. Sarychev A., Pleskachev Y., Ivantsova E., Onistratenko N. Efficiency of windbreak forest belts for the cultivation of winter grain crops. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2019. No. 25 (3). Pp. 540-545.
11. Сарычев А. Н., Костин М. В., Плескачев Ю. Н. Влияние защитных лесных насаждений и приемов обработки почвы на агрофизические свойства каштановых почв и урожайность сельскохозяйственных культур. *Лесной вестник*. 2021. Т. 25. № 6. С. 63-70.
12. Сарычев А. Н., Резникова О. В. Эффективность полевых защитных лесных полос в зависимости от агрометеорологических условий вегетационного периода. *Научно-агрономический журнал*. 2023. № 4 (123). С. 74-81.
13. Смирнова М. А., Геннадиев А. Н., Чендев Ю. Г., Ковач Р. Г. Влияние полевых защитных лесных насаждений на локальное разнообразие почв (Белгородская область). *Почвоведение*. 2020. № 9. С. 1041-1052.
14. Вавин В. Г. Фитосанитарное значение полевых защитных полос. *Защита и карантин растений*. 2019. № 3. С. 28.

Информация об авторах

Сытин Геннадий Олегович, младший научный сотрудник, ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6005-8413>, e-mail: sytin-g@vafanc.ru

Кошелев Александр Валентинович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией, ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4048-7549>, e-mail: alexkosh@mail.ru

Подковыров Игорь Юрьевич, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий лабораторией, (Российская Федерация, 143050, Московская область, Одинцовский район, пос. Большие Вязёмы, ул. Институт, 5), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0505-4094>, e-mail: pamelia@mail.ru

Authors' Information

Sytin Gennady Olegovich, Junior 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: <https://orcid.org/0000-0001-6005-8413> e-mail: sytin-g@vafanc.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: <https://orcid.org/0000-0003-4048-7549>, e-mail: alexkosh@mail.ru

Podkovyrov Igor Yuryevich, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory, All-Russian Research Institute of Phytopathology (Russian Federation, 143050, Moscow Region, Odintsovsky District, Bol'shiye Vyazyomy, Institute St., 5). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0505-4094>, e-mail: pamelia@mail.ru

THE DEPENDENCE OF THE WHITE CABBAGE YIELD AS A RESULT OF THE AGRICULTURAL TECHNIQUES: TILLAGE, MINERAL FERTILIZERS AND REGULATION OF THE WATER REGIME**Shchepotko N. A., Kruzhilin I. P., Bocharnikova O. V.***Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: schepotko.n@yandex.ru

Received 20.10.2025

Submitted 26.11.2025

Abstract

Introduction. Increasing the productivity of white cabbage crops is an urgent task, especially in modern agriculture. One of the key factors affecting crop yields is the improvement of agricultural techniques. This includes careful pre-sowing preparation of the soil, the use of drip irrigation and fertigation, which makes it possible to efficiently use water and mineral fertilizers. **Materials and methods.** Field research was conducted at the S.P. Pavlova farm in the Surovikinsky district in the period from 2013 to 2015. The field experience was based on the plan of a complete factorial experiment, including the following factors:

- Factor A: the method of basic and pre-planting soil preparation.
- Factor B: water regime of the soil.
- Factor C: the level of mineral nutrition, focused on obtaining the planned yield of white cabbage.

Results and conclusions. The highest yield of white cabbage was obtained on the third system of basic and pre-planting soil preparation. At the same time, the threshold of pre-watering humidity was maintained at 80-80 % HB, and mineral fertilizers were applied at a dose of $N_{285}P_{130}K_{260}$. The yield was 123.4 t/ha, which is 63.2 % higher than the minimum yield value obtained in the first system of basic and pre-planting soil preparation while maintaining the threshold of pre-watering moisture at the level of 80-70 % HB and the application of mineral fertilizers with a dose of $N_{155}P_{70}K_{40}$. Thus, the results of the study confirm that the improvement of agrotechnical techniques, including soil preparation, irrigation and fertilization, significantly increases the productivity of white cabbage crops.

Keywords: white cabbage, water consumption of white cabbage, mineral nutrition of white cabbage, yield of white cabbage.

Citation. Shchepotko N. A., Kruzhilin I. P., Bocharnikova O. V. The dependence of the white cabbage yield as a result of the agricultural techniques: tillage, mineral fertilizers and regulation of the water regime. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 293-305 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-33.

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

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

УДК 631.674:635.342:631.5

ЗАВИСИМОСТЬ УРОЖАЙНОСТИ БЕЛОКОЧАННОЙ КАПУСТЫ КАК РЕЗУЛЬТАТ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ ПРИЁМОВ – ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ, МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА**Щепотько Н. А., преподаватель****Кружилин И. П., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН****Бочарникова О. В., доктор технических наук, профессор***ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация*

Актуальность. Повышение продуктивности посевов белокочанной капусты является актуальной задачей, особенно в условиях современного сельского хозяйства. Одним из ключевых факторов, влияющих на урожайность, является совершенствование агротехнических приемов. Это включает тщательную предпосевную подготовку почвы, использование капельного орошения и фертигации, что позволяет рационально расходовать воду и минеральные удобрения. **Материалы и методы.** Полевые исследования проводились в фермерском хозяйстве «С. П. Павлова» Суровикинского района в период с 2013 по 2015 год. Полевой опыт был заложен по плану полного факториального эксперимента, включающего следующие факторы:

- Фактор А: способ основной и предпосадочной подготовки почвы.
- Фактор В: водный режим почвы.
- Фактор С: уровень минерального питания, ориентированный на получение планируемой урожайности белокочанной капусты.

Результаты и выводы. Наибольшая урожайность белокочанной капусты была получена на третьей системе основной и предпосадочной подготовки почвы. При этом поддерживался порог предполивной влажности на уровне 80-80 % НВ, а минеральные удобрения вносились дозой $N_{285} P_{130} K_{260}$. Урожайность составила 123,4 т/га, что на 63,2 % выше минимального значения урожайности, полученного на первой системе основной и предпосадочной подготовки почвы при поддержании порога предполивной влажности на уровне 80-70 % НВ и внесении минеральных удобрений дозой $N_{155} P_{70} K_{40}$. Таким образом, результаты исследования подтверждают, что совершенствование агротехнических приемов, включая подготовку почвы, орошение и внесение удобрений, значительно повышает продуктивность посевов белокочанной капусты.

Ключевые слова: белокочанная капуста, водопотребление капусты белокочанной, минеральное питание капусты белокочанной, урожайность капусты белокочанной.

Цитирование. Щепотько Н. А., Кружилин И. П., Бочарникова О. В. Зависимость урожайности белокочанной капусты как результат агротехнических приёмов – обработки почвы, минеральных удобрений и регулирования водного режима. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 293-305. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-33.

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.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В мире в промышленных масштабах культивируется около 30–35 видов овощных культур. Наибольшее распространение получили томаты, капуста, лук, огурцы, баклажаны, морковь, сладкий перец и салат.

Лидером мирового производства овощей является Китай, на долю которого приходится 67 % от общего объёма. Второе место занимает Индия с 14 %, а третье – США с 4 %.

Россия располагается на седьмом месте в глобальном рейтинге производителей овощей, уступая Турции, Ирану и Египту. Объём её производства составляет 16,1 млн тонн, что соответствует 1,8 % мирового урожая [4, 6].

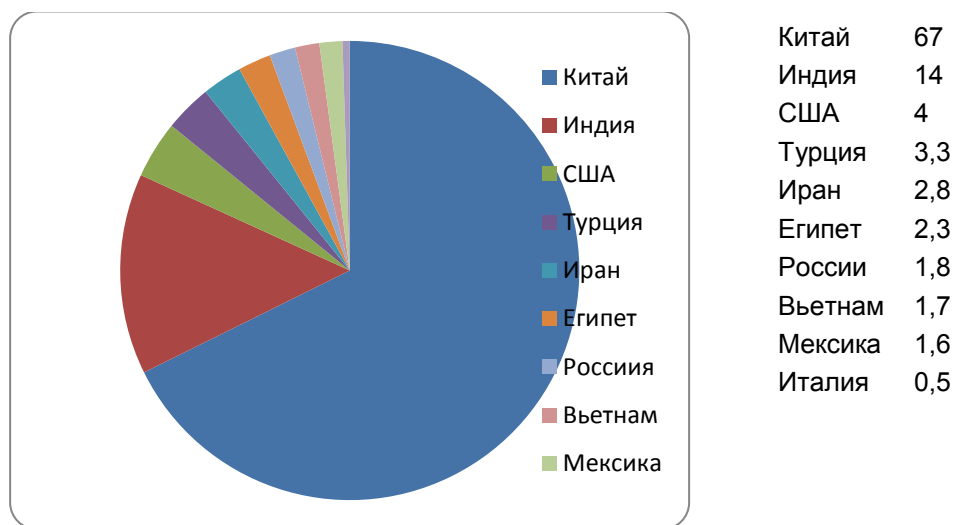


Рисунок 1 – Диаграмма по объёму мирового производства овощей
Figure 1 – Diagram of the volume of world vegetable production

Согласно данным Министерства сельского хозяйства РФ, в 2024 году в стране продолжается рост производства овощей. В организованном секторе уже собрано более 3,3 млн тонн овощей открытого грунта — это на 17,8 тыс. тонн больше, чем за аналогичный период 2023 года.

Лидерами по выращиванию грунтовых овощей традиционно выступают Астраханская и Волгоградская области, Московская область, Краснодарский край, а также Кабардино-Балкарская Республика [7, 8].

Что касается защищённого грунта, то объём производства тепличных овощей в этом году остался на уровне прошлого и составил около 1,2 млн тонн. В их структуре урожай огурцов достиг 641,9 тыс. тонн, а томатов – 498,7 тыс. тонн.

В 2024 году Волгоградская область установила новый рекорд по сбору овощей. По данным ведомства, в прошлом году сельхозпроизводители региона собрали максимальный за всю историю наблюдений урожай как в открытом, так и в защищенном грунте. Общий объем производства овощей превысил показатель аналогичного периода предыдущего года более чем на 5 % и составил 1 186,2 тыс. тонн [9].

Основными зарубежными поставщиками капусты в Россию являются Китай и Иран, на которые приходится около 84 % всего импорта этой культуры.

В мировом масштабе площади под капустой составляют 2,45 млн гектаров, а средняя урожайность – 29,23 тонны с гектара. Лидерами по объемам производства капусты выступают Китай (более 32 млн тонн), Индия и Южная Корея. Капуста является одной из важнейших овощных культур в Нижнем Поволжье, занимая около 30 % от общей площади овощных посевов. Фермеры региона преимущественно выращивают белокочанную капусту на площади около 840 га, при этом урожайность не превышает 30,4 т/га. Для повышения урожайности и качества продукции необходимо проведение исследований, направленных на оптимизацию агротехнических приемов.

При производстве овощной продукции значительную роль в повышении его эффективности играют современные технические средства орошения и технологии их применения [10, 11]. Не меньшее значение сегодня придается и использованию цифровых технологий [17].

Материалы и методы. Полевые исследования проводились в 2013-2015 гг. в фермерском хозяйстве «С. П. Павлова», расположенном в Суровикинском районе Волгоградской области. Почвы опытного участка каштановые, типичные для данного региона, по гранулометрическому составу среднесуглинистые.

Фактор А: Система основной и предпосадочной подготовки почвы

В рамках исследования были изучены три варианта подготовки почвы к высадке рассады белокочанной капусты:

- **Вариант А1 (контроль)** – традиционная система подготовки, включающая дискование, отвальную обработку (вспашку), боронование и предпосадочную культивацию.
- **Вариант А2** – предлагаемая система подготовки, включающая дискование, отвальную обработку (вспашку), боронование и предпосадочное фрезерование.
- **Вариант А3** – предлагаемая система подготовки, включающая двойное дискование зяби, боронование, объемное полосное рыхление и предпосадочное фрезерование.

Фактор В: Водный режим почвы

Для изучения влияния водного режима почвы на урожайность белокочанной капусты были рассмотрены три уровня поддержания предполивной влажности почвы с использованием системы капельного полива:

- **Вариант В1** – дифференцированный порог предполивной влажности почвы на уровне 80-70 % НВ: 80 % НВ – в период от высадки рассады до фазы образования кочана; 70 % НВ – далее до наступления фазы технической спелости.
- **Вариант В2** – постоянный порог предполивной влажности почвы на уровне 80 % НВ.
- **Вариант В3** – дифференцированный порог предполивной влажности почвы на уровне 80-90 % НВ: 80 % НВ – в период от высадки рассады до фазы образования кочана; 90 % НВ – далее до наступления фазы технической спелости.

Фактор С: Уровень минерального питания

На каждом из вариантов по изучению водного режима почвы были заложены исследования по дозам внесения минеральных удобрений:

- **Вариант С1** – внесение расчетной дозы минеральных удобрений $N_{155}P_{70}K_{40}$ на планируемую урожайность 80 т/га.
- **Вариант С2** – внесение расчетной дозы минеральных удобрений $N_{220}P_{100}K_{150}$ на планируемую урожайность 100 т/га.
- **Вариант С3** – внесение расчетной дозы минеральных удобрений $N_{285}P_{130}K_{260}$ на планируемую урожайность 120 т/га.

Таким образом, полевые исследования в фермерском хозяйстве «С. П. Павлова» позволили изучить влияние различных факторов на урожайность белокочанной капусты, что может быть использовано для оптимизации агротехнических мероприятий и повышения эффективности сельскохозяйственного производства.

Схема опыта

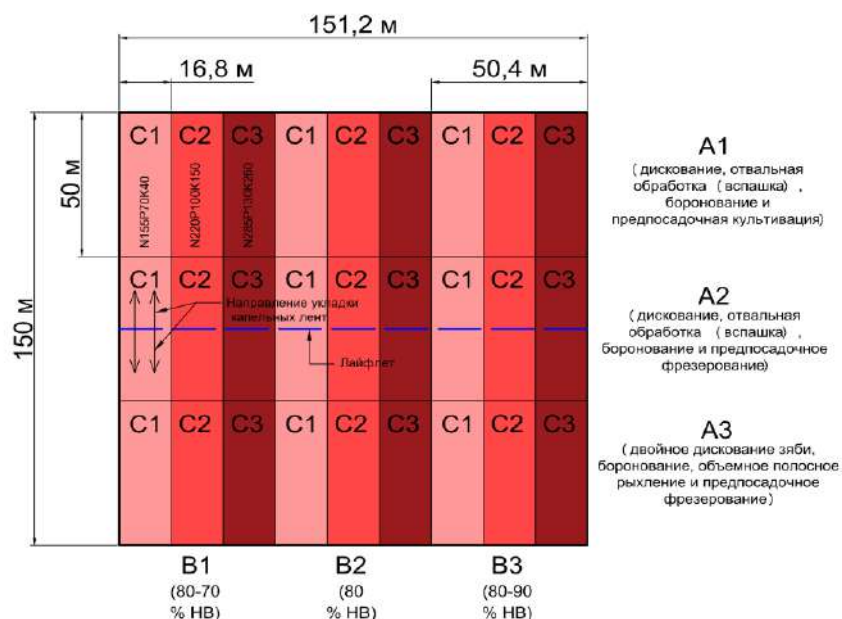


Рисунок 2 – Схема опыта
Figure 2 – Experimental scheme

Общая характеристика опытного участка

Опытный участок, на котором проводились исследования, имел общую площадь 2 га. Учетная площадь единичных делянок составляла 150 м². Исследования проводились на посевах белокочанной капусты гибрида Валентина F1.

Методика закладки опытов

Опыты закладывались методом расщепленных делянок. Форма и направление делянок, а также размеры защитных полос принимались в соответствии с требованиями общепринятых методик. По площади земельного участка опыт закладывался методом расщепленных делянок. Варианты водного режима почвы и режима минерального питания располагались поперек опытного участка.

Расчет доз внесения минеральных удобрений

Дозы внесения минеральных удобрений по вариантам опыта рассчитывали по общепринятой методике методом элементарного баланса. Для расчета доз удобрений учитывали следующие факторы:

- Планируемая урожайность капусты, позволяющая с учетом химического состава продукции рассчитывать вынос питательных веществ.
- Биологические особенности капусты и ее химический состав, что обуславливает динамику потребления и вынос элементов минерального питания растениями в расчете на единицу основной продукции.
- Содержание подвижных форм элементов минерального питания в почве, по которому определяли степень ее обеспеченности азотом, фосфором и калием, что необходимо для дифференциации расчетных доз удобрений.

Условия проведения опытов

По всем вариантам опыта почвы, рельеф, гидрологические условия были одинаковыми. Для исключения влияния почвенных разностей опыты закладывались в четырехкратной повторности. Размещение вариантов в пределах фактора А было рандомизированным.

Система орошения

Для орошения использовали систему капельного орошения «НЕТАФИМ» со встроенными через 0,4 м капельницами полукомпенсированного типа с расходом воды 1,6 л/с.

Таким образом, проведенные исследования позволили получить достоверные данные о влиянии различных факторов на урожайность белокочанной капусты гибрида Валентина F1.

Результаты и обсуждение. Влияние погодных условий и агротехнических приемов на урожайность белокочанной капусты. При формировании водного режима почвы необходимо учитывать погодные условия в годы проведения полевых опытов. В данной работе представлены результаты исследований, проведенных с 2013 по 2015 гг., в ходе которых изучалось влияние различных систем основной и предпосадочной подготовки почвы, режимов орошения и доз минеральных удобрений на урожайность белокочанной капусты.

Метеоусловия. В 2013 г. атмосферные осадки за вегетацию составили 288,3 мм, что характеризует этот год как влажный. В 2014 г. осадки составили всего 64,2 мм, что позволяет охарактеризовать этот год как засушливый. В 2015 г. осадки составили 81 мм, что соответствует средне засушливому году.

Системы основной и предпосадочной подготовки почвы. Рассадку высаживали в 2013 г. 30 мая, а в 2014 и 2015 гг. – 1 июня. Минеральные удобрения вносили с помощью фертигации (внесение с поливной водой). При этом использовали только хорошо растворимые в воде удобрения, распределяя их количество по периодам выращивания.

Результаты исследований. В 2013 г. наименьшая урожайность капусты белокочанной была получена на первой системе основной и предпосадочной подготовки почвы при поддержании порога предполивной влажности на уровне 80-70 % НВ и внесении минеральных удобрений дозой $N_{155}P_{70}K_{40}$. Урожайность составила 72,0 т/га. Использование второй системы основной и предпосадочной подготовки почвы увеличивало урожайность на 7,9 % (72,0 т/га). Применение третьей системы основной и предпосадочной подготовки почвы увеличивало урожайность на 12,6 % (81,1 т/га).

Применение режима орошения при поддержании порога предполивной влажности на уровне 80-80 % НВ на первой системе основной и предпосадочной подготовки почвы с внесением минеральных удобрений дозой $N_{155}P_{70}K_{40}$ увеличивало урожайность капусты белокочанной по сравнению с минимальным значением на 9,3 % (78,7 т/га). Применение режима орошения при поддержании порога предполивной влажности на уровне 80-90 % НВ на первой системе основной и предпосадочной подготовки почвы с внесением минеральных удобрений дозой $N_{155}P_{70}K_{40}$ увеличивало урожайность капусты белокочанной по сравнению с минимальным значением на 7,8 % (77,6 т/га).

В процессе агрономических испытаний было установлено, что использование системы орошения во второй технологии подготовки почвы (основной и предпосадочной обработки) при поддержании уровня предполивной влажности в диапазоне 80-90 % от наименьшей влагоёмкости, в сочетании с внесением минеральных удобрений в дозировке $N_{155}P_{70}K_{40}$, привело к заметному повышению урожайности белокочанной капусты. По сравнению с базовым показателем урожай увеличился на 11,9 %, достигнув значения 80,6 тонн с гектара.

Применение режима орошения при поддержании порога предполивной влажности на уровне 80-80 % НВ на третьей системе основной и предпосадочной подготовки почвы с внесением минеральных удобрений дозой $N_{155}P_{70}K_{40}$ увеличивало урожайность капусты белокочанной по сравнению с минимальным значением на 13,6 % и равнялась 81,8 т/га.

При проведении основной и предпосадочной обработки почвы с использованием системы орошения, где поддерживался уровень предполивной влажности в диапазоне 80-90 % от наименьшей влагоёмкости, и при внесении минеральных удобрений в дозировке $N_{155}P_{70}K_{40}$ удалось достичь значительного повышения урожайности белокочанной капусты. По сравнению с минимальным показателем урожай вырос на 14,7 % и составил 82,6 тонн с гектара.

Увеличение дозы минеральных удобрений до $N_{220}P_{100}K_{150}$ на первой системе основной и предпосадочной подготовки почвы увеличивало урожайность капусты белокочанной на 11,9-18,5 %. Увеличение дозы минеральных удобрений до $N_{220}P_{100}K_{150}$ на второй системе основной и предпосадочной подготовки почвы увеличивало урожайность капусты белокочанной на 23,2-28,1 %. При повышении нормы внесения минеральных удобрений до показателя $N_{220}P_{100}K_{150}$ в рамках третьей системы подготовки почвы (включая основную и предпосадочную обработку) наблюдался существенный рост урожайности белокочанной капусты. Увеличение составило от 21,6 % до 25,1 % по сравнению с базовым показателем.

Увеличение дозы минеральных удобрений до $N_{285}P_{130}K_{260}$ на первой системе основной и предпосадочной подготовки почвы увеличивало урожайность капусты белокочанной на 18,3-21,7 %. Увеличение дозы минеральных удобрений до $N_{285}P_{130}K_{260}$ на второй системе основной и предпосадочной подготовки почвы увеличивало урожайность капусты бело-

кочанной на 29,6-50,9 %. Увеличение дозы минеральных удобрений до $N_{285}P_{130}K_{260}$ на третьей системе основной и предпосадочной подготовки почвы увеличивало урожайность капусты белокочанной на 28,5-46,4 %.

Наибольшая урожайность капусты белокочанной в 2013 году получена на третьей системе основной и предпосадочной подготовки почвы при поддержании порога предполивной влажности на уровне 80-80 % НВ и с внесением минеральных удобрений дозой $N_{285}P_{130}K_{260}$ и что оказалось на 66,4 % и равнялась 119,8 т/га, что являлось выше минимального значения урожайности капусты белокочанной, полученной на первой системе основной и предпосадочной подготовки почвы при поддержании порога предполивной влажности на уровне 80-70 % НВ и с внесением минеральных удобрений дозой $N_{155}P_{70}K_{40}$.

В 2014 году наименьшая урожайность капусты белокочанной получена также на первой системе основной и предпосадочной подготовки почвы при поддержании порога предполивной влажности на уровне 80-70 % НВ и внесением минеральных удобрений дозой $N_{155}P_{70}K_{40}$ и равнялась 76,8 т/га, что оказалось на 4,8 т/га, или на 6,7 % больше, чем в 2013 году. Использование второй системы основной и предпосадочной подготовки почвы увеличивало урожайность при поддержании порога предполивной влажности на уровне 80-70 % НВ и внесением минеральных удобрений дозой $N_{155}P_{70}K_{40}$ на 7,4 % и равнялась 82,5 т/га. Использование третьей системы основной и предпосадочной подготовки почвы увеличивало урожайность при поддержании порога предполивной влажности на уровне 80-70 % НВ и внесением минеральных удобрений дозой $N_{155}P_{70}K_{40}$ на 11,8 % и равнялась 85,9 т/га.

В ходе исследований было установлено, что использование системы орошения с поддержанием предполивного уровня влажности на отметке 80 % от наименьшей влагоёмкости в рамках первой технологии подготовки почвы (основной и предпосадочной обработки) в сочетании с внесением минеральных удобрений в дозировке $N_{155}P_{70}K_{40}$ позволило существенно повысить урожайность белокочанной капусты. По сравнению с контрольным показателем урожай увеличился на 8,7 %, достигнув показателя 83,5 тонн с одного гектара.

При использовании оросительной системы на второй технологии подготовки почвы: основной и предпосадочной обработки с поддержанием уровня предполивной влажности на отметке 80 % от наименьшей влагоёмкости и с внесением минеральных удобрений в норме $N_{155}P_{70}K_{40}$ удалось добиться заметного роста урожайности белокочанной капусты. По сравнению с минимальным показателем урожай увеличился на 7,3 %, при этом составив 82,4 тонны с гектара.

Применение режима орошения при поддержании порога предполивной влажности на уровне 80-90 % НВ на второй системе основной и предпосадочной подготовки почвы с внесением минеральных удобрений дозой $N_{155}P_{70}K_{40}$ увеличивало урожайность капусты белокочанной по сравнению с минимальным значением на 11,2 % и равнялась 85,4 т/га.

В ходе экспериментальных исследований было выявлено, что при использовании системы орошения на третьей технологии подготовки почвы (основной и предпосадочной обработки) с поддержанием уровня предполивной влажности на отметке 80 % от наименьшей влагоёмкости и внесением минеральных удобрений в дозировке $N_{155}P_{70}K_{40}$ наблюдался прирост урожайности белокочанной капусты. Увеличение составило 12,8 %, а итоговый показатель достиг 86,6 тонн с гектара.

При аналогичном подходе к обработке почвы, но с повышением уровня влажности до 80-90 % от наименьшей влагоёмкости, при той же норме удобрений $N_{155}P_{70}K_{40}$, урожайность возросла на 13,8 % и достигла 87,4 тонны с гектара.

Увеличение дозы минеральных удобрений до $N_{220}P_{100}K_{150}$ на первой системе основной и предпосадочной подготовки почвы увеличивало урожайность капусты белокочанной на 11,2-17,3 %. Увеличение дозы минеральных удобрений до $N_{220}P_{100}K_{150}$ на второй системе основной и предпосадочной подготовки почвы увеличивало урожайность капусты белокочанной на 21,9-26,5 %. Увеличение дозы минеральных удобрений до $N_{220}P_{100}K_{150}$ на третьей системе основной и предпосадочной подготовки почвы увеличивало урожайность капусты белокочанной на 20,4-23,7 %.

Увеличение дозы минеральных удобрений до $N_{285}P_{130}K_{260}$ на первой системе основной и предпосадочной подготовки почвы увеличивало урожайность капусты белокочанной на 17,2-20,3 %. Увеличение дозы минеральных удобрений до $N_{285}P_{130}K_{260}$ на второй системе основной и предпосадочной подготовки почвы увеличивало урожайность капусты бело-

кочанной на 27,9-47,9 %. Увеличение дозы минеральных удобрений до $N_{285}P_{130}K_{260}$ на третьей системе основной и предпосадочной подготовки почвы увеличивало урожайность капусты белокочанной на 26,9-43,9 %.

Наибольшая урожайность капусты белокочанной в 2014 году получена на третьей системе основной и предпосадочной подготовки почвы при поддержании порога предполивной влажности на уровне 80-80 % НВ и внесением минеральных удобрений дозой $N_{285}P_{130}K_{260}$ и равнялась 124,6 т/га, что оказалось на 62,2 % выше минимального значения урожая.

Таким образом, результаты исследований показывают, что применение различных систем основной и предпосадочной подготовки почвы, режимов орошения и доз минеральных удобрений оказывает значительное влияние на урожайность белокочанной капусты. Оптимизация этих факторов позволяет существенно повысить продуктивность агроценоза и обеспечить стабильные урожаи даже в условиях изменчивых погодных условий.

В ходе исследований были получены следующие результаты по влиянию орошения и удобрений на урожайность белокочанной капусты. При первой системе обработки почвы: при уровне влажности 80-90 % НВ и дозе $N_{155}P_{70}K_{40}$ урожайность увеличилась на 10,7 %, достигнув 83,6 т/га. При повышении дозы удобрений до $N_{220}P_{100}K_{150}$ рост урожайности составил 11,1-12,2 %.

При второй системе обработки почвы при влажности 80 % НВ и дозе $N_{155}P_{70}K_{40}$ урожайность также выросла на 10,7 % до 83,6 т/га. При влажности 80-90 % НВ и том же минеральном питании рост составил 11,1 %, урожай – 86,6 т/га.

Увеличение дозы удобрений до $N_{220}P_{100}K_{150}$ дало прирост 21,6-26,1 %

При третьей системе обработки почвы при влажности 80 % НВ и дозе $N_{155}P_{70}K_{40}$ урожайность повысилась на 11,2 % до 87,8 т/га. При влажности 80-90 % НВ и тех же удобрениях рост составил 11,4 %, а урожай – 88,6 т/га. Увеличение дозы удобрений до $N_{220}P_{100}K_{150}$ обеспечило прирост 20,1-23,3 %.

Таким образом, видно, что как режим орошения, так и дозировка удобрений существенно влияют на конечный результат, причём эффективность этих факторов зависит от выбранной системы подготовки почвы. [16].

Увеличение дозы минеральных удобрений до $N_{285}P_{130}K_{260}$ на первой системе основной и предпосадочной подготовки почвы увеличивало урожайность капусты белокочанной на 17,0-20,0 %. Увеличение дозы минеральных удобрений до $N_{285}P_{130}K_{260}$ на второй системе основной и предпосадочной подготовки почвы увеличивало урожайность капусты белокочанной на 27,5-47,2 %. Увеличение дозы минеральных удобрений до $N_{285}P_{130}K_{260}$ на третьей системе основной и предпосадочной подготовки почвы увеличивало урожайность капусты белокочанной на 26,5-41,9 %.

Наибольшая урожайность капусты белокочанной в 2015 году получена на третьей системе основной и предпосадочной подготовки почвы при поддержании порога предполивной влажности на уровне 80-80 % НВ и с внесением минеральных удобрений дозой $N_{285}P_{130}K_{260}$ и равнялась 125,8 т/га, что оказалось на 61,3 % выше минимального значения урожайности капусты белокочанной, полученной на первой системе основной и предпосадочной подготовки почвы при поддержании порога предполивной влажности на уровне 80-70 % НВ и с внесением минеральных удобрений дозой $N_{155}P_{70}K_{40}$, что оказалось на 6,0 т/га, или на 5,0 % выше по сравнению с 2013 годом и на 1,2 т/га, или на 0,9 % выше по сравнению с 2014 годом.

В среднем за 2013-2015 годы наименьшая урожайность капусты белокочанной получена также на первой системе основной и предпосадочной подготовки почвы при поддержании порога предполивной влажности на уровне 80-70 % НВ и с внесением минеральных удобрений дозой $N_{155}P_{70}K_{40}$ и равнялась 75,6 т/га. Использование второй системы основной и предпосадочной подготовки почвы увеличивало урожайность при поддержании порога предполивной влажности на уровне 80-70 % НВ и с внесением минеральных удобрений дозой $N_{155}P_{70}K_{40}$ на 7,5 % и равнялась 81,3 т/га. Использование третьей системы основной и предпосадочной подготовки почвы увеличивало урожайность при поддержании порога предполивной влажности на уровне 80-70 % НВ и с внесением минеральных удобрений дозой $N_{155}P_{70}K_{40}$ на 12,0 % и равнялась 84,7 т/га.

Применение режима орошения при поддержании порога предполивной влажности на уровне 80-80 % НВ на первой системе основной и предпосадочной подготовки почвы с внесением минеральных удобрений дозой $N_{155}P_{70}K_{40}$ увеличивало урожайность капусты белокочанной по сравнению с минимальным значением на 8,9 % и равнялась 82,3 т/га.

Применение режима орошения при поддержании порога предполивной влажности на уровне 80-90 % НВ на первой системе основной и предпосадочной подготовки почвы с внесением минеральных удобрений дозой $N_{155}P_{70}K_{40}$ увеличивало урожайность капусты белокочанной по сравнению с минимальным значением на 7,4 % и равнялась 81,2 т/га.

Применение режима орошения при поддержании порога предполивной влажности на уровне 80-80 % НВ на второй системе основной и предпосадочной подготовки почвы с внесением минеральных удобрений дозой $N_{155}P_{70}K_{40}$ увеличивало урожайность капусты белокочанной по сравнению с минимальным значением также на 7,4 % и равнялась 81,2 т/га.

Применение режима орошения при поддержании порога предполивной влажности на уровне 80-90 % НВ на второй системе основной и предпосадочной подготовки почвы с внесением минеральных удобрений дозой $N_{155}P_{70}K_{40}$ увеличивало урожайность капусты белокочанной по сравнению с минимальным значением на 11,4 % и равнялась 84,2 т/га.

При поддержании порога предполивной влажности на уровне 80-80 % НВ на третьей системе основной и предпосадочной подготовки почвы с внесением минеральных удобрений дозой $N_{155}P_{70}K_{40}$ увеличивало урожайность капусты белокочанной по сравнению с минимальным значением на 13,0 % и равнялась 85,4 т/га.

Применение режима орошения при поддержании порога предполивной влажности на уровне 80-90 % НВ на третьей системе основной и предпосадочной подготовки почвы с внесением минеральных удобрений дозой $N_{155}P_{70}K_{40}$ увеличивало урожайность капусты белокочанной по сравнению с минимальным значением на 14,0 % и равнялась 86,2 т/га.

Влияние доз минеральных удобрений на урожайность белокочанной капусты

Белокочанная капуста является одной из важнейших овощных культур, выращиваемых в России. Ее урожайность напрямую зависит от качества почвы и уровня обеспеченности растений необходимыми элементами питания. В данной работе изучено влияние различных доз минеральных удобрений на урожайность белокочанной капусты при различных системах основной и предпосадочной подготовки почвы.

Первая система основной и предпосадочной подготовки почвы

При первой системе основной и предпосадочной подготовки почвы увеличение дозы минеральных удобрений до $N_{220}P_{100}K_{150}$ приводило к увеличению урожайности капусты белокочанной на 11,4-17,6 %. При увеличении дозы удобрений до $N_{285}P_{130}K_{260}$ урожайность увеличивалась на 17,5-20,6 %.

Вторая система основной и предпосадочной подготовки почвы

При второй системе основной и предпосадочной подготовки почвы увеличение дозы минеральных удобрений до $N_{220}P_{100}K_{150}$ приводило к увеличению урожайности капусты белокочанной на 22,2-26,8 %. При увеличении дозы удобрений до $N_{285}P_{130}K_{260}$ урожайность увеличивалась на 28,3-48,6 %.

Третья система основной и предпосадочной подготовки почвы

При третьей системе основной и предпосадочной подготовки почвы увеличение дозы минеральных удобрений до $N_{220}P_{100}K_{150}$ приводило к увеличению урожайности капусты белокочанной на 20,7-24,0 %. При увеличении дозы удобрений до $N_{285}P_{130}K_{260}$ урожайность увеличивалась на 27,3-44,5 %.

Таким образом, увеличение дозы минеральных удобрений оказывает значительное влияние на урожайность белокочанной капусты. При этом эффективность удобрений зависит от системы основной и предпосадочной подготовки почвы. Наибольший эффект достигается при использовании второй системы основной и предпосадочной подготовки почвы и увеличении дозы удобрений до $N_{285}P_{130}K_{260}$. Это позволяет увеличить урожайность капусты белокочанной на 28,3-48,6 %.

Таблица 1 – Урожайность капусты белокочанной, т/га
Table 1 – White cabbage yield, t/ha

Фактор А / Factor A	Фактор В / Factor B	Фактор С / Factor C	2013 г.	2014 г.	2015 г.	Среднее / Average
А1	80-70 % НВ	N ₁₅₅ P ₇₀ K ₄₀	72,0	76,8	78,0	75,6
		N ₂₂₀ P ₁₀₀ K ₁₅₀	85,3	90,1	91,3	88,9
		N ₂₈₅ P ₁₃₀ K ₂₆₀	87,6	92,4	93,6	91,2
	80-80 % НВ	N ₁₅₅ P ₇₀ K ₄₀	78,7	83,5	84,7	82,3
		N ₂₂₀ P ₁₀₀ K ₁₅₀	88,1	92,9	94,1	91,7
		N ₂₈₅ P ₁₃₀ K ₂₆₀	93,1	97,9	99,1	96,7
	80-90 % НВ	N ₁₅₅ P ₇₀ K ₄₀	77,6	82,4	83,6	81,2
		N ₂₂₀ P ₁₀₀ K ₁₅₀	87,8	92,6	93,8	91,4
		N ₂₈₅ P ₁₃₀ K ₂₆₀	93,5	98,3	99,5	97,1
А2	80-70 % НВ	N ₁₅₅ P ₇₀ K ₄₀	77,7	82,5	83,7	81,3
		N ₂₂₀ P ₁₀₀ K ₁₅₀	96,2	101,0	102,2	99,8
		N ₂₈₅ P ₁₃₀ K ₂₆₀	100,7	105,5	106,7	104,3
	80-80 % НВ	N ₁₅₅ P ₇₀ K ₄₀	77,6	82,4	83,6	81,2
		N ₂₂₀ P ₁₀₀ K ₁₅₀	99,4	104,2	105,4	103,0
		N ₂₈₅ P ₁₃₀ K ₂₆₀	117,1	121,9	123,1	120,7
	80-90 % НВ	N ₁₅₅ P ₇₀ K ₄₀	80,6	85,4	86,6	84,2
		N ₂₂₀ P ₁₀₀ K ₁₅₀	99,3	104,1	105,3	102,9
		N ₂₈₅ P ₁₃₀ K ₂₆₀	116,5	121,3	122,5	120,1
А3	80-70 % НВ	N ₁₅₅ P ₇₀ K ₄₀	81,1	85,9	87,1	84,7
		N ₂₂₀ P ₁₀₀ K ₁₅₀	98,6	103,4	104,6	102,2
		N ₂₈₅ P ₁₃₀ K ₂₆₀	104,2	109,0	110,2	107,8
	80-80 % НВ	N ₁₅₅ P ₇₀ K ₄₀	81,8	86,6	87,8	85,4
		N ₂₂₀ P ₁₀₀ K ₁₅₀	102,3	107,1	108,3	105,9
		N ₂₈₅ P ₁₃₀ K ₂₆₀	119,8	124,6	125,8	123,4
	80-90 % НВ	N ₁₅₅ P ₇₀ K ₄₀	82,6	87,4	88,6	86,2
		N ₂₂₀ P ₁₀₀ K ₁₅₀	101,8	106,6	107,8	105,4
		N ₂₈₅ P ₁₃₀ K ₂₆₀	119,7	124,5	125,7	123,3
НСП ₀₅ А			0,6	0,8	0,8	
	НСП ₀₅ В		1,4	1,8	1,6	
		НСП ₀₅ С	1,6	2,0	1,8	
НСП ₀₅ АВС			1,2	1,4	1,4	

Статистическая обработка данных урожайности капусты белокочанной поздней проводилась все годы проведения опыта с использованием специальной компьютерной программы Статистика 10 (рисунок 1).

Полученные данные по урожайности в зависимости от доз минеральных удобрений и предполивного порога влажности характеризуются как высокой теснотой связи.

$$Z = 49,7278 + 9,7337 \cdot 0,0954 \cdot y - 2,3 \cdot x^2 + 0,003 \cdot x \cdot y - 7,0196 \cdot 5 \cdot y^2$$

$$R^2 = 0,74$$

где **z** – урожайность; **x** – уровень минерального питания; **y** – уровень предполивной влажности почвы % НВ.

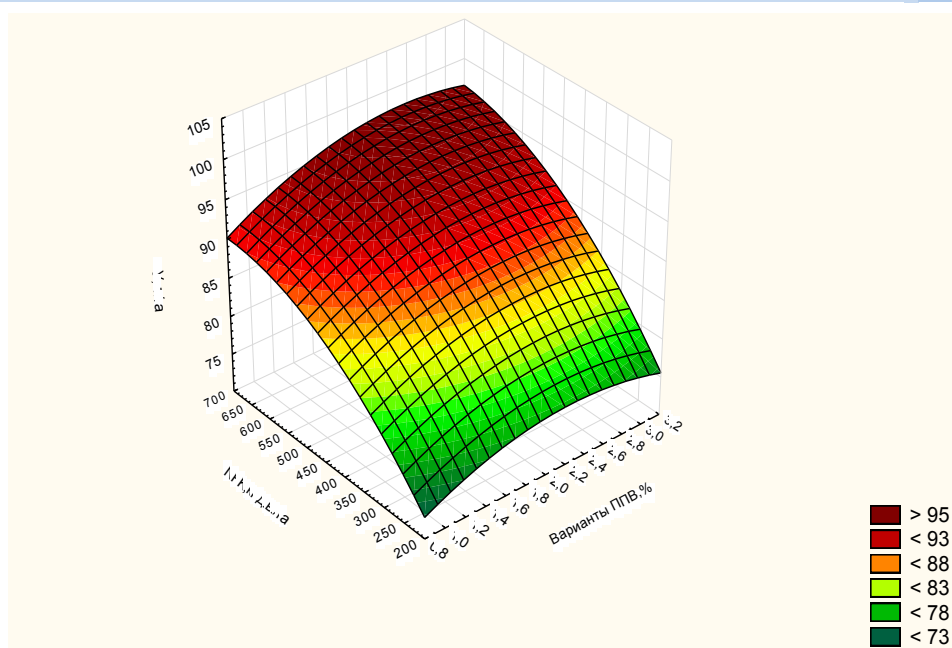


Рисунок 3 – График зависимости урожайности от уровня предполивной влажности почвы и различных доз минеральных удобрений

Figure 3 – Graph of the dependence of crop yield on the level of pre-irrigation soil moisture and various doses of mineral fertilizers

По данным графика видно, что наибольшая урожайность капусты белокочанной получена при поддержании порога предполивной влажности на уровне 80-80 % НВ и с внесением минеральных удобрений дозой N₂₈₅P₁₃₀K₂₆₀ и равнялась 123,4 т/га, что оказалось на 63,2 % выше минимального значения урожайности капусты белокочанной, при поддержании порога предполивной влажности на уровне 80-70 % НВ и с внесением минеральных удобрений дозой N₁₅₅P₇₀K₄₀.

$$Z = 49,7944 + 13,7077 \cdot x + 0,0924 \cdot y - 4,1444 \cdot x^2 + 0,0213 \cdot x \cdot y - 7,3633 \cdot 10^{-5} \cdot y^2$$

$$R^2 = 0,82$$

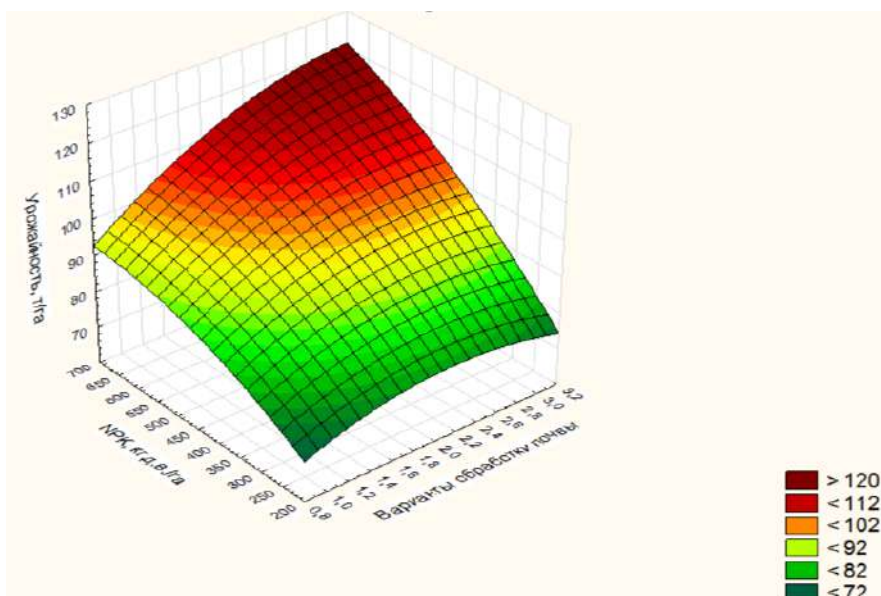


Рисунок 4 – График зависимости урожайности от вариантов обработки почв и различных доз минеральных удобрений

Figure 4 – Graph of the dependence of crop yield on soil cultivation options and different doses of mineral fertilizers

Исследуя график, можно отметить что в 2013 году наименьшая существенная разность по фактору А – система основной и предпосадочной подготовки почвы равнялась 0,6 т/га. Наименьшая существенная разность по фактору В – уровни поддержания предполивной влажности почвы с использованием системы капельного орошения равнялась 1,4 т/га. Наименьшая разность по минеральному равнялась 1,6 т/га. По совокупности факторов 1,2 т/га. Таким образом, все значения урожайности капусты белокочанной поздней не выходили за пределы границ ошибки опыта. В 2014 году наименьшая существенная разность по фактору А – система основной и предпосадочной подготовки почвы равнялась 0,8 т/га. Наименьшая существенная разность по фактору В – уровни поддержания предполивной влажности почвы с использованием системы капельного орошения) равнялась 1,8 т/га. Наименьшая разность по фактору С – внесение расчетной дозы минеральных удобрений равнялась 2,0 т/га. По совокупности факторов 1,4 т/га. Таким образом, все значения урожайности капусты белокочанной поздней не выходили за пределы границ ошибки опыта. В 2015 году наименьшая существенная разность по фактору А – система основной и предпосадочной подготовки почвы равнялась 0,8 т/га. Наименьшая существенная разность по фактору В – уровни поддержания предполивной влажности почвы с использованием системы капельного орошения равнялась 1,6 т/га. Наименьшая существенная разность по фактору С – внесение расчетной дозы минеральных удобрений равнялась 1,8 т/га. По совокупности факторов 1,4 т/га. Таким образом, все значения урожайности капусты белокочанной поздней не выходили за пределы границ ошибки опыта. В результате было установлено, что все данные полученные в опыте достоверны.

Заключение. Наибольшая урожайность белокочанной капусты была достигнута при использовании третьей системы основной и предпосадочной подготовки почвы. В рамках данной системы поддерживался порог предполивной влажности на уровне 80-80 % НВ, а минеральные удобрения вносились в дозировке $N_{285}P_{130}K_{260}$. В результате урожайность составила 123,4 т/га, что на 63,2 % выше минимального значения, полученного на первой системе подготовки почвы с порогом предполивной влажности 80-70 % НВ и дозировкой минеральных удобрений $N_{155}P_{70}K_{40}$. Таким образом, оптимизация агротехнических мероприятий, включающая тщательную подготовку почвы и сбалансированное внесение удобрений, позволяет значительно повысить урожайность белокочанной капусты. Это подчеркивает важность комплексного подхода к агротехническим мероприятиям, который включает не только механическую обработку почвы, но и точное регулирование влажности и дозировку удобрений. Данные результаты могут быть использованы для разработки рекомендаций по повышению урожайности белокочанной капусты в различных регионах с учетом местных почвенно-климатических условий.

Conclusions. The highest yield of white cabbage was achieved using the third system of basic and pre-planting soil preparation. Within the framework of this system, the threshold of pre-irrigation humidity was maintained at 80-80% HB, and mineral fertilizers were applied in a dosage of $N_{285}P_{130}K_{260}$. As a result, the yield was 123.4 t/ha, which is 63.2% higher than the minimum value obtained in the first soil preparation system with a pre-watering moisture threshold of 80-70 % HB and the dosage of mineral fertilizers $N_{155}P_{70}K_{40}$. Thus, optimization of agrotechnical measures, including careful soil preparation and balanced fertilization, can significantly increase the yield of white cabbage. This highlights the importance of an integrated approach to agricultural measures, which includes not only mechanical tillage, but also precise moisture control and fertilizer dosage. These results can be used to develop recommendations for increasing the yield of white cabbage in various regions, taking into account local soil and climatic conditions.

Библиографический список

1. Анишко М. Ю., Щепотько Н. А. Влияние фотосинтетической деятельности на урожайность белокочанной капусты при капельном орошении на светло-каштановых почвах Волгоградской области. Проблемы развития АПК региона. 2023. № 3(55). С. 6-13.
2. Анишко М. Ю., Щепотько Н. А., Соловьев А. В. Оптимальная продуктивность белокочанной капусты в зависимости от обработки почвы, воздействия водных и минеральных факторов в Нижнем Поволжье. Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2024. № 2 (60). С. 26-30.
3. Ахмедов А. Д., Кравцов А. А. Влияние режима орошения и минерального питания на урожайность капусты при капельном орошении. Овощеводство и тепличное хоз-во. 2015. № 10. С. 47-50.
4. Бабичев А. Н., Котляров Д. Ю., Бабенко А. А. Продуктивность капусты белокочанной в зависимости от режима орошения при капельном способе полива. Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2023. № 1 (89). С. 188-195.
5. Бородычев В. В., Щепотько Н. А. Водный режим почвы и продуктивность белокочанной капусты при капельном орошении. Научная жизнь. 2017. № 8. С. 42-51.
6. Бухаров А. Ф., Петрищев А. В., Пронькин В. В. Влияние стартового развития высаженных маточников на продуктивность фотосинтеза и урожайность семенных растений капусты белокочанной. Альманах современной науки и образования. 2011. № 12. С. 74-76.

7. Гиш Р. А. Овощеводство открытого грунта юга России. Состояние и тенденции развития. Овощи России. 2021. № 4. С. 5-10.
8. Котов В. П., Адрицкая Н. А., Завьялова Т. И. Биологические основы получения высоких урожаев овощных культур. СПб.: Лань, 2022. 128 с.
9. Максаев А. А. и др. Место отрасли овощеводства в организационно-экономической сфере логистики при формировании продовольственных ресурсов. Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики. 2021. № 4. С. 114-121.
10. Овчинников А. С., Бочарников В. С., Бочарникова О. В. Регулирование водного и пищевого режимов почвы при капельном орошении в условиях Волгоградской области. Плодородие. 2012. № 3 (66). С. 35-36.
11. Овчинников А. С., Бочарников В. С., Мещеряков М. П. Совершенствование технических средств капельного и внутрипочвенного орошения. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2012. № 2 (26). С. 146-150.
12. Мусаев М. Р. и др. Оптимальный режим орошения – залог высоких урожаев капусты белокочанной. Известия Дагестанского ГАУ. 2019. № 1 (1). С. 160-164.
13. Пронько Н. И. Выращивание капусты белокочанной при капельном орошении на черноземе Южном Нижнего Поволжья. Основы рационального природопользования: сборник материалов V международной конференции. Саратов: ООО Издательский центр "Наука", 2016. С. 138-142.
14. Мусаев М. Р. и др. Разработка элементов технологии возделывания сортов и гибрида капусты белокочанной в условиях предгорной подпровинции Республики Дагестан. Известия Дагестанского ГАУ. 2019. № 1 (1). С. 152-156.
15. Хасаева З. М. Урожайность капусты белокочанной в зависимости от поливного режима в предгорной подпровинции Дагестана. Овощи России. 2019. № 5 (49). С. 46-51.
16. Щепотко Н. А., Анишко М. Ю. Влияние способов обработки почвы на продуктивность белокочанной капусты в Нижнем Поволжье. Проблемы развития АПК региона. 2023. № 3 (55). С. 91-97.
17. Popova L., Balashova N., Bocharnikov V., Ivanov V. Prospects for the Digitalization of Regional Agro-industrial Complex. Digital Future Economic Growth, Social Adaptation, and Technological Perspectives. Switzerland: Springer Nature, 2020. V. 111. Pp. 687-694.

References

1. Anishko M. Yu., Shchepotko N. A. The effect of photosynthetic activity on the yield of white cabbage during drip irrigation on light chestnut soils of the Volgograd region. Problems of agro-industrial complex development in the region. 2023. No 3 (55). Pp. 6-13.
2. Anishko M. Yu., Shchepotko N. A., Solovyov A. V. Optimal productivity of white cabbage depending on tillage, exposure to water and mineral factors in the Lower Volga region. Theoretical and applied problems of the agro-industrial complex. 2024. No 2 (60). Pp. 26-30.
3. Akhmedov A. D., Kravtsov A. A. Influence of irrigation regime and mineral nutrition on cabbage yield during drip irrigation. Vegetable growing and greenhouse industry. 2015. No 10. Pp. 47-50.
4. Babichev A. N., Kotlyarov D. Yu., Babenko A. A. Productivity of white cabbage depending on the irrigation regime with drip irrigation method. Ways to improve the efficiency of irrigated agriculture. 2023. No 1 (89). Pp. 188-195.
5. Borodychev V. V., Shchepotko N. A. Water regime of soil and productivity of white cabbage under drip irrigation. Scientific life. 2017. No 8. Pp. 42-51.
6. Bukharov A. F., Petrishchev A. V., Pronkin V. V. The effect of the initial development of planted queen cells on photosynthetic productivity and yield of white cabbage seed plants. The Almanac of Modern Science and Education. 2011. No 12. Pp. 74-76.
7. Gish R. A. Vegetable growing in the open ground of the South of Russia. Status and development trends. Vegetables of Russia. 2021. No 4. Pp. 5-10.
8. Kotov V. P., Adritskaya N. A., Zavialova T. I. Biological foundations of obtaining high yields of vegetable crops. St. Petersburg: Lan, 2022. 128 p.
9. Maksaev A. A. et al. The place of the vegetable growing industry in the organizational and economic sphere of logistics in the formation of food resources. Fundamental and applied research of the cooperative sector of the economy. 2021. No 4. Pp. 114-121.
10. Ovchinnikov A. S., Bocharnikov V. S., Bocharnikova O. V. Regulation of water and food regimes of soil during drip irrigation in the Volgograd region. Fertility. 2012. No 3 (66). Pp. 35-36.
11. Ovchinnikov A. S., Bocharnikov V. S., Meshcheryakov M. P. Improvement of technical means of drip and subsurface irrigation. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and higher professional education. 2012. No 2 (26). Pp. 146-150.
12. Musaev M. R. et al. The optimal irrigation regime is the key to high yields of white cabbage. Proceedings of the Dagestan State Agrarian University. 2019. No 1 (1). Pp. 160-164.
13. Pronko N. I. Cultivation of white cabbage with drip irrigation in the Southern chernozem of the Lower Volga region. Fundamentals of rational environmental management: collection of materials of the V International Conference. Saratov: OOO Publishing Center "Nauka", 2016. Pp. 138-142.
14. Musaev M. R. et al. Development of technology elements for cultivating varieties and hybrids of white cabbage in the conditions of the foothill sub-province of the Republic of Dagestan. Proceedings of the Dagestan SAU. 2019. № 1 (1). Pp. 152-156.
15. Khasaeva Z. M. White cabbage yield depending on the irrigation regime in the foothill sub-province of Dagestan. Vegetables of Russia. 2019. No 5 (49). Pp. 46-51.
16. Shchepotko N. A., Anishko M. Yu. The influence of tillage methods on the productivity of white cabbage in the Lower Volga region. Problems of agro-industrial complex development in the region. 2023. No 3 (55). Pp. 91-97.
17. Popova L., Balashova N., Bocharnikov V., Ivanov V. Prospects for the Digitalization of Regional Agro-industrial Complex. Digital Future Economic Growth, Social Adaptation, and Technological Perspectives. Switzerland: Springer Nature, 2020. V. 111. Pp. 687-694.

Информация об авторах

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

Кружилин Иван Пантелеевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, ВНИИОЗ – филиал ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9), e-mail: vniiioz@yandex.ru

Бочарникова Олеся Владимировна, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: olesya.bocharnikova@mail.ru

Authors' Information

Shchepotko Natalia Aleksandrovna, teacher, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: schepotko.n@yandex.ru

Kruzhilin Ivan Panteleevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev St., 9), e-mail: vniiioz@yandex.ru

Bocharnikova Olesya Vladimirovna, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: olesya.bocharnikova@mail.ru

**ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ /
ANIMAL SCIENCE AND VETERINARY MEDICINE**

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-34

**THE EFFECT OF THE DIFFERENT DOSES OF A NEW CARBOHYDRATE-PREBIOTIC FEED
ADDITIVE ON THE HEMATOLOGICAL PARAMETERS AND IMMUNOGLOBULIN PROFILE
OF THE BROILER CHICKENS****Slozhenkina M. I., Gorlov I. F., Khoroshevskaya L. V., Mosolova N. I., Anisimova E. Yu.,
Grishin V. S., Lazareva E. Yu.***Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author: niimmp@mail.ru

Received 26.09.2025

Submitted 28.10.2025

The research was carried out within the Grant RSF № 25-16-00303 NIIMMP.**Abstract**

Introduction. In meat poultry industry still stay a hot problem of high mortality of birds due to intensive broiler farming. An integrated approach to preventing metabolic disorders is requiring, included the creation and use of feed supplements that normalizing the metabolism, stimulating the immune system, and improving the overall health of chicks. At a time when a ban was imposed on an antibiotics usage in animal feeds among the European countries and most countries of the world, the search for safer replacements with the same or better effects on animal production than antibiotics has been started. Prebiotics have become an effective alternative. The biochemical indices of blood and hematological parameters are important markers in poultry clinical diagnosis. The level of serum immunoglobulins also reflects the immune response of the birds. **Object.** This study was conducted to investigate the effects of different levels of a new carbohydrate-prebiotic feed complex supplemented in the diet of broiler chickens (Cobb 500) in poultry industry. The efficiency of the tested dietary supplementation has been scientifically justified and confirmed in the experience: an increase of hematological parameters, intensification of protein metabolism, and improvement of the immunoglobulin profile have been found. **Materials and methods.** A total of 400 1-day-old male broilers were randomly divided into 4 groups (100 chicks in each): a control group (basal diet), and diets supplemented with CPFC at 3, 5 and 7 g per kg diet. **Results and conclusions.** The results showed that the supplementation of 5 grams per kilogram of diet was the most effective: significantly increased red blood cells ($P < 0.01$), hemoglobin ($P < 0.01$), total protein ($P < 0.01$) and protein fractions ($P < 0.01$) in blood of chicks compared to the control group. These findings indicate the activation of hematopoiesis and protein metabolism in the treated chickens. Against the background of decreased leukocytes ($P < 0.05$) and serum IgM ($P < 0.01$), there was a significant increase in IgG ($P < 0.05$) and IgA ($P < 0.01$). This indicates an enhanced immune response and humoral immunity in broilers. Overall, the study provides scientific evidence for the beneficial effects of the carbohydrate-prebiotic supplement on broiler chicken health. In summary, the addition of the developed complex to broiler diets can improve hematopoiesis and immune function. This can contribute to intensifying the poultry meat industry by enhancing the safety of birds and increasing livestock.

Keywords: broiler chickens, broiler chicken feeding, new feed additives, broiler chicken diets, physiological parameters of broiler chickens.

Citation. Slozhenkina M. I., Gorlov I. F., Khoroshevskaya L. V., Mosolova N. I., Anisimova E. Yu., Grishin V. S., Lazareva E. Yu. The effect of the different doses of a new carbohydrate-prebiotic feed additive on the hematological parameters and immunoglobulin profile of the broiler chickens. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 306-315 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-34.

Authors' contribution. All authors took part in the preparation and conduct of the study and analysis of its results. The presented version of the article was agreed with all authors.

Conflict of interest. All authors declared no conflicts of interest.

УДК 636.5.033

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ДОЗ НОВОЙ УГЛЕВОДНО-ПРЕБИОТИЧЕСКОЙ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ НА ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ИММУНОГЛОБУЛИНОВЫЙ ПРОФИЛЬ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ**Сложенкина М. И.**, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН**Горлов И. Ф.**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН**Хорошевская Л. В.**, доктор сельскохозяйственных наук**Мосолова Н. И.**, доктор биологических наук**Анисимова Е. Ю.**, кандидат биологических наук**Гришин В. С.**, кандидат сельскохозяйственных наук**Лазарева Е. Ю.**, младший научный сотрудник*Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции
г. Волгоград, Российская Федерация***Исследования выполнены в рамках гранта РНФ № 25-16-00303 ГНУ НИИММП.**

Актуальность. При интенсивном выращивании бройлеров на птицефабриках по-прежнему остро стоит вопрос высокой смертности поголовья, что требует комплексного подхода к профилактике метаболических нарушений, включая создание и использование кормовых средств, которые нормализуют обмен веществ, стимулируют иммунную систему и повышают сохранность птицы. В условиях отказа от использования кормовых антибиотиков в птицеводстве, пребиотики стали эффективной альтернативой. Биохимический состав крови и гематологические показатели служат ключевыми маркерами в клинической диагностике сельскохозяйственных животных и птицы, а уровень сыровороточных иммуноглобулинов отражает иммунную способность их организма. **Объект.** Исследование было направлено на изучение потенциала новой углеводно-пребиотической кормовой добавки и выявление эффективной дозы её внесения в рацион кормления цыплят-бройлеров кросса «Кобб-500» в условиях промышленного птицеводства. **Материалы и методы.** Для постановки эксперимента 400 суточных цыплят-бройлеров были случайным образом распределены на 4 группы (в каждой группе по 100 цыплят). Первая группа, служившая контролем, получала основной рацион; вторая – основной рацион плюс 3 г/кг испытуемой добавки; третья – основной рацион плюс 5 г/кг испытуемой добавки; четвертая – основной рацион плюс 7 г/кг испытуемой добавки. **Результаты и выводы.** Включение в рацион цыплят дозировки 5 г/кг является наиболее эффективным. Так, в данной группе установлено статистически значимое по сравнению с контрольной группой повышение содержания в крови эритроцитов ($P < 0,01$), гемоглобина ($P < 0,01$), общего белка ($P < 0,01$) и белковых фракций ($P < 0,01$), что свидетельствует об активации процессов гемопоэза и белкового обмена. На фоне снижения количества лейкоцитов ($P < 0,05$) и иммуноглобулина IgM ($P < 0,01$) выявлено статистически значимое повышение IgG ($P < 0,05$) и IgA ($P < 0,01$), что свидетельствует об усилении иммунного статуса и гуморального иммунитета цыплят. Таким образом, эффективность использования испытуемой добавки научно обоснована и подтверждена экспериментально: установлено повышение гематологических показателей, интенсификация белкового обмена, улучшение иммуноглобулинового профиля. Кормление цыплят-бройлеров разработанным комплексом в дозе 5 г/кг положительно влияет на гемопоэз и иммунный статус, что может способствовать интенсификации отрасли мясного птицеводства за счет повышения сохранности птицы и увеличения поголовья.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, кормление цыплят-бройлеров, новые кормовые добавки, рационы цыплят-бройлеров, физиологические показатели цыплят-бройлеров.

Цитирование. Сложенкина М. И., Горлов И. Ф., Хорошевская Л. В., Мосолова Н. И., Анисимова Е. Ю., Гришин В. С., Лазарева Е. Ю. Влияние различных доз новой углеводно-пребиотической кормовой добавки на гематологические показатели и иммуноглобулиновый профиль цыплят-бройлеров. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 306-315. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-34.

Авторский вклад. Все авторы принимали участие в подготовке, проведении исследования и анализе его результатов. Представленный вариант статьи согласован со всеми авторами.

Конфликт интересов. Все авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Биохимический состав крови и гематологические показатели служат ключевыми маркерами в клинической диагностике сельскохозяйственных животных и птицы, а уровень сыровороточных иммуноглобулинов отражает иммунную способность их организма. При этом использование кормовых добавок является одним из методов, способных оказать положительное влияние на здоровье поголовья [1].

Взаимодействие между питанием и иммунитетом играет жизненно важную роль в переваривании, всасывании и метаболизме питательных веществ при выращивании птицы [2, 3]. Иммуноглобулины (IgA, IgG и IgM) являются важнейшими компонентами иммунной системы птицы. Эти белки вырабатываются В-лимфоцитами и необходимы для борьбы с патогенами. Так, IgA играет важную роль в защите слизистой оболочки кишечника и является первой линией защиты на его поверхности, взаимодействует со специфическими рецепторами и иммунологическими медиаторами для обеспечения различных защитных функций [2, 4-6]. IgM коррелирует с острой инфекцией. Являясь первоначальным иммунологическим ответом на антигены, IgM контролирует иммунный ответ и ускоряет синтез IgG [7]. IgG обеспечивает системный иммунитет и помогает нейтрализовать патогенные микроорганизмы во всем организме птицы [3].

Желудочно-кишечный тракт является местом переваривания и усвоения питательных веществ. Кишечник играет двойную роль: он не только поддерживает надлежащую проницаемость для обеспечения полного усвоения питательных веществ, но и создает определенный тип клеточных соединений, выполняющих защитную функцию, которые служат своеобразным механическим, химическим, иммунным и микробиологическим барьером [5].

В условиях отказа от использования кормовых антибиотиков в птицеводстве, пребиотики стали эффективной альтернативой. В частности, установлено, что изомальтоолигосахарид (ИМО) играет активную роль в гуморальном и клеточно-опосредованном иммунитете животных, его использование в яичном птицеводстве способствует повышению продуктивности кур-несушек, улучшает функционирование ЖКТ у бройлеров [5]. Также одним из эффективных пребиотиков является лактулоза: дисахарид, который устойчив к расщеплению в верхних отделах кишечника из-за отсутствия соответствующих сахаролитических ферментов, но подвергается анаэробной ферментации микробиотой толстой кишки, служит пребиотическим субстратом и увеличивает количество бифидобактерий, лактобацилл и бактериальных метаболитов [8, 9].

При интенсивном выращивании бройлеров на птицефабриках по-прежнему остро стоит вопрос высокой смертности поголовья, что требует комплексного подхода к профилактике метаболических нарушений, включая создание и использование кормовых средств, которые нормализуют обмен веществ, стимулируют иммунную систему и повышают сохранность птицы [10].

Цель исследования. Учитывая научную новизну и актуальность заявленной тематики, вышеизложенные качества компонентов, входящих в состав испытуемого комплекса, авторами исследования была выдвинута гипотеза о его положительном влиянии на гематологические показатели и синтез иммуноглобулинов (IgG, IgA, IgM) сыворотки крови цыплят-бройлеров. С целью проверки выдвинутой гипотезы была разработана схема научно-хозяйственного эксперимента и запланированы лабораторные исследования биологического материала. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- сформировать подопытное поголовье, провести научно-хозяйственный эксперимент по использованию различных доз новой углеводно-пребиотической кормовой добавки в рационе цыплят-бройлеров;
- сравнить интенсивность процессов гемопоэза по результатам анализа гематологических показателей;
- сравнить интенсивность белкового обмена в организме цыплят по результатам анализа сыворотки их крови на содержание общего белка, белковых фракций, а также по соотношению А / Г;
- сравнить интенсивность синтеза сывороточных иммуноглобулинов (IgG, IgA, IgM) для оценки иммунного статуса организма бройлеров.

Материалы и методы исследования. Научно-хозяйственный эксперимент проводили в ООО «Агрофирма Обломово» Светлоярского района Волгоградской области (июнь-июль 2025 г.). По принципу аналогов были сформированы четыре группы суточных цыплят-бройлеров кросса «Кобб-500» по 100 голов в каждой, длительность эксперимента – 35 дней включительно (рисунок 1). Условия напольного содержания подопытного птицепоголовья на протяжении эксперимента были одинаковыми. Питательную ценность рационов рассчитывали в программе «Корм Оптима» для кросса «Кобб-500» с учетом рекомендаций разработчика кросса в период стартового, ростового и финишного кормления бройлеров.

Контрольная / Control	I опытная / experimental 1	II опытная / experimental 2	III опытная / experimental 3
↓	↓	↓	↓
OP / GHR	OP + 3 г/кг УПКД / GHR + 3 g/kg CPFA	OP + 5 г/кг УПКД / GHR + 5 g/kg CPFA	OP + 7 г/кг УПКД / GHR + 7 g/kg CPFA

Примечание. OP – общехозяйственный рацион; УПКД – углеводно-пребиотическая кормовая добавка
Note. GHR – general household ration; CPFA – carbohydrate-prebiotic feed additive

Рисунок 1 – Схема эксперимента
Figure 1 – Experience schematic

Разработанная в ГНУ НИИММП (Волгоград) углеводно-пребиотическая кормовая добавка представляет собой биологически активную композицию, в состав которой входит изомальтоолигосахарид и концентрат лактулозы «Лактусан» в массовом соотношении 1:1.

Гематологические исследования проводили в начале и в конце основного периода опыта с определением морфологических и биохимических показателей. Отбор крови осуществляли от 5 бройлеров из каждой группы в утренние часы до кормления из подкрыльцовой вены. На автоматическом гематологическом анализаторе URIT 3020 Vet Plus (Китай) определяли содержание лейкоцитов, эритроцитов, гемоглобина, гематокрита, средний объем одного эритроцита, среднее содержание гемоглобина в одном эритроците, среднюю концентрацию гемоглобина в эритроцитах. Биохимический анализ сыворотки крови (содержание общего белка, альбуминов, глобулинов) проводили на полуавтоматическом анализаторе URIT-800 (Китай) с использованием наборов ДиаВетТест в соответствии с инструкцией производителя «Диакон ДС» (Россия). Для получения сыворотки образцы крови без консерванта выдерживали при 30 °С в течение часа, затем центрифугировали в течение 15 минут при 4 °С и скорости 3000 об/мин. на центрифуге Sigma 2-16KL. Соотношение альбуминов к глобулинам определяли расчетным методом. Уровень сывороточных иммуноглобулинов определяли методом ELISA на автоматическом фотометре Ledetect 96 Microplate Reader с использованием наборов SEA544Ga (IgG), SEA543Ga (IgM), SEA546Ga (IgA) в соответствии с инструкцией производителя «Cloud-Clone Corp.» (Китай). Калибровочные графики строили в программе Excel 2010 на основе значений оптической плотности стандартных образцов, результаты пересчитывали в мг/мл сыворотки.

Таким образом, в представленных исследованиях анализировалась выборка объемом 20 наблюдений. Каждое наблюдение содержало 12 переменных, из которых 1 – группирующий фактор (дозировка), 14 – количественные признаки. Использовались следующие методы статистического анализа: проверка нормальности распределения количественных признаков с использованием критерия Колмогорова-Смирнова с поправкой Лиллиефорса и критерия Шапиро-Уилка; проверка равенства генеральных дисперсий с помощью теста Левена; оценка статистической значимости различий в сравнении с контрольной группой – с использованием t-критерия Стьюдента; для выявления статистически значимых различий между средними значениями и множественного попарного сравнения групп – параметрический однофакторный дисперсионный анализ ANOVA и апостериорный анализ (Post-Hoc analysis с использованием F-критерия Фишера). Выборочные параметры, приводимые далее в иллюстративном материале, имеют следующие обозначения: М – среднее, m – ошибка среднего, n – объем анализируемой подгруппы, P – достигнутый уровень значимости. При этом значения при * P < 0,05; ** P < 0,01; *** P < 0,001 считали статистически значимыми. Анализ данных производился с помощью пакетов программ Excel 2010 и Statistica 10.0.

Результаты и обсуждение. В таблице 1 показано влияние различных доз испытываемой добавки на гематологические показатели цыплят-бройлеров. По сравнению с контролем, добавление УПКД в количестве 5 г/кг в рацион бройлерных птиц способствовало снижению уровня лейкоцитов на 4,96 % (P < 0,05). При этом содержание эритроцитов в крови I-III опытных групп повысилось на 4,76 (P < 0,05), 6,06 (P < 0,01) и 5,63 % (P < 0,05) соответственно по сравнению с контрольной группой. Аналогичная закономерность выявлена по содержанию гемоглобина: повышение в сравнении с контролем составило 3,87 (P < 0,01), 6,78 (P < 0,01) и 5,57 % (P < 0,01).

Повышение уровня эритроцитов и содержания гемоглобина в крови цыплят-бройлеров опытных групп при сохранении на уровне контрольных значений среднего объема одного эритроцита, а также среднего содержания гемоглобина в одном эритроците, свидетельствует о более высокой скорости окислительно-восстановительных реакций,

протекающих в организме птиц. Среди прочих гематологических показателей лейкоциты характеризуют иммунную систему животных и птиц [9]. Количество лейкоцитов в пределах физиологической нормы свидетельствует о нормальном физиологическом состоянии организма и достаточно сильном иммунитете. Снижение уровня лейкоцитов во II опытной группе по сравнению с контрольной свидетельствует об уменьшении воспалительных процессов в организме бройлеров при включении в их рацион УПКД в количестве 5 г/кг. При этом содержание лейкоцитов как в опытной, так и в контрольной группах было в пределах физиологической нормы.

Таблица 1 – Гематологические показатели цыплят-бройлеров ($M \pm m$, $n=5$)Table 1 – Hematological parameters of broiler chickens ($M \pm m$, $n=5$)

Показатель / Indicator	Группа / Group			
	Контрольная / Control	I опытная / experimental 1	II опытная / experimental 2	III опытная / experimental 3
WBC, 10^9 /л	32,66 $\pm$ 0,52	32,24 $\pm$ 0,78	31,04 $\pm$ 0,27*	31,66 $\pm$ 0,44
RBC, 10^{12} /л	2,31 $\pm$ 0,02	2,42 $\pm$ 0,03*	2,45 $\pm$ 0,03**	2,44 $\pm$ 0,04*
HGB, г/л	82,6 $\pm$ 0,7	85,8 $\pm$ 0,6**	88,2 $\pm$ 1,1**	87,2 $\pm$ 1,28**
HCT, %	32,54 $\pm$ 0,68	33,28 $\pm$ 0,20	34,58 $\pm$ 0,29*	34,04 $\pm$ 0,40
MCV, фл	141,14 $\pm$ 2,92	137,57 $\pm$ 1,21	141,24 $\pm$ 2,36	139,63 $\pm$ 2,54
MCH, г/л	35,82 $\pm$ 0,21	35,49 $\pm$ 0,65	36,03 $\pm$ 0,73	35,78 $\pm$ 0,87
MCHC, г/л	254,30 $\pm$ 5,96	257,88 $\pm$ 3,08	255,20 $\pm$ 4,69	256,22 $\pm$ 3,44

Примечание. Здесь и далее:

WBC – лейкоциты, RBC – эритроциты, HGB – гемоглобин, HCT – гематокрит, MCV – средний объем одного эритроцита, MCH – среднее содержание гемоглобина в одном эритроците, MCHC – средняя концентрация гемоглобина в эритроцитах

* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$ по отношению к контролю (t-тест)

Note. Here and further:

WBC – leukocytes, RBC – erythrocytes, HGB – hemoglobin, HCT – hematocrit, MCV – average volume of one erythrocyte, MCH – average hemoglobin content in one erythrocyte, MCHC – average hemoglobin concentration in erythrocytes

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$ in relation to control (t-test)

Содержание общего белка в сыворотке крови бройлеров I-III опытной групп было выше, чем у аналогов из контрольной группы (таблица 2), соответственно на 3,24 ($P < 0,05$), 6,22 ($P < 0,01$) и 5,61 % ($P < 0,01$).

Содержание альбуминовой фракции в сыворотке крови у птиц I-III опытных групп была выше, чем в контроле, на 2,79 ($P < 0,05$), 6,17 ($P < 0,01$) и 5,54 % ($P < 0,001$).

Данный эффект обусловлен активизацией белкового обмена, следствием которого является синтез мышечной ткани, т.к. альбумины являются основным строительным материалом для организма [11]. Кроме того, были выявлены статистически значимые различия по содержанию глобулиновых фракций в сыворотке крови, что является предпосылкой к прекращению воспалительных процессов в организме цыплят и повышению иммунитета. Значения в I-III опытных группах в сравнении с контролем были выше на 3,54 ($P < 0,05$), 6,29 ($P < 0,01$) и 5,66 % ($P < 0,01$).

Таблица 2 – Содержание общего белка и белковых фракций

в сыворотке крови цыплят-бройлеров ($M \pm m$, $n=5$)Table 2 – Total protein and it's fractions in the blood serum of broiler chickens ($M \pm m$, $n=5$)

Показатель / Indicator	Группа / Group			
	Контрольная / Control	I опытная / experimental 1	II опытная / experimental 2	III опытная / experimental 3
Общий белок, г/л / Total protein, g/l	52,42 $\pm$ 0,50	54,12 $\pm$ 0,26*	55,68 $\pm$ 0,45**	55,36 $\pm$ 0,38**
Альбумины, г/л / Albumins, g/l	22,19 $\pm$ 0,13	22,81 $\pm$ 0,13*	23,56 $\pm$ 0,27**	23,42 $\pm$ 0,17***
Глобулины, г/л / Globulins, g/l	30,23 $\pm$ 0,39	31,30 $\pm$ 0,15*	32,13 $\pm$ 0,25**	31,94 $\pm$ 0,26**
Альбумины, % / Albumins, %	42,34	42,15	42,30	42,31
Глобулины, % / Globulins, %	57,66	57,85	57,70	57,69
A/G / A/G	0,735 $\pm$ 0,007	0,729 $\pm$ 0,004	0,733 $\pm$ 0,007	0,733 $\pm$ 0,005

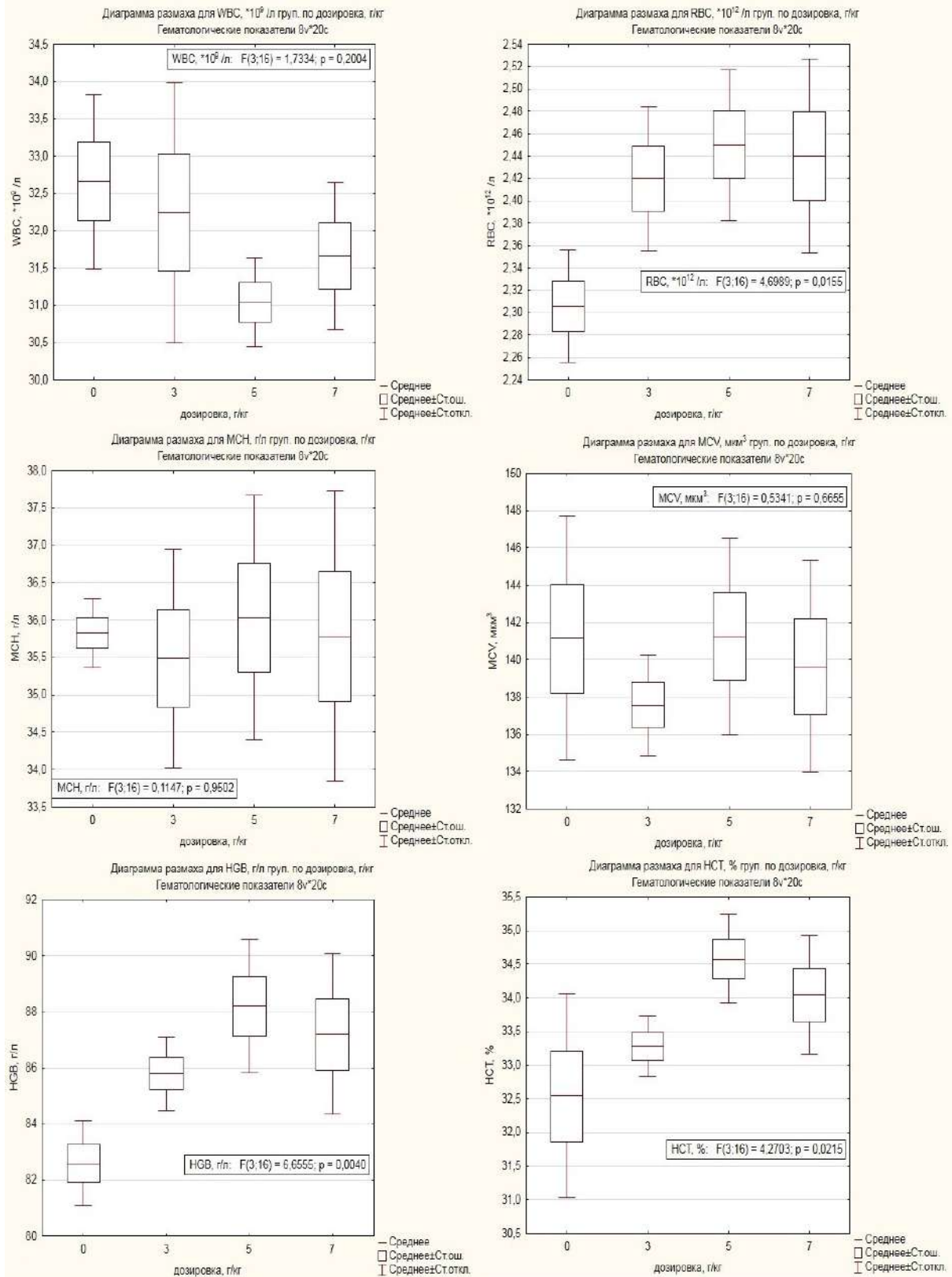


Рисунок 2 – Диаграммы размаха значений между группами с оценкой уровня значимости различий (ANOVA): гематологические показатели

Figure 2 – Box whisker plots with values of the significance level of differences between groups (ANOVA): Hematological parameters

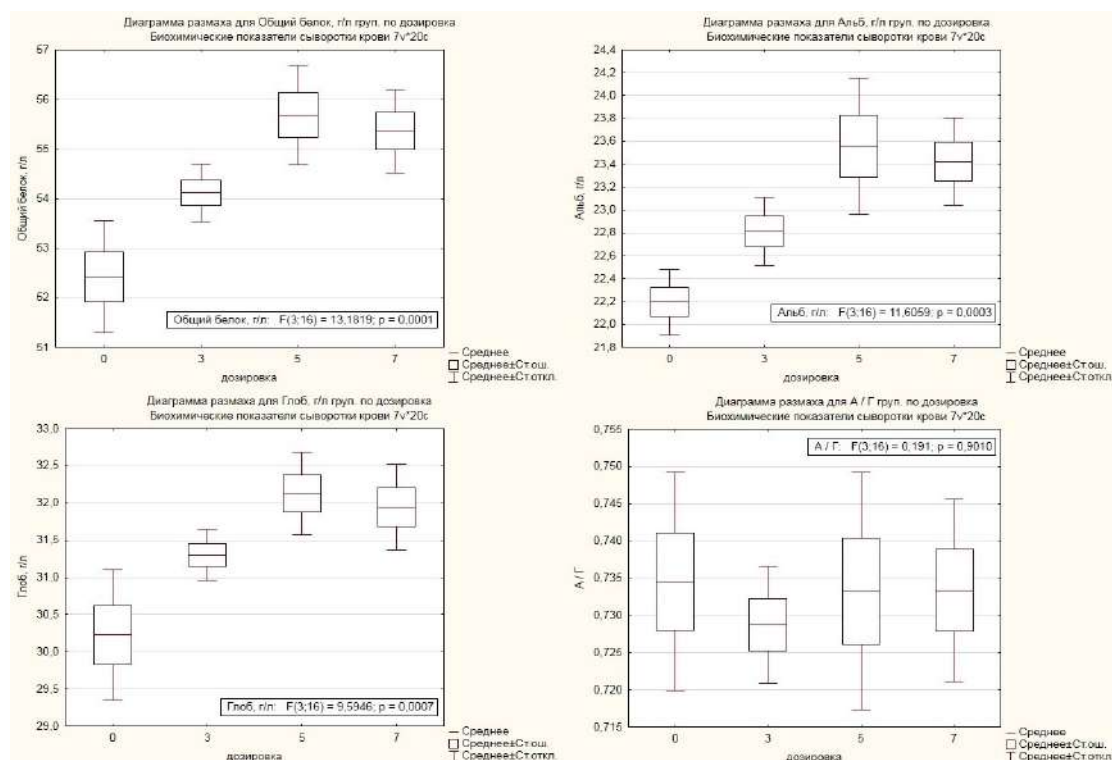
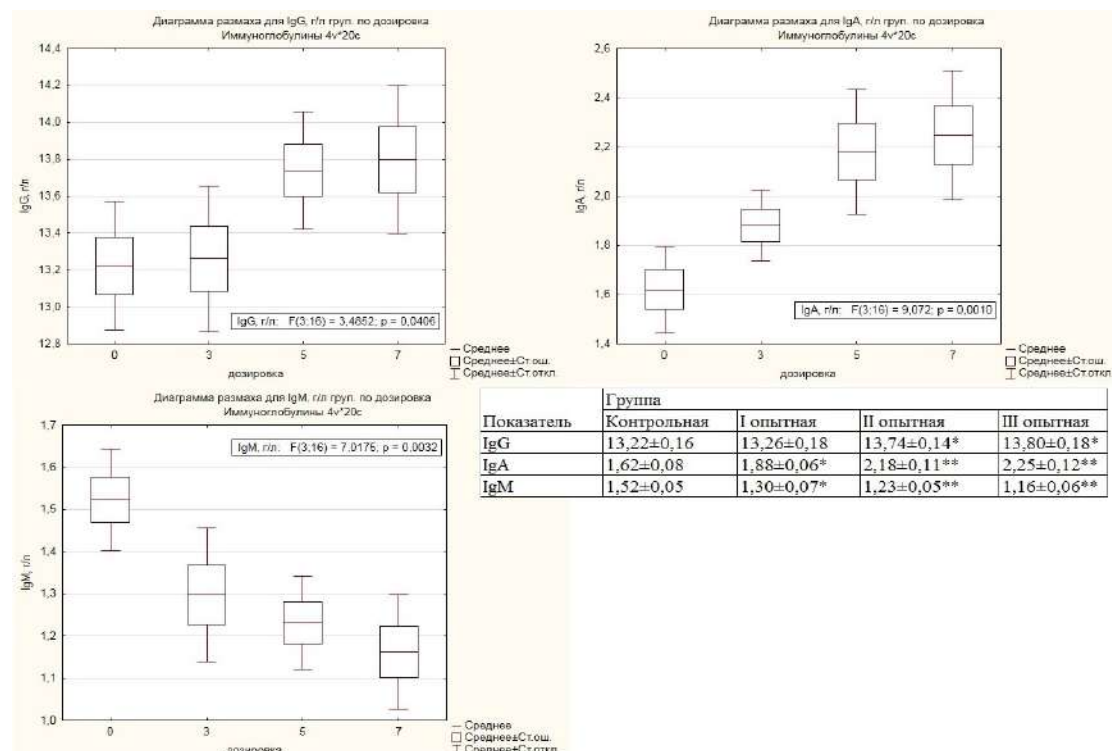


Рисунок 3 – Диаграммы размаха значений между группами с оценкой уровня значимости различий (ANOVA): содержание общего белка и белковых фракций в сыворотке крови
Figure 3 – Box whisker plots with values of the significance level of differences between groups (ANOVA): Total protein and it's fractions in the blood serum



Показатель	Группа			
	Контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
IgG	13,22±0,16	13,26±0,18	13,74±0,14*	13,80±0,18*
IgA	1,62±0,08	1,88±0,06*	2,18±0,11**	2,25±0,12**
IgM	1,52±0,05	1,30±0,07*	1,23±0,05**	1,16±0,06**

Рисунок 4 – Диаграммы размаха значений между группами с оценкой уровня значимости различий (ANOVA): содержание иммуноглобулинов G, A, M (IgG, IgA, IgM) в сыворотке крови
Figure 4 – Box whisker plots with values of the significance level of differences between groups (ANOVA): Serum immunoglobulin G, A, M (IgG, IgA, IgM) levels

При межгрупповом сравнении эффектов введения в рацион бройлеров различных доз испытываемого комплекса методом ANOVA (рисунок 2-4) статистически значимые различия были установлены по содержанию альбуминовой фракции между I и II опытными группами ($P < 0,05$).

Результаты, приведенные на рисунке 4, наглядно иллюстрируют влияние различных доз испытываемого комплекса на синтез иммуноглобулинов в крови бройлеров. Так, значения сывороточного IgA значительно повысились у птиц I-III опытных групп в сравнении с контрольной группой: соответственно на 16,05 ($P < 0,05$), 34,57 ($P < 0,01$) и 38,89 % ($P < 0,01$). По содержанию сывороточного иммуноглобулина IgG между контрольной и I опытной группой статистически значимых различий выявлено не было (0,30 %, $P > 0,05$). Однако его содержание во II и III опытных группах было выше, чем в контроле соответственно на 3,93 ($P < 0,05$) и 4,39 % ($P < 0,05$). Примечательно, что на фоне интенсификации синтеза IgA и IgG, содержание IgM снизилось ($P < 0,05$) у птиц, потреблявших добавку, в I группе на 14,47 ($P < 0,05$), 19,08 ($P < 0,01$) и 23,68 % ($P < 0,01$). При этом содержание всех фракций гамма-глобулинов оставалось в пределах физиологической нормы.

Известно, что добавление в рацион цыплят-бройлеров некоторых биологически активных веществ в большинстве случаев повышает содержание иммуноглобулинов [3], однако на характер и величину различий может влиять не только видовой состав кормового средства [12], но и этапы роста птицы (периоды онтогенеза) [4, 6], мясная продуктивность, технология содержания и даже сезон года [7].

Таким образом, повышение уровня сывороточных IgG и IgA может быть связано с увеличением содержания полезной и снижением содержания патогенной и условно-патогенной микрофлоры ЖКТ, а также свидетельствовать о положительном влиянии рациона, содержащего изомальтоолигосахарид и лактулозу, их стимулирующем воздействии на иммунную систему подопытных цыплят.

Заключение. Основываясь на вышеизложенных результатах, можно сделать вывод о положительном влиянии новой углеводно-пребиотической кормовой добавки на гематологические показатели и синтез иммуноглобулинов (IgG, IgA, IgM) сыворотки крови цыплят-бройлеров, что свидетельствует об усилении процессов гемопоэза, белкового обмена и иммунного статуса организма бройлеров. Использование данного комплекса в рационах кормления может способствовать интенсификации отрасли мясного птицеводства за счет повышения сохранности птицы и увеличения поголовья. При этом наиболее эффективной является дозировка 5 г/кг.

Conclusions. Based on the above results, it can be concluded that the new carbohydrate-prebiotic feed additive has a positive effect on hematological parameters and the synthesis of immunoglobulins (IgG, IgA, IgM) in the blood serum of broiler chickens, which indicates an increase in the processes of hematopoiesis, protein metabolism and the immune status of the broiler body. The use of this complex in feeding rations can contribute to the intensification of the poultry meat industry by increasing the safety of poultry and increasing the number of livestock. At the same time, the dosage of 5 g/kg is the most effective.

Библиографический список

1. Adil S., Banday M. T., Wani M. A., Hussain S. A. et al. Nano-Protected Form of Rosemary Essential Oil has a Positive Influence on Blood Biochemistry Parameters, Haematological Indices, Immune-Antioxidant Status, Intestinal Microbiota and Histomorphology of Meat-Type Chickens. *Poultry Science*. 2024. No 103 (12). 104309.
2. Wang X., Hu Y., Zhu X., Cai L. et al. Bacteroides-Derived Isovaleric Acid Enhances Mucosal Immunity by Facilitating Intestinal IgA Response in Broilers. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2023. No 14 (1). P. 4.
3. Azizi M. N., Loh T. C., Foo H. L., Izuddin W. I. Effects of Seaweed on Blood Plasma Immunoglobulin Concentration, Mucosal Immunity, Small Intestine Histomorphology, Cecal Microbial Population, and Volatile Fatty Acid Profile in Broiler Chickens. *Veterinary World*. 2025. No 18 (2). Pp. 508-518.
4. Лебедев С. В., Казакова Т. В., Маршинская О. В. Иммунный статус цыплят-бройлеров в различные физиологические периоды развития. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2024. № 3. С. 92-96.
5. Chang L., Ding Y., Wang Y., Song Z. et al. Effects of Different Oligosaccharides on Growth Performance and Intestinal Function in Broilers. *Frontiers in Veterinary Science*. 2022. No 9. 852545.
6. Danladi Y., Loh T. C., Foo H. L., Akit H. et al. Effects of Postbiotics and Paraprobiotics as Replacements for Antibiotics on Growth Performance, Carcass Characteristics, Small Intestine Histomorphology, Immune Status and Hepatic Growth Gene Expression in Broiler Chickens. *Animals (Basel)*. 2022. No 12 (7). 917.
7. Sarrigeorgiou I., Stivarou T., Tsinti G., Patsias A. et al. Levels of Circulating IgM and IgY Natural Antibodies in Broiler Chicks: Association with Genotype and Farming Systems. *Biology (Basel)*. 2023. No 12 (2). 304.
8. Иванищева А. П., Сизова Е. А., Яшуева Е. В. Использование пребиотиков на основе олиго- и дисахаридов в птицеводстве – мини-обзор. *Сельскохозяйственная биология*. 2023. Т. 58. № 4. С. 609-621.
9. Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Mosolova D. A., Khoroshevskaya L. V. et al. Lactulose with Synergists Supplementation Improving a Health of Chicks and Reducing the Environmental Burden in Poultry Industry. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*. 2024. No 11 (2). Pp. 429-438.

10. Бекшенова А. М., Александрова С. С., Логинов С. В. Эффективность применения препарата, регулирующего обмен веществ, при выращивании цыплят бройлеров. Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25. № 04. С. 576-585.

11. Котлярова О. С., Дегтярев Е. А. Сравнительная оценка иммуноморфологических и биохимических показателей крови цыплят-бройлеров, выращиваемых в разных условиях содержания. Инновации и продовольственная безопасность. 2014. № 1 (3). С. 69-78.

12. Ruan D., Fan Q., Fouad A. M., Sun Y. et al. Effects of Dietary Oregano Essential Oil Supplementation on Growth Performance, Intestinal Antioxidative Capacity, Immunity, and Intestinal Microbiota in Yellow-Feathered Chickens. *Journal of Animal Science*. 2021. No 99 (2). skab033.

References

1. Adil S., Banday M. T., Wani M. A., Hussain S. A. et al. Nano-Protected Form of Rosemary Essential Oil has a Positive Influence on Blood Biochemistry Parameters, Haematological Indices, Immune-Antioxidant Status, Intestinal Microbiota and Histomorphology of Meat-Type Chickens. *Poultry Science*. 2024. No 103 (12). 104309.

2. Wang X., Hu Y., Zhu X., Cai L. et al. Bacteroides-Derived Isovaleric Acid Enhances Mucosal Immunity by Facilitating Intestinal IgA Response in Broilers. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2023. No 14 (1). P. 4.

3. Azizi M. N., Loh T. C., Foo H. L., Izuddin W. I. Effects of Seaweed on Blood Plasma Immunoglobulin Concentration, Mucosal Immunity, Small Intestine Histomorphology, Cecal Microbial Population, and Volatile Fatty Acid Profile in Broiler Chickens. *Veterinary World*. 2025. No 18 (2). Pp. 508-518.

4. Lebedev S. V., Kazakova T. V., Marshinskaya O. V. Immune Status of Broiler Chickens During Different Times of Physiological Development. *Proceedings of the Russian Agricultural Science*. 2024. No 3. Pp. 92-96.

5. Chang L., Ding Y., Wang Y., Song Z. et al. Effects of Different Oligosaccharides on Growth Performance and Intestinal Function in Broilers. *Frontiers in Veterinary Science*. 2022. No 9. 852545.

6. Danladi Y., Loh T. C., Foo H. L., Akit H. et al. Effects of Postbiotics and Paraprobiotics as Replacements for Antibiotics on Growth Performance, Carcass Characteristics, Small Intestine Histomorphology, Immune Status and Hepatic Growth Gene Expression in Broiler Chickens. *Animals (Basel)*. 2022. No 12 (7). 917.

7. Sarrigeorgiou I., Stivarou T., Tsinti G., Patsias A. et al. Levels of Circulating IgM and IgY Natural Antibodies in Broiler Chicks: Association with Genotype and Farming Systems. *Biology (Basel)*. 2023. No 12 (2). 304.

8. Ivanitcheva A. P., Sizova E. A., Iausheva E. V. The Use of Prebiotics Based on Oligo- and Disaccharides in Poultry Farming – A Mini Review. *Agricultural Biology*. 2023. No 58 (4). Pp. 609-621.

9. Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Mosolova D. A., Khoroshevskaya L. V. et al. Lactulose with Synergists Supplementation Improving a Health of Chicks and Reducing the Environmental Burden in Poultry Industry. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*. 2024. No 11 (2). Pp. 429-438.

10. Bekshenova A. M., Aleksandrova S. S., Loginov S. V. Efficiency of Using a Drug that Regulates Metabolism in Growing Broiler Chickens. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025. No 25 (04). Pp. 576-585.

11. Kotlyarova O. S., Degtyarev E. A. Comparative Assessment of Immunomorphologicals and Blood Biochemical Parameters of Broiler Chickens Farm in Different of Conditions. *Innovative Development of the Agroindustrial Complex*. 2014. No 1 (3). Pp. 69-78.

12. Ruan D., Fan Q., Fouad A. M., Sun Y. et al. Effects of Dietary Oregano Essential Oil Supplementation on Growth Performance, Intestinal Antioxidative Capacity, Immunity, and Intestinal Microbiota in Yellow-Feathered Chickens. *Journal of Animal Science*. 2021. No 99 (2). skab033.

Информация об авторах

Сложенкина Марина Ивановна, член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, профессор, директор, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9542-5893>, e-mail: niimmp@mail.ru

Горлов Иван Федорович, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8683-8159>, e-mail: niimmp@mail.ru

Хорошевская Людмила Викторовна, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID: <https://orcid.org/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, 400066, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6559-6595>, e-mail: niimmp@mail.ru

Анисимова Елена Юрьевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7508-3897>, e-mail: elanis1009@mail.ru

Гришин Владимир Сергеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4057-5930>, e-mail: sincitcomp_1988@mail.ru

Лазарева Елена Юрьевна, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4931-3756>, e-mail: gnuniimmp.lab@yandex.ru

Authors' Information

Slozhenkina Marina Ivanovna, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Professor, Director, Volga Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovskiy str., 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9542-5893>, e-mail: niimmp@mail.ru

Gorlov Ivan Fedorovich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Chief Researcher, Volga Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovskiy str., 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8683-8159>, e-mail: niimmp@mail.ru

Khoroshevskaya Lyudmila Viktorovna, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Volga Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovskiy str., 6), ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6693-9714>, e-mail: niimmp@mail.ru

Mosolova Natalia Ivanovna, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Volga Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovskiy str., 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6559-6595>, e-mail: niimmp@mail.ru

Anisimova Elena Yuryevna, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Volga Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovskiy str., 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7508-3897>, e-mail: elanis1009@mail.ru

Grishin Vladimir Sergeevich, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Volga Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovskiy str., 6), ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4057-5930>, e-mail: sincitcomp_1988@mail.ru

Lazareva Elena Yuryevna, Junior Researcher, Volga Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovskiy str., 6), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4931-3756>, e-mail: gnumiimmp.lab@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-35

THE TECHNICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF THE PROCESSING LINE FOR THE PRODUCTION OF THE PELLETED FEED FOR THE POND FISH

Braginets S. V., Bakhchevnikov O. N., Deev K. A.

*Agricultural Research Centre Donskoy
Zernograd, Rostov Region, Russian Federation*

Corresponding author: oleg-b@list.ru

Received 11.08.2025

Submitted 28.10.2025

The research was carried out as part of the implementation of project No. 0505-2023-0001 "To develop the basis of technology for obtaining new feed additives for aquaculture from cereal ear crops with high nutritional value", financed by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

Summary

The study evaluated the technical and economic efficiency of a basket granulator in a feed processing line for carp fry, comparing it with a press pelletiser. Results showed that the basket granulator improved feed quality, reduced feed consumption and costs, and increased fry weight, profit, and profitability.

Abstract

Introduction. It is necessary to increase the production of feed for pond fish in Russian aquaculture. Agricultural enterprises can produce feed from their own raw materials, but the obstacle is the inefficiency of equipment. Press pelletisers with flat press die have disadvantages: low water resistance of pellets, difficulty in production of small pellets. Basket granulator is an alternative. The study is aimed at assessing its technical and economic efficiency as part of a processing line. **Object.** The study focused on evaluating a processing line for feed preparation. **Materials and methods.** The study was carried out on the basis of press pelletiser and basket granulator. The devices were integrated into the processing line of mixed feed production. Tests were carried out producing mixed feed for carp fry. Two groups of fry were fed with these feeds for two months, then weight gain and feed consumption were evaluated, and economic efficiency was calculated. **Results and Discussion.** The fry of the experimental group fed with feed produced on the line with basket granulator had an average weight 7.8 % more than the control. Total live weight gain in the experimental group was 11.5 % higher. Feed consumption in the experimental group decreased by 11.52 % and feed conversion ratio was 1.49 compared to 1.87 in the control. Reduced feed consumption led to a 19.5 % decrease in the cost of live weight. Profit in this group was 19.6 % higher and profitability was 4.36 % higher. **Conclusion.** The basket granulator effectively replaces the press pelletiser in the processing line and produces higher-quality pellets, thereby reducing feed losses. The use of feed produced on the basket granulator led to a decrease in its consumption and feed conversion ratio, a decrease in the cost of fry, an increase in profit and profitability.

Keywords: *pelleted feed, basket pellet mill, pond fish, pond fish feeding, production of pelleted feed.*

Citation. Braginets S. V., Bakhchevnikov O. N., Deev K. A. The technical and economic efficiency of the processing line for the production of the pelleted feed for the pond fish. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 315-323 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-35.

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 631.363.28:636.085.62

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ
ПРОИЗВОДСТВА ГРАНУЛИРОВАННЫХ КОРМОВ ДЛЯ ПРУДОВЫХ РЫБ**

Брагинцев С. В., доктор технических наук, ведущий научный сотрудник
Бахчевников О. Н., кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Деев К. А., аспирант

Аграрный научный центр «Донской»
г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках выполнения задания № 0505-2023-0001 «Разработать основы технологии получения новых кормовых добавок для аквакультуры из зерновых колосовых культур с высокой питательной ценностью», финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

Актуальность. Для отечественной аквакультуры необходимо увеличить производство кормов для прудовых рыб. Сельхозпредприятия могут производить корма из собственного сырья, но препятствием является неэффективность оборудования. Пресс-грануляторы с плоской матрицей имеют недостатки: низкая водостойкость гранул, сложность производства мелких гранул. Альтернативой является корзинный гранулятор. Исследование направлено на оценку его технико-экономической эффективности в составе технологической линии. **Объект.** Объектом исследования являлась технологическая линия производства комбикормов. **Материалы и методы.** Исследование проводили на основе пресс-гранулятора и корзинного гранулятора, которые были интегрированы в технологическую линию производства комбикормов. Были проведены испытания, в которых производили комбикорм для мальков карпа. Две группы мальков кормили этими кормами в течение двух месяцев, затем оценили прирост массы и расход корма, и рассчитали экономическую эффективность. **Результаты и обсуждение.** Мальки опытной группы, которых кормили кормом, произведенным на линии с корзинным гранулятором, имели среднюю массу особи на 7,8 % больше, чем в контроле. Общий прирост живой массы в опытной группе был на 11,5 % больше. Расход комбикорма в опытной группе был меньше на 11,52 %, чем в контрольной, а кормовой коэффициент составил 1,49 против 1,87. Снижение расхода кормов обусловило уменьшение себестоимости живой массы мальков на 19,5 %. Прибыль в опытной группе была выше на 19,6 %, а рентабельность – на 4,36 %. **Выводы.** Корзинный гранулятор эффективно заменяет пресс-гранулятор в технологической линии и обеспечивает лучшее качество гранул, что снижает потери корма. Использование корма, произведенного на корзинном грануляторе, привело к снижению его расхода и кормового коэффициента, уменьшению себестоимости мальков, увеличению прибыли и рентабельности.

Ключевые слова: гранулированные корма, корзинный гранулятор, прудовые рыбы, кормление прудовых рыб, производство гранулированных кормов.

Цитирование. Брагинцев С. В., Бахчевников О. Н., Деев К. А. Техничко-экономическая эффективность технологической линии производства гранулированных кормов для прудовых рыб. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 315-323. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-35.

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. Для опережающего развития отечественной пресноводной аквакультуры необходимо значительно увеличить производство комбикормов, в том числе гранулированных кормов для рыб семейства карповых и их мальков [1, 2]. Причем для небольших и средних сельхозпредприятий, выращивающих в прудах всеядных рыб, таких как карп, актуальным является создание производства кормов непосредственно в хозяйстве [3]. Это экономически оправданно, так как большая часть компонентов такого корма, а именно фуражное зерно ячменя и пшеницы, выращивается непосредственно в сельхозпредприятии [4, 5]. Корм, произведенный на месте из собственного растительного сырья, будет иметь значительно меньшую себестоимость, чем покупной [6].

Сдерживающим фактором для производства комбикорма для карпа в сельхозпредприятиях является необходимость его гранулирования [7]. Дело в том, что гранулы корма для рыб должны иметь хорошую водостойкость [8, 9]. Пресс-грануляторы, оснащенные вертикальной кольцевой матрицей, применяют для производства водостойких гранул на крупных комбикормовых заводах [10]. Но применять эти сложные машины, имеющие большую производительность и высокую энергоемкость, в небольшом сельхозпредприятии нерентабельно. Поэтому рыбоводческие хозяйства применяют для производства гранулированных кормов более простые и менее энергоемкие пресс-грануляторы с плоской мат-

рицей, хотя они и менее производительные [11]. Но получаемые на пресс-грануляторах методом сухого гранулирования гранулы имеют достаточно низкую водостойкость. Кроме того, недостатком грануляторов с плоской матрицей является сложность, а зачастую и невозможность, получения качественных гранул малого диаметра (менее 2,5 мм) с приемлемой энергоемкостью, что не позволяет производить стартовый корм с диаметром гранул 0,5-2,5 мм для мальков.

Поэтому возникла необходимость замены традиционно используемых в производстве комбикормов для прудовых рыб пресс-грануляторов с плоской матрицей на более эффективный тип грануляторов. Такой новой машиной может стать корзинный гранулятор, реализующий процесс влажного гранулирования кормов [12, 13]. Корзинный гранулятор (basket granulator) включает цилиндрическую перфорированную корзину, стенка которой служит неподвижной вертикальной кольцевой матрицей, внутри которой вращаются в противоположных направлениях рассекатели, перемешивающие влажное сырье, и экструзионные лопасти, продавливающие его через фильеры цилиндрической корзины, формируя в результате гранулы.

Корзинные грануляторы ранее не использовали для приготовления кормов из растительного сырья. Корзинный гранулятор по патенту RU 218265, созданный в «Аграрном научном центре «Донской», в ходе экспериментов показал хорошие результаты работы, обеспечив в результате влажного гранулирования комбикорма для мальков карпа получение качественных гранул диаметром 2 мм, имевших более высокую водостойкость, чем у произведенных традиционным способом гранул корма, продемонстрировав при этом приемлемую энергоемкость.

Корзинный гранулятор может быть легко интегрирован в существующую технологическую линию производства гранулированных комбикормов для рыб, заменив в ее составе традиционный пресс-гранулятор с плоской горизонтальной матрицей.

Изложенное выше и обусловило необходимость проведения исследования технико-экономической эффективности корзинного гранулятора и включающей его технологической линии приготовления комбикормов для прудовых рыб в сравнении с аналогичной технологической линией, включающей традиционный пресс-гранулятор с плоской матрицей.

Цель исследования – определение сравнительной технико-экономической эффективности технологических линий приготовления гранулированных комбикормов для рыб, включающих пресс-гранулятор и корзинный гранулятор.

Материалы и методы. В качестве базовых машин для производства гранулированных комбикормов для прудовых рыб использовали пресс-гранулятор с плоской горизонтальной матрицей ДГ-0,3Н (рисунок 1а, таблица 1), выпускаемый предприятием «Доза-Агро», и корзинный гранулятор (рисунок 1б, таблица 1), разработанный в «Аграрном научном центре «Донской».



Рисунок 1 – Грануляторы: а – пресс-гранулятор ДГ-0,3Н «Доза-Агро»; б – корзинный гранулятор «АНЦ «Донской»

Figure 1 – Pelletisers: a – pelletiser DG-0.3 Doza-Agro; b – basket pelletiser ARC Donskoy

Таблица 1 – Техническая характеристика грануляторов
Table 1 – Technical characteristics of pelletisers

Показатель / Indicator	Гранулятор / Pelletiser	
	Пресс-гранулятор ДГ-0,3Н / Pelletiser DG-0.3N	Корзинный гранулятор АНЦ «Донской» / Basket pelletiser ARC Donskoy
Производительность, кг/ч / Capacity, kg/h	300	300
Мощность электропривода, кВт / Electric drive power, kW	7,5	5,5
Диаметр фильер матрицы, мм / Die diameter, mm	2,5, 4, 5	1,6, 2, 3
Масса, кг / Weight, kg	230	250
Стоимость (без матриц), тыс. руб. / Cost (without press die), thousand rubles	275	280
Стоимость матрицы, тыс. руб. / Cost of the press die, thousand rubles	15	8

Технико-экономическую эффективность работы непосредственно гранулятора не определяли. Вместо этого вычисляли технико-экономическую эффективность включающей его технологической линии приготовления гранулированных комбикормов для рыб.

Была разработана компактная технологическая линия для производства гранулированных комбикормов производительностью 0,3 т/ч, основное оборудование которой размещается в 20-футовом грузовом контейнере. Вне контейнера размещают бункеры для различных видов зернового сырья и добавок и аспирационное оборудование. Линия включает оборудование, выполняющее операции дозирования, измельчения и смешивания сыпучего и жидкого сырья, а затем гранулирование рассыпного комбикорма и его фасовку в мешки (рисунок 2).

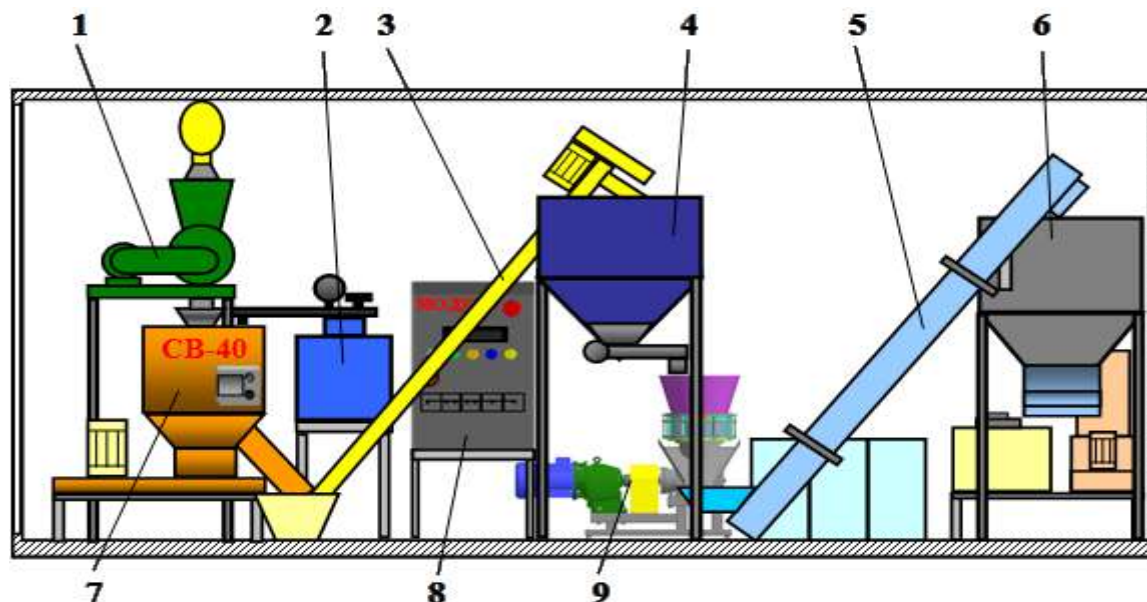


Рисунок 2 – Технологическая линия производства гранулированных комбикормов для рыб:
1 – дробилка молотковая МД-0,5; 2 – установка для введения жидкого сырья; 3 – шнековый транспортер;
4 – бункер для рассыпного комбикорма; 5 – конвейер ленточно-скребковый для транспортировки гранул; 6 – дозатор для фасовки в мешки и бункер для готового комбикорма;
7 – смеситель вертикальный СВ-40; 8 – шкаф управления; 9 – корзинный гранулятор
Figure 2 – Processing line for production of pelleted feed for fish: 1 – hammer mill MD-0.5;
2 – equipment for input of liquid raw materials; 3 – screw conveyor; 4 – hopper for loose mixed feed;
5 – belt-scraper conveyor for transportation of granules; 6 – doser for packing into bags and hopper for ready mixed feed; 7 – vertical mixer SV-40; 8 – control panel; 9 – basket pelletiser

В состав разработанной технологической линии производства комбикормов могут входить как пресс-гранулятор, так и корзинный гранулятор той же производительности, поэтому основные характеристики включающих их технологических линий гранулирования являются сходными (таблица 2). При этом при использовании пресс-гранулятора ДГ-0,3 используется метод сухого гранулирования, а корзинного гранулятора – влажного гранулирования.

Таблица 2 – Технические и экономические характеристики технологической линии приготовления гранулированных комбикормов для рыб

Table 2 – Technical and economic characteristics of processing line for preparation of pelleted mixed feed for fish

Показатель / Indicator	Технологическая линия, включающая гранулятор / Processing line including pelletiser	
	Пресс-гранулятор ДГ-0,3Н / Pelletiser DG-0.3N	Корзинный гранулятор АНЦ «Донской» / Basket granulator ARC Donskoy
Производительность, кг/ч / Capacity, kg/h	300	300
Обслуживающий персонал, чел. / Service staff, people	2	2
Установленная мощность, кВт / Electric power, kW	30,5	28,5
Стоимость, тыс. руб. / Cost, thousand rubles	2290	2325

При использовании корзинного гранулятора рассыпной комбикорм предварительно увлажняли в смесителе горячей водой для обеспечения лучшего связывания частиц сырья между собой и желатинизации крахмала, что увеличивает водостойкость гранул [14, 15].

Так как предлагаемая технологическая линия, включающая корзинный гранулятор, не имеет значительного преимущества по стоимости, производительности и энергоемкости перед технологической линией с традиционным гранулятором, то была определена ее технико-экономическая эффективность на основе показателей, характеризующих эффективность кормления рыбы произведенным кормом и его затрат на единицу прироста массы [16, 17]. Были определены кормовой коэффициент и затраты корма на единицу прироста живой массы карпа [18, 19]. Затем были определены денежные затраты на единицу прироста живой массы карпа на основе информации о себестоимости корма, его расходе и изменении массы рыбы [20, 21]. На основе этих данных определили полученную прибыль и рентабельность кормления мальков гранулированным комбикормом [22, 23].

Данные, необходимые для определения технико-экономической эффективности сравниваемых технологических линий приготовления гранулированных комбикормов, были получены в результате производственных испытаний, выполненных в «Опытной станции «Экспериментальная» – филиале «Аграрного научного центра «Донской» в 2024 г.

Для получения данных для оценки эффективности технологических линий на них производили стартовый комбикорм РЗГК-1 для мальков карпа [24]. На технологической линии с пресс-гранулятором методом сухого гранулирования производили комбикорм с диаметром гранул 2,5 мм и длиной 3,5-5 мм, а на линии с корзинным гранулятором способом влажного гранулирования изготовили корм с диаметром и длиной гранул 2 мм.

После изготовления комбикорма проверили качество гранул, определив их крошимость по ГОСТ 28497-2014 и водостойкость по ГОСТ 28758-97.

Гранулированным комбикормом в течение двух месяцев (июль-август 2024 г.) кормили две группы мальков карпа по 400 шт. каждая, размещенных в садках в рыбноводном пруду. При этом мальков из первой группы (контрольная) кормили комбикормом, произведенным на пресс-грануляторе ДГ-0,3, а мальков из второй группы (опытная) – кормом, произведенным на корзинном грануляторе. Средняя масса малька в начале опыта составляла $3 \pm 0,1$ г. Нормы кормления комбикормом устанавливали по поедаемости. В конце периода эксперимента в каждой группе определили сохранность поголовья, общую и среднюю массу мальков, общий и средний прирост живой массы и массу израсходованного корма. После чего произвели расчет экономической эффективности применения гранулированного комбикорма для кормления рыбы.

Результаты и обсуждение. Гранулы комбикорма, произведенного на технологической линии с корзинным гранулятором, имели лучшее качество по сравнению с гранулами корма, полученными на пресс-грануляторе. Их крошимость составила 2 %, а водостойкость 28 мин., тогда как у гранул из пресс-гранулятора эти показатели составили 6 % и 15 мин., соответственно.

В конце эксперимента групповая живая масса мальков карпа из опытной группы превысила общую массу мальков из контрольной группы. Средняя масса одной особи малька из опытной группы в конце периода составила 30,5 г, что на 7,8 % больше, чем в контрольной группе. Средний суточный прирост живой массы одной особи малька из опытной группы составил 0,44 г против 0,40 г в контрольной. Суммарный прирост живой массы рыбы в опытной группе по итогам эксперимента был на 11,5 % больше, чем в контрольной (таблица 3).

Таблица 3 – Динамика изменения живой массы мальков карпа и эффективность использования ими корма (групповая)

Table 3 – Dynamics of live weight of carp fry and efficiency of feed utilization (group)

Группа 400 особей / Group of 400 individuals	Групповая масса в начале периода, кг / Group weight at the beginning of the period, kg	Групповая масса в конце периода, кг / Group weight at the end of the period, kg	Групповой прирост массы, кг / Group weight gain, kg	Сохранность поголовья, % / Safety of population, %	Расход корма, кг / Feed consumption, kg	Кормовой коэффициент / Feed conversion ratio
Контрольная / Control	1,20	10,19	8,99	90	16,83	1,87
Опытная / Experimental	1,20	11,22	10,02	92	14,89	1,49

Такие показатели были обеспечены благодаря тому, что гранулы комбикорма, произведенного на технологической линии с корзинным гранулятором, имеют лучшее качество, а именно: меньшую крошимость и более высокую водостойкость. Благодаря этому уменьшаются потери комбикорма, повышается его поедаемость, что приводит к снижению расхода корма. По полученным данным, в опытной группе мальков расход корма снизился на 11,5 % по сравнению с контролем, а кормовой коэффициент составил 1,49 против 1,87 в контрольной группе.

Меньший расход корма в сочетании с большим приростом живой массы обеспечил более низкую себестоимость живой массы мальков карпа в опытной группе по сравнению с контрольной (таблица 4).

Таблица 4 – Себестоимость живой массы мальков карпа

Table 4 – Cost of live weight of carp fry

Статьи расходов, руб. / Cost items, rubles	Контрольная группа / Control group		Опытная группа / Experimental group	
	Всего / Total	На 1 кг живой массы / Per 1 kg live weight	Всего / Total	На 1 кг живой массы / Per 1 kg live weight
Корм (стоимость сырья и его подготовки) / Feed (cost of raw materials and their preparation)	521,73	51,20	461,59	41,14
Заработная плата / Wages	17,92	1,76	15,68	1,40
Электроэнергия / Electric power	0,2	0,02	0,17	0,02
Прочие затраты / Other costs	16,1	1,58	15,4	1,37
Итого / Total	555,95	54,56	492,84	43,92

Благодаря лучшему качеству гранул комбикорма, произведенных в корзинном грануляторе, себестоимость живой массы мальков карпа из опытной группы уменьшилась на 19,5 % по сравнению с контрольной группой, получавшей комбикорм, произведенный при помощи традиционного пресс-гранулятора. Итоговая себестоимость комбикорма, обрабо-

танного в корзинном грануляторе, составила 43,92 руб./кг. Этот хороший результат был достигнут за счет снижения затрат на корм в опытной группе мальков на 11,52 % по сравнению с кормом, полученным в пресс-грануляторе.

Благодаря лучшим показателям использования и конверсии корма в опытной группе мальков карпа были достигнуты и лучшие экономические показатели (таблица 5).

Таблица 5 – Экономическая эффективность использования гранулированного комбикорма для кормления мальков карпа

Table 5 – Economic efficiency of using for feeding carp fry with granulated mixed feeds

Показатели / Indicators	Контрольная группа / Control group	Опытная группа / Experimental group
Суммарный прирост живой массы рыбы, кг / Total live weight gain of fish, kg	8,99	10,02
Себестоимость живой массы рыбы, руб./кг / Cost of live weight gain of fish, rubles/kg	54,56	43,92
Общая себестоимость прироста живой массы рыбы, руб. / Total cost of fish live weight gain, rubles	490,49	439,64
Цена реализации рыбы, руб./кг / Realization price of fish, rubles/kg	200	200
Реализационная стоимость прироста живой массы рыбы, руб. / Realization cost of fish live weight gain, rubles	1798	2004
Прибыль, руб. / Profit, rubles	1307,51	1564,36
Рентабельность, % / Profitability, %	72,70	77,06

Как видно из данных в таблице 5, использование для кормления мальков карпа гранулированного комбикорма, произведенного на технологической линии с корзинным гранулятором, более экономически выгодно, чем корма, выпущенного на линии с пресс-гранулятором с плоской матрицей. Для опытной группы мальков карпа, получавшей комбикорм, произведенный на линии с корзинным гранулятором, прибыль была выше на 19,6 %, а рентабельность больше на 4,36 процентных пункта, чем для контрольной группы.

Результаты проведенного опыта и расчета технико-экономических показателей демонстрируют, что замена в технологической линии приготовления гранулированного комбикорма для рыб традиционного пресс-гранулятора с плоской матрицей на инновационный корзинный гранулятор оправдана технически, так как позволяет улучшить качество гранул, а именно снизить крошимость и повысить водостойкость без увеличения энергозатрат. Такая замена оправдана и экономически, так как улучшение качества гранул корма, произведенных методом влажного гранулирования, при неизменной его себестоимости приводит к снижению его расхода на единицу прироста живой массы прудовой рыбы, что увеличивает рентабельность аквакультурного производства.

Выводы. Установлено, что корзинный гранулятор может эффективно заменить пресс-гранулятор с плоской матрицей в небольшой внутрихозяйственной технологической линии производства гранулированных комбикормов для прудовых рыб, улучшив качество гранул корма, в частности, повысив их водостойкость.

Лучшее качество гранул корма, произведенных на корзинном грануляторе, обеспечило снижение расхода комбикорма и кормового коэффициента в опытной группе мальков карпа по сравнению с контрольной на 11,5 и 25,5 %, соответственно.

Снижение расхода комбикорма на единицу прироста живой массы привело к уменьшению затрат и снижению себестоимости живой массы мальков карпа на 19,5 %. Для опытной группы мальков карпа, получавшей комбикорм, произведенный на линии с корзинным гранулятором, прибыль была выше на 19,6 %, а рентабельность больше на 4,36 %, чем при использовании корма, произведенного на технологической линии с пресс-гранулятором.

Таким образом, предлагаемая технологическая линия приготовления гранулированных комбикормов для прудовых рыб является экономически эффективной, особенно при производстве корма для малька карпа, и может быть рекомендована для применения в небольших сельхозпредприятиях.

Conclusions. It is established that the basket granulator can effectively replace the press pelletiser with a flat press die in a small on-farm processing line for production mixed feed for pond fish. Its application will improve the quality of feed pellets, particularly its water resistance.

The better quality of feed pellets produced in the basket granulator provided a reduction in mixed feed consumption and feed conversion ratio in the experimental group of carp fry compared to the control group by 11.5 and 25.5 %, respectively.

Reduction of mixed feed consumption per unit of live weight gain led to a decrease in costs and the cost of carp fry live weight by 19.5 %. Profit was higher by 19.6 %, and profitability was higher by 4.36 % for the experimental group of carp fry, which received mixed feed produced on the processing line with a basket granulator, than in the use of feed produced on the processing line with a press pelletiser.

Thus, the proposed processing line for preparation of pelleted mixed feed for pond fish is cost-effective, especially in the production of feed for carp fry, and can be recommended for use in small agricultural enterprises.

Библиографический список

1. Волошин Г. А., Акимов Е. Б., Артемов Р. В., Гершунская В. В. Состояние и перспективы развития рынка комбикормов для индустриальной аквакультуры в Российской Федерации. Труды ВНИРО. 2022. Т. 190. С. 163-169.
2. Агеев В. Ю., Кошак Ж. В. Современное состояние и перспективы развития комбикормов для пресноводных рыб. Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. 2016. № 32. С. 75-85.
3. Литвинова Т. Г. Экономическая эффективность производства конечной продукции прудового рыбоводства под влиянием развития собственного кормопроизводства в рыбхозах первой зоны. Аграрный вестник Урала. 2017. № 8. С. 86-94.
4. Осенний В. В., Турлий С. И., Бершицкий Ю. И. Экономическая эффективность организации внутрихозяйственной переработки зерна. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 58. С. 60-66.
5. Ferenczi D., Bodnar K. The role of cereals in carp feeding (short review). Research Journal of Agricultural Science. 2024. V. 56. № 1. Pp. 77-83.
6. Савостин Д. С., Савостин С. Д., Магомедов М. Д., Строев В. В. Факторы и резервы повышения эффективности развития комбикормовых предприятий малого бизнеса. Экономические системы. 2022. Т. 15. № 1. С. 110-119.
7. Gao S., Jin J., Liu H., Han D., Zhu X., Yang Y., Xie S. Effects of pelleted and extruded feed of different ingredients particle sizes on feed quality and growth performance of gibel carp (*Carassius gibelio* var. CAS V). Aquaculture. 2019. V. 511. P. 734236.
8. Харченко Е. Н., Ульрих Е. В., Колокольцова Е. А. Эффективность использования полнорационного гранулированного комбикорма для садкового карпа. Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 3. С. 55-57.
9. Kumaraguru Vasagam K. P., Ambasankar K., Dayal J. S. An overview of aquafeed formulation and processing. Advances in Marine and Brackishwater Aquaculture. 2015. Pp. 227-240.
10. Blagov D. A., Gizatov A. Y., Smakuyev D. R., Kosilov V. I., Pogodaev V. A., Tamaev S. A. Overview of feed granulation technology and technical means for its implementation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. V. 613. P. 012018.
11. Nenciu F., Voicea I., Stefan V., Nae G., Matache M., Milian G., Arsenoia V. N. Experimental research on a feed pelletizing equipment designed for small and medium-sized fish farms. INMATEH-Agricultural Engineering. 2022. V. 67. No 2. Pp. 374-383.
12. Zukowski S. R., Kodam M., Khurana S. Performance comparison of dome and basket extrusion granulation. Chemical Engineering Research and Design. 2020. V. 160. Pp. 190-198.
13. Fekete R., Peciar P., Juriga M., et al. Pressure and Liquid Distribution under the Blade of a Basket Extruder of Continuous Wet Granulation of Model Material. Journal of Manufacturing and Materials Processing. 2024. V. 8. No 3. P. 127.
14. Gageanu I., Cujbescu D., Persu C. et al. Influence of input and control parameters on the process of pelletizing powdered bioweight. Energies. 2021. V. 14. P. 4104.
15. Peeters M., Jiménez A. A. B., Matsunami K., Ghijs M., et al. Analysis of the effect of formulation properties and process parameters on granule formation in twin-screw wet granulation. International Journal of Pharmaceutics. 2024. V. 650. P. 123671.
16. Астренков А. В., Радчиков В. Ф., Гадлевская Н. Н., Литвинчук К. Г. Влияние разных комбикормов на эффективность выращивания карпа. Зоотехническая наука Беларуси. 2021. Т. 56. № 1. С. 140-146.
17. Коваленко М. В., Красильникова А. А., Кобозев А. О. Сравнительная оценка применения сухих полнорационных комбикормов европейского производства при выращивании карпов кои *Cyprinus carpio haematopterus*. Вестник рыбохозяйственной науки. 2018. Т. 5. № 2. С. 37-44.
18. Раджабов Ф. М., Азизов Ф. Ф., Кононенко С. И. Эффективность использования гранулированных комбикормов при выращивании растительноядных рыб в поликультуре с карпом. Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. 2018. Т. 7. № 1. С. 128-132.
19. Зуева М. С., Мирошникова Е. П., Аринжанов А. Е., Киякова Ю. В. Опыт применения новой кормовой добавки в кормлении карпа (*Cyprinus carpio*). Аграрный научный журнал. 2023. № 4. С. 44-49.
20. Kankainen M., Setälä J., Berrill I. K., Ruohonen K., Noble C., Schneider O. How to measure the economic impacts of changes in growth, feed efficiency and survival in aquaculture. Aquaculture Economics & Management. 2012. V. 16. No. 4. Pp. 341-364.
21. Markovic Z., Stankovic M., Raskovic B., Dulic Z., Zivic I., Poleksic V. Comparative analysis of using cereal grains and compound feed in semi-intensive common carp pond production. Aquaculture International. 2016. V. 24. Pp. 1699-1723.
22. Макарова Г. П. Экономическая эффективность выращивания карпов при введении в рацион кормовой добавки Набикат. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2019. № 1. С. 128-131.
23. Радчиков В. Ф., Столович В. Н., Гадлевская Н. Н. и др. Способ снижения себестоимости выращиваемого карпа. Зоотехническая наука Беларуси. 2021. Т. 56. № 1. С. 278-285.
24. Гамыгин Е. А., Багров А. М., Житний Б. Г. Проблема обеспечения стартовыми кормами отечественного производства рыбохозяйственных предприятий РФ. Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2015. № 10. С. 55-59.

References

1. Voloshin G. A., Akimov E. B., Artemov R. V., Gershunskaya V. V. The state and prospects of development of the feed market for industrial aquaculture in the Russian Federation. *Proceedings of VNIRO*. 2022. V. 190. Pp. 163-169.
2. Ageyets V., Koshak Z. Modern status and compound feedstuff development prospects for fresh water fishes. *Belarus Fish Industry Problems*. 2016. No 32. Pp. 75-85.
3. Litvinova T. G. Economic efficiency of end product output for pond fish farming in the fish farms of the first zone. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2017. No 8. Pp. 86-94.
4. Osenniy V. V., Turliy S. I., Bershitsky Yu. I. Economic efficiency of the organization on-farm processing of grain. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2016. No 58. Pp. 60-66.
5. Ferenczi D., Bodnar K. The role of cereals in carp feeding (short review). *Research Journal of Agricultural Science*. 2024. V. 56. No 1. Pp. 77-83.
6. Savostin D. S., Savostin S. D., Magomedov M. D., Stroeve V. V. Factors and reserves for improving development efficiency feed mills of small businesses. *Economic Systems*. 2022. V. 15. № 1. Pp. 110-119.
7. Gao S., Jin J., Liu H., Han D., Zhu X., Yang Y., Xie S. Effects of pelleted and extruded feed of different ingredients particle sizes on feed quality and growth performance of gibel carp (*Carassius gibelio* var. CAS V). *Aquaculture*. 2019. V. 511. P. 734236.
8. Kharchenko E. N., Ulrikh E. V., Kolokoltsova E. A. Performance efficiency of complete granulated mixed feed for cage carp. *Achievements of Science and Technology of AICis*. 2019. V. 33. No 3. Pp. 55-57.
9. Kumaraguru Vasagam K. P., Ambasankar K., Dayal J. S. An overview of aquafeed formulation and processing. *Advances in Marine and Brackishwater Aquaculture*. 2015. Pp. 227-240.
10. Blagov D. A., Gizatov A. Y., Smakuyev D. R., Kosilov V. I., Pogodaev V. A., Tamaev S. A. Overview of feed granulation technology and technical means for its implementation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. V. 613. P. 012018.
11. Nenciu F., Vocea I., Stefan V., Nae G., Matache M., Milian G., Arsenoia V. N. Experimental research on a feed pelletizing equipment designed for small and medium-sized fish farms. *INMATEH-Agricultural Engineering*. 2022. V. 67. No 2. Pp. 374-383.
12. Zukowski S. R., Kodam M., Khurana S. Performance comparison of dome and basket extrusion granulation. *Chemical Engineering Research and Design*. 2020. V. 160. Pp. 190-198.
13. Fekete R., Peciar P., Juriga M., et al. Pressure and Liquid Distribution under the Blade of a Basket Extruder of Continuous Wet Granulation of Model Material. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*. 2024. V. 8. No 3. P. 127.
14. Gageanu I., Cujbescu D., Persu C. et al. Influence of input and control parameters on the process of pelletizing powdered bioweight. *Energies*. 2021. V. 14. P. 4104.
15. Peeters M., Jiménez A. A. B., Matsunami K., Ghijs M., et al. Analysis of the effect of formulation properties and process parameters on granule formation in twin-screw wet granulation. *International Journal of Pharmaceutics*. 2024. V. 650. P. 123671.
16. Astrenkov A. V., Radchikov V. F., Gadlevskaya N. N., Litvinchuk K. G. Effect of different compound feeds on efficiency of carp rearing. *Zootechnical Science of Belarus*. 2021. V. 56. No 1. Pp. 140-146.
17. Kovalenko M. V., Krasilnikova A. A., Kobozev A. O. Comparative assessment of dry all-in-one feeds manufactured in Europe in breeding of the amur carp (*Cyprinus carpio haematopterus*). *Bulletin of Fisheries Science*. 2018. V. 5. No 2. Pp. 37-44.
18. Rajabov F. M., Azizov F. F., Kononenko S. I. Efficiency of granulated mixed fodders in growing herbivorous fish in polyculture with carp. *Collection of Scientific Papers of KRCAHVM*. 2018. V. 7. No 1. Pp. 128-132.
19. Zueva M. S., Miroshnikova E. P., Arinzhanov A. E., Kilyakova Yu. V. Experience of application of a new feed additive in carp feeding (*Cyprinus carpio*). *The Agrarian Scientific Journal*. 2023. No 4. Pp. 44-49.
20. Kankainen M., Setälä J., Berrill I. K., Ruohonen K., Noble C., Schneider O. How to measure the economic impacts of changes in growth, feed efficiency and survival in aquaculture. *Aquaculture Economics & Management*. 2012. V. 16. No 4. Pp. 341-364.
21. Markovic Z., Stankovic M., Raskovic B., Dulic Z., Zivic I., Poleksic V. Comparative analysis of using cereal grains and compound feed in semi-intensive common carp pond production. *Aquaculture International*. 2016. V. 24. Pp. 1699-1723.
22. Makarova G. P. Economic efficiency of carp rearing with feed additive Nabikat in a diet. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2019. No 1. Pp. 128-131.
23. Radchikov V. F., Stolovich V. N., Gadlevskaya N. N. et al. The ways to reduce the price cost of carp growing. *Zootechnical Science of Belarus*. 2021. V. 56. No 1. Pp. 278-285.
24. Gamygin E. A., Bagrov A. M., Zhitny B. G. Providing problem starting stems of a domestic production fishery the enterprises of the Russian Federation. *Fish Breeding and Fisheries*. 2015. No 10. Pp. 55-59.

Информация об авторах

Брагинет Сергей Валерьевич, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник отдела переработки продукции растениеводства, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (Российская Федерация, 347740, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 14), ORCID: 0000-0001-7137-5692, e-mail: sbraginets@mail.ru

Бахчевников Олег Николаевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела переработки продукции растениеводства, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (Российская Федерация, 347740, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 14), ORCID: 0000-0002-3362-5627, e-mail: oleg-b@list.ru

Деев Константин Александрович, аспирант, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (Российская Федерация, 347740, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 14), ORCID: 0000-0002-4160-0382, e-mail: prosto.deev@yandex.ru

Authors' Information

Braginets Sergey Valereyevich, Doctor of Engineering Sciences, Leading Researcher of the Department, Agricultural Research Centre Donskov (Russian Federation, 347740, Rostov region, Zernograd, Lenin str., 14), ORCID: 0000-0001-7137-5692, e-mail: sbraginets@mail.ru

Bakhchevnikov Oleg Nikolayevich, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher of the Department, Agricultural Research Center Donskov (Russian Federation, 347740, Rostov region, Zernograd, Lenin str., 14), ORCID: 0000-0002-3362-5627, e-mail: oleg-b@list.ru

Deev Konstantin Aleksandrovich, Postgraduate Student, Agricultural Research Centre Donskov (Russian Federation, 347740, Rostov region, Zernograd, Lenin str., 14), ORCID: 0000-0002-4160-0382, e-mail: prosto.deev@yandex.ru

**THE EFFECTIVENESS OF ENRICHMENT OF CALF DIET WITH TRACE ELEMENTS
IN THE MOUNTAINOUS CONDITIONS OF DAGESTAN**¹Varakin A. T., ²Alilov M. M., ²Umakhanov M. A., ³Gayirbegov D. Sh.¹Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation²Federal Agricultural Center of the Republic of Dagestan
Makhachkala, Russian Federation³National Research Mordovian State University named after N. P. Ogarev
Saransk, Russian Federation

Corresponding author E-mail: varakinat58@mail.ru

Received 04.08.2025

Submitted 15.09.2025

Abstract

Introduction. The main reason for the low productivity and mortality of young cattle in the mountainous conditions of the Republic of Dagestan is insufficient and improper feeding. Due to the low content of mineral nutrients in the feed, the animals receive rations that are deficient in these nutrients, which leads to weakened animal bodies, low productivity, and diseases. Therefore, providing their bodies with all the nutrients recommended by the Russian Academy of Agricultural Sciences (2003) in mountainous conditions is highly necessary and relevant. Therefore, providing their bodies with all the nutrients required by the Russian Academy of Agricultural Sciences (2003) in mountainous conditions is very necessary and relevant. In this regard, our research was aimed at studying the effect of diets enriched with mineral salts on the growth, development, and biochemical status of calves during the milking period in the mountainous zone of the Republic of Dagestan. **Material and methods.** In the conditions of the B. Aminov State Farm, located in the mountainous zone of the republic, a scientific and economic experiment was conducted on young cattle. For this purpose, using the VIZh method, two groups of Caucasian brown heifers were formed, 10 heads each. In this experiment, the effects of diets enriched with copper, zinc, cobalt, and iodine salts on the growth, development, and biochemical status of six-month-old calves raised in the mountainous region of Dagestan were studied. **Results and conclusions.** The conducted studies showed that calves grown on rations enriched with copper, zinc, cobalt, and iodine salts to the levels recommended by the Russian Academy of Agricultural Sciences (2003), had better exterior indicators by the end of the experiment and were 8.8 kg or 7.2 % heavier than their counterparts who received rations deficient in these elements.

Keywords: calf feeding, trace elements, calf diets, calf live weight, body article measurements, calf blood counts.

Citation. Varakin A. T., Alilov M. M., Umakhanov M. A., Gayirbegov D. Sh. The effectiveness of enrichment of calf diet with trace elements in the mountainous conditions of Dagestan. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 324-332 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-36.

Author's contribution. All authors of the study were directly involved in the planning, conducting or analyzing this work. The authors of this article are familiar with the submitted final version and approved it.

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

УДК 636.04.082.4

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБОГАЩЕНИЯ РАЦИОНА ТЕЛЯТ МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ
В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ ДАГЕСТАНА**¹Варакин А. Т., доктор сельскохозяйственных наук, профессор²Алилов М. М., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник²Умаханов М. А., кандидат биологических наук, старший научный сотрудник³Гайирбеков Д. Ш., доктор сельскохозяйственных наук, профессор¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

²ФГБНУ «Федеральный аграрный центр Республики Дагестан»

г. Махачкала, Российская Федерация

³ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарёва»

г. Саранск, Российская Федерация

Актуальность. Основной причиной низкой продуктивности и отхода молодняка крупного рогатого скота в горных условиях Республики Дагестан является недостаточный уровень кормления. Из-за низкого содержания в кормах минеральных элементов питания, животные получают дефицитные по ним рационы, что и приводит к ослаблению их организма, низкой продуктивности и болезням.

Поэтому обеспечение организма животных, в частности телят всеми нормируемыми элементами питания, рекомендуемыми РАСХН (2003), в горных условиях является весьма необходимым и актуальным. В связи с этим, наши исследования были направлены на изучение влияния рационов, обогащенных солями минеральных веществ, на рост, развитие и биохимический статус телят молочного периода выращивания в условиях горной зоны Республики Дагестан. **Материалы и методы.** В условиях СПК «Племхоз имени Б. Аминова», расположенного в горной зоне республики, был проведён научно-хозяйственный опыт на молодняке крупного рогатого скота. Для этого по методике ВИЖа были сформированы две группы тёлочек кавказской бурой породы по 10 голов в каждой. В ходе данного эксперимента изучали влияние рационов, обогащённых солями меди, цинка, кобальта и йода, на рост, развитие и биохимический статус телят до шести месячного возраста, выращиваемых в условиях горной зоны Республики Дагестан. **Результаты и выводы.** Проведённые исследования показали, что телята, выращиваемые на рационах, обогащённых солями меди, цинка, кобальта и йода до рекомендуемых РАСХН норм (2003), к концу эксперимента имели лучшие экстерьерные показатели и на 8,8 кг или на 7,2 % превосходили по живой массе аналогов, получавших дефицитные по этим элементам рационы.

Ключевые слова: кормление телят, микроэлементы, рационы телят, живая масса телят, промеры статей тела, показатели крови телят.

Цитирование. Варакин А. Т., Алилов М. М., Умаханов М. А., Гайирбеков Д. Ш. Эффективность обогащения рациона телят микроэлементами в горных условиях Дагестана. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 324-332. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-36.

Авторский вклад. Все авторы проведённого исследования принимали непосредственное участие в планировании, проведении или анализе данной работы. Авторы настоящей статьи ознакомлены с представленным окончательным её вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Все авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Технологическими особенностями эффективного ведения современного животноводства является обеспечение биологической полноценности рационов разных видов и возрастных групп сельскохозяйственных животных [1-9].

При этом одним из важных аспектов полноценного кормления животных является их обеспеченность минеральным питанием, что требует введения в рационы кормовых добавок недостающих макро- и микроэлементов [10-16].

Все минеральные вещества, являясь структурным материалом тела и компонентами различных жизненно необходимых соединений, принимают активное участие в обмене веществ в организме животных.

Следует отметить, что переваримости и использованию поступающих в организм с кормом питательных веществ, дальнейшему росту и развитию молодого организма, и в частности у телят в значительной степени способствует биологическая ценность состава их рациона [17, 18].

В связи с тем, что в кормах, производимых в горных условиях Республики Дагестан, наблюдается большой дефицит концентрации меди, цинка, кобальта и йода, наши исследования были направлены на изучение влияния рационов, обогащенных солями этих элементов, на рост, развитие и биохимический статус телят, выращиваемых в выше названном регионе Российской Федерации.

Материалы и методы. Все исследования проводились в условиях СПК «Племхоз имени Б. Аминова» Кулинского района Республики Дагестан. Схема опыта и особенности кормления тёлочек кавказской бурой породы представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Схема научно-хозяйственного опыта
Table 1 – Scheme of scientific and economic experience

Группа / Group	Количество, голов / Number of livestock	Особенности кормления / Feeding features
1-я / 1st	10	Хозяйственный рацион (ХР) / Household ration (HR)
2-я / 2nd	10	Хозяйственный рацион + соли микроэлементов / Household ration + trace element salts

Первые 10 суток профилактического периода, подопытные телята содержались в индивидуальных клетках, после чего, в соответствии со схемой опыта, их переводили в просторные секции по 10 голов в каждую. В пастбищный период телята, с учётом возраста и живой массы, начиная с 4-х месячного возраста, получали траву горного луга в количестве от 7 до 10 кг.

Рационы кормления подопытных животных были составлены для достижения среднесуточных приростов живой массы 550-600 г. С учётом возраста и массы тела телят проводилась их ежемесячная корректировка. Животные первой группы, в зависимости от возраста, получали основной хозяйственный рацион, в который в первый месяц выращивания входили 6 кг цельного молока, 0,2 кг сена клеверно-разнотравного и 0,16 кг комбикорма; во второй месяц – 4 кг цельного молока, 4 кг сыворотки, 0,3 кг сена и 0,25 кг комбикорма; в третий – 2 кг молока, 3 кг сыворотки, 1,2 кг сена клеверного и 0,7 кг комбикорма; в четвёртый месяц – 1,2 кг сена, 7 кг травы горного луга и 0,7 кг комбикорма; в пятый месяц – 1,2 кг сена, 8 кг травы и 0,8 кг комбикорма и в шестой месяц выращивания – 1,2 кг сена, 10 кг травы и 1,0 кг комбикорма. Вдобавок к основному рациону животным второй группы в составе комбикорма один раз в сутки задавались соли минеральных добавок (таблица 3).

В ходе опыта проводили ежедекадный учёт съеденных кормов и их остатков, а также ежемесячное взвешивание телят, утром до кормления. В возрасте 1, 3 и 6 месяцев выполняли измерение высотных и широтных промеров телосложения у 3-х голов из каждой группы и у этих же животных, утром до кормления, из ярёмной вены брали кровь, анализ которой проводили по общепринятым методикам. Полученный в эксперименте цифровой материал обрабатывали с использованием биометрических методов.

Результаты и обсуждение. Перед началом эксперимента все корма, входящие в состав рационов телят, были исследованы на содержание микроэлементов атомно-абсорбционным методом. Полученные результаты анализа кормов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Содержание микроэлементов в кормах хозяйства, мг/кг натурального корма
Table 2 – Micronutrient content in farm feed, mg/kg of natural feed

Корма / Feed	Cu	Zn	Co	J
Молоко цельное / Whole milk	0,20	2,90	0,02	0,02
Сыворотка / The serum	0,10	1,10	следы	следы
Трава горного луга / The grass of the mountain meadow	1,10	3,20	0,09	0,05
Сено клеверно-разнотравное / Clover-grass hay	3,70	21,60	0,40	0,10
Комбикорм / Compound feed	5,90	35,40	0,10	0,10

Проведённые анализы кормов хозяйства (таблица 2), показали, что они по содержанию меди, цинка, кобальта и йода являются дефицитными, поэтому на наш взгляд, соли этих элементов должны быть неотъемлемой частью рационов молодняка, выращиваемого в горной местности.

Согласно полученному анализу кормов, нами, исходя из норм потребности тёлочек и количественного содержания микроэлементов в кормах, был установлен дефицит этих элементов в основных рационах и рассчитано количество добавляемых в них солей (таблица 3), что способствовало доведению всех дефицитных микроэлементов до рекомендуемых РАСХН (2003) норм и сбалансировать рационы, которые в последующем задавались телятам второй группы.

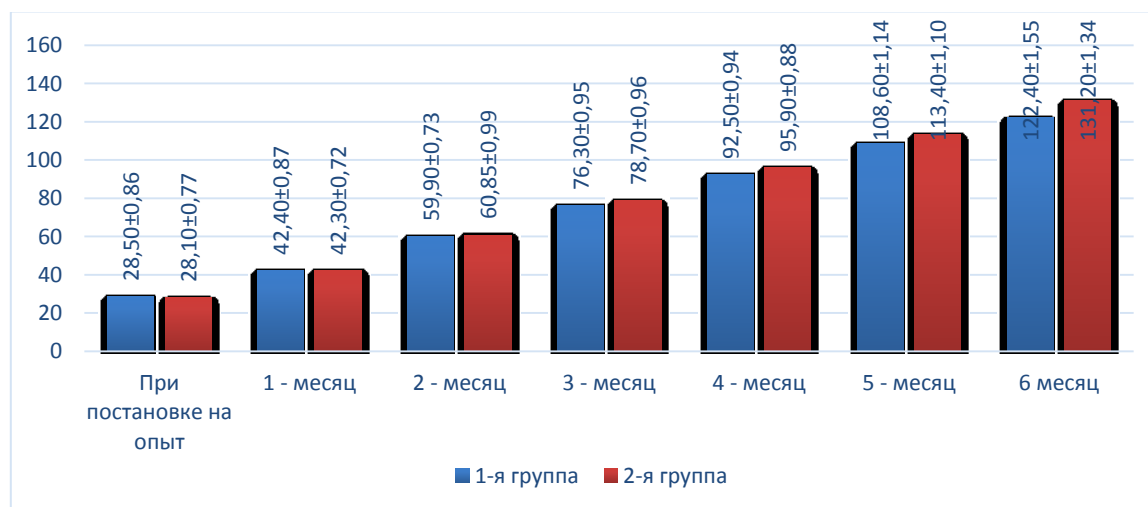


Рисунок 1 – Динамика живой массы телят, кг
Figure 1 – Dynamics of calf live weight, kg

Из результатов проведённых исследований нетрудно заметить, что при практически одинаковой постановочной живой массе (28,1-28,5 кг), животные из второй группы, получавшие рацион, сбалансированный по рекомендуемым элементам питания, уже начиная со второго месяца эксперимента, начали превосходить по массе тёлочек первой группы. Однако отставание телят первой группы в живой массе в этом возрасте невелико и статистически было недостоверно (рисунок 1). В дальнейшем, у тёлочек второй группы напряженность в нарастании живой массы сохраняется и к концу эксперимента они превосходили первую группу по этому показателю на 8,8 кг или на 7,2 % ($p \leq 0,001$).

Достаточное минеральное питание телят второй группы ускорило и среднесуточные приросты их живой массы, конкретные результаты которых представлены в таблице 4.

Из данной таблицы видно, что начиная с первого месяца эксперимента суточные приросты телят второй группы заметно выше, чем в первой группе. При этом у животных первой группы, получавших корма хозяйственного рациона, суточные приросты массы тела с возрастом снижались, а второй, получавших сбалансированный рацион, они, наоборот, с возрастом животных повышались. Однако, следует также отметить, что статистически достоверная разница между группами была лишь на последнем месяце опыта ($p \leq 0,05$).

Таким образом, телята второй группы достаточно быстро приспособились к кормлению с введением в рационы испытуемых минеральных добавок и заметно лучше их использовали в вещества своего тела.

Таблица 4 – Динамика среднесуточных приростов телят, г
Table 4 – Dynamics of average daily growth of calves, g

Месяцы / Months	Группа / Group	
	1-я / 1st	2-я / 2nd
1	556,0±23,6	568,0±22,4
2	583,3±27,3	618,0±28,2
3	546,0±26,6	595,0±31,3
4	540,0±32,2	573,3±26,5
5	536,0±33,6	583,3±40,2
6	460,0±29,3	593,3±36,4

Вместе с этим научный и практический интерес вызывают исследования среднего суточного прироста живой массы подопытных тёлочек в среднем за время проведения эксперимента. Такие полученные данные показаны на рисунке 2.

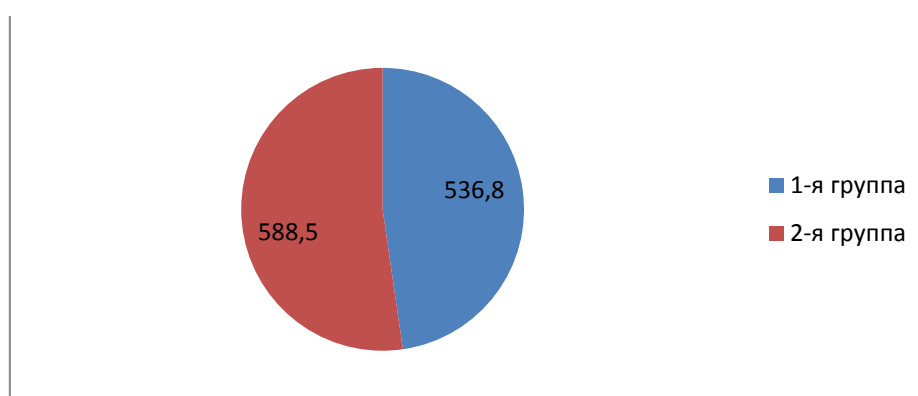


Рисунок 2 – Среднесуточный прирост живой массы тёлочек в среднем за опыт, г
Figure 2 – Average daily gain in live weight of heifers on average during the experiment, g

Так (рисунок 2), телята первой группы имели среднесуточный прирост живой массы (г) – 536,8±16,85, тем самым уступая второй группе по величине этого показателя, который был равен – 588,5±7,56.

Включение в состав рациона комплекса солей микроэлементов положительно сказалось не только на приростах живой массы телят, но и на развитие их экстерьерных форм (таблица 5).

Проведенные исследования показали, что во второй группе, получавшей рацион с добавкой солей меди, цинка, кобальта и йода, за наблюдаемые периоды высотные и широтные промеры телят были более выраженными, чем в первой группе.

Таблица 3 – Содержание, дефицит микроэлементов в рационах телят и доведение их до норм потребности
Table 3 – Content, deficiency of micronutrients in calf diets, and bringing them up to the required levels

Возраст, мес. / Age, month	Содержится в основном рационе, мг / Found in the main diet, mg				Дефицит в основном рационе, мг / Deficiency in the main diet, mg				Количество добавляемых в рационы солей, мг / Amount of salts added to the diet, mg				Количество в рационе телят 2-й группы, мг / Amount in the diet of calves in the 2nd group, mg			
	Cu	Zn	Co	J	Cu	Zn	Co	J	Сернокислая медь / Sulfuricacid copper	Сернокислый цинк / Sulfuricacid zinc	Хлористый кобальт / Cobalt chloride	Йодистый калий / Potassium iodide	Cu	Zn	Co	J
1	2,88	27,38	0,22	0,15	5,12	17,62	0,38	0,25	27,00	79,0	1,53	0,33	8,0	45,0	0,6	0,4
2	3,78	27,33	0,23	0,19	4,22	17,67	0,37	0,21	17,90	79,0	1,50	0,28	8,0	45,0	0,6	0,4
3	9,27	56,80	0,59	0,23	7,73	44,20	0,71	0,47	39,28	197,44	2,90	0,62	17,0	101,0	1,3	0,7
4	16,86	76,64	1,19	0,55	0,14	24,36	0,11	0,15	71,43	108,82	0,45	0,20	17,0	101,0	1,3	0,7
5	17,96	79,84	1,28	0,60	9,04	80,16	0,92	0,40	76,09	358,00	3,70	0,53	27,0	160,0	2,2	1,0
6	21,34	93,32	1,48	0,72	5,66	66,68	0,72	0,28	90,42	298,0	2,90	0,37	27,0	160,0	2,2	1,0

Так, их превосходство по высоте в холке у трёхмесячных особей составило – на 1,4 см, а шестимесячных – на 2,4 см, высоте в спине – на 4,1 и – на 1,8 см, высоте в крестце – на 3,7 и 1,6 см, по косой длине туловища – на 1,9 и 3,4 см, по глубине груди – на 1,4 и 1,0 см, по обхвату груди – на 3,7 и 1,4 см, по ширине в маклоках – на 1,1 и 1,8 см соответственно. В целом же, можно отметить, что к концу эксперимента у телят второй группы, в общем, сохраняется закономерность повышения показателей роста и развития по сравнению с аналогами из первой группы.

Таблица 5 – Изменение основных промеров у телят, см
Table 5 – Changes in the main measurements of calves, cm

Промеры / Soundings	В начале опыта / At the beginning of the experience		В середине опыта / In the middle of the experience		В конце опыта / At the end of the experience		Разница в пользу 2-й группы / Difference in favor of 2nd group at the end of the experiment
	1-я группа / 1st group	2-я группа / 2nd group	1-я группа / 1st group	2-я группа / 2nd group	1-я группа / 1st group	2-я группа / 2nd group	
Высота / Height: - в холке / - at the withers	63,60	63,50	78,20	79,60	91,10	93,50	+2,4
- в спине /	65,30	65,60	81,30	85,40	92,40	94,20	+1,8
- в крестце / - in the back	68,20	86,30	85,60	89,30	97,70	99,30	+1,6
Косая длина туловища / The oblique length of the body	68,60	69,40	91,60	93,50	105,10	108,50	+3,4
Глубина груди / Chest depth	27,60	27,60	33,70	35,10	41,30	42,30	+1,0
Ширина / Width: - груди / - piles	16,20	16,20	20,50	22,40	26,40	27,80	+1,40
- в маклоках / - in mockups	17,20	17,30	21,30	23,70	28,60	30,40	+1,80
Обхват / Coverage: - груди / - breasts	72,20	72,50	99,30	103,60	112,80	114,40	+1,60
- пасты / - pasterns	9,10	9,40	12,10	12,30	13,40	13,80	+0,40

В научном и практическом плане имеет большую значимость, когда на фоне зоотехнических исследований выполняется работа по определению гематологических показателей животных [19-22].

Поэтому нами, с целью выявления влияния рациона, обогащенного медью, цинком, кобальтом и йодом на состояние здоровья телят, изучался и морфологический состав их крови, что отражено в таблице 6.

Для этого систематически, в начале, середине и в конце опыта, утром до кормления, из яремной вены брали кровь. Если не принимать во внимание данные за первый месяц опыта, как месяца начала опыта, то к середине опыта существенной разницы в показателях крови телят первой и второй групп не было выявлено. Однако иная картина была в конце эксперимента. Так, количество эритроцитов в конце 6-го месяца опыта во второй группе по сравнению с первой группой было выше – на 13,5 % ($p \leq 0,05$), а гемоглобина – на 18,8 % ($p \leq 0,01$).

Разница же в концентрации лейкоцитов между группами была статистически незначительной.

Таблица 6 – Морфологический состав крови телят
Table 6 – Morphological composition of calf blood

Возраст, мес. / Age, month	Эритроциты, $10^{12}/л$ / Red blood cells, $10^{12}/l$	Лейкоциты, $10^9/л$ / White blood cells, $10^9/l$	Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/L
1-я группа / 1st group			
1	$6,22 \pm 0,15$	$6,98 \pm 0,21$	$88,2 \pm 2,45$
3	$6,25 \pm 0,54$	$7,20 \pm 0,28$	$94,3 \pm 2,52$
6	$6,94 \pm 0,18$	$6,95 \pm 0,22$	$95,8 \pm 2,43$
2-я группа / 2nd group			
1	$6,35 \pm 0,17$	$6,88 \pm 0,29$	$93,5 \pm 2,11$
3	$7,15 \pm 0,18$	$6,97 \pm 0,23$	$99,6 \pm 1,60$
6	$7,88 \pm 0,16$	$6,60 \pm 0,21$	$113,8 \pm 2,22$

Таким образом, обогащение рационов для телят молочного периода выращивания солями меди, цинка, кобальта и йода, в горных условиях Республики Дагестан до рекомендуемых РАСХН (2003) норм, способствует улучшению морфологического состава крови у исследуемых животных.

В зоотехнических исследованиях на молодых растущих животных весьма важным является изучение показателя абсолютного прироста живой массы за период проведения эксперимента, что показано на рисунке 3.

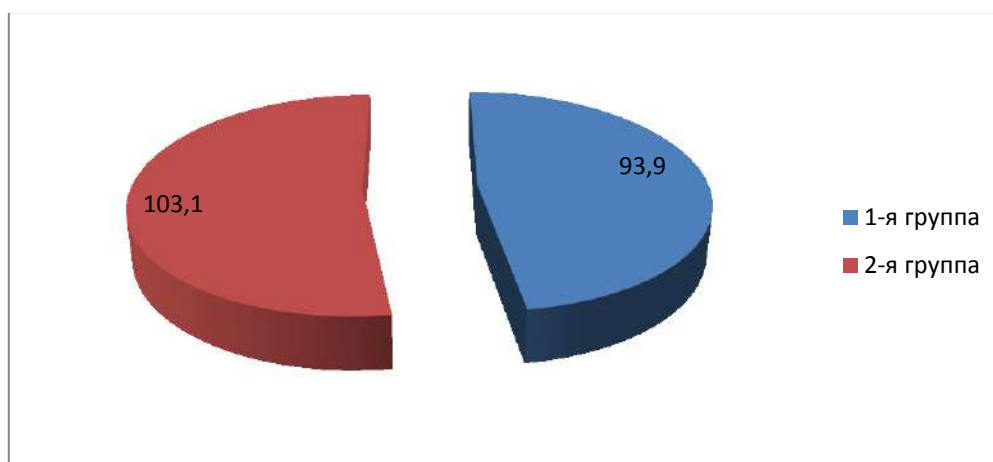


Рисунок 3 – Абсолютный прирост, кг
Figure 3 – Absolute weight gain, kg

Так (рисунок 3), проведённые расчеты показали, что к концу периода выращивания, абсолютный прирост живой массы телят первой группы составил – 93,9 кг, в то время как у тёлочек из второй группы он (103,1 кг) был на 9,2 кг или на 9,8 % выше.

По завершении эксперимента нами были рассчитаны затраты кормов на единицу прироста телят (таблица 7).

Таблица 7 – Затраты кормов
Table 7 – Feed costs

Группы / Group	Затраты ЭКЕ, кг / EKE costs, kg	
	Всего / in total	на 1 кг прироста / per 1 kg of gain
1-я	469,5	5,0
2-я	469,5	4,5

При этом у животных из второй группы затраты энергетических кормовых единиц на 1 кг прироста были на 10 % ниже, чем в первой группе. Таким образом, обогащение рационов кормления телят испытываемыми минеральными солями в горных условиях Республики Дагестан оказалось экономически выгодным.

Выводы. Таким образом, проведённый анализ кормов горной зоны Дагестана показывает недостаточное содержание в них меди, цинка, кобальта и йода. Обогащение рационов телят солями этих элементов до рекомендуемых РАСХН (2003) норм увеличивает приросты живой массы, улучшает экстерьер и показывает отсутствие отрицательного действия этих рационов на состояние их здоровья.

Conclusions. Thus, the analysis of the feed in the mountainous zone of Dagestan shows that it contains insufficient amounts of copper, zinc, cobalt, and iodine. Enriching the calves' diets with these elements to the recommended levels by the Russian Academy of Agricultural Sciences (2003) increases their live weight gain, improves their appearance, and demonstrates that these diets do not have a negative impact on their health.

Библиографический список

1. Гайирбегов Д. Ш. и др. Изменение состава молока свиноматок первого опороса во взаимосвязи с биологической ценностью рационов. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 3 (75). С. 217-223.
2. Умаханов А. М. и др. Влияние витаминно-минеральной подкормки на воспроизводительные функции коров кавказской бурой породы молочно-мясного типа в горной зоне Дагестана. Известия Дагестанского ГАУ. 2024. № 4 (24). С. 228-233.
3. Варакин А. Т. и др. Влияние новой кормовой добавки на продуктивность и физиологические показатели молочных коров. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1 (61). С. 222-231.
4. Дуборезов В. Кормление молочных коров по детализированным нормам. Молочное и мясное скотоводство. 2020. № 4. С. 52-55.
5. Варакин А. Т. и др. Производство говядины с использованием кормовых добавок. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 3 (63). С. 282-291.
6. Симонов Г., Магомедов М., Алигазиева П. Кормление КРС полнорационной смесью эффективнее. Комбикорма. 2013. № 10. С. 63-64.
7. Гайирбегов Д. Ш. и др. Химический состав и энергетическая ценность мяса бычков в зависимости от типа кормления. Проблемы развития АПК региона. 2017. Т. 29. № 1 (29). С. 71-74.
8. Симонов Г. А. и др. Эффективное кормление высокопродуктивных молочных коров на разных физиологических стадиях. Эффективное животноводство. 2018. № 1 (140). С. 28-29.
9. Ховатов Н. Э. и др. Эффективная кормовая добавка в рационах ремонтных свинок. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1 (69). С. 441-447.
10. Рассолов С. Н., Еранов А. М. Баланс азота, кальция и фосфора в рационе ремонтных свинок при скармливании препаратов селена и йода в комплексе с пробиотиком. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2011. № 10 (84). С. 54-56.
11. Юшкин Д. С. и др. Воспроизводительные качества хряков-производителей при использовании в рационе природного бишофита. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 4 (44). С. 177-182.
12. Ермолов С. М. Переваримость и использование питательных веществ рациона супоросных свиноматок под влиянием трепела камышловского месторождения Свердловской области. Аграрный вестник Урала. 2013. № 2 (108). С. 15-17.
13. Варакин А. Т. и др. Органический селен и дрожжевой пробиотик в рационах лактирующих свиноматок. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 4 (64). С. 152-161.
14. Зотеев В. С. и др. БВМК с цеолитовым туфом в рационе бычков. Комбикорма. 2013. № 8. С. 49-50.
15. Саломатин В. В. и др. Минеральные добавки в кормлении хряков-производителей. Свиноводство. 2020. № 7. С. 29-32.
16. Зотеев В. С. и др. Оптимизация уровня меди в рационе холостых овцематок. Овцы, козы, шерстяное дело. 2018. № 2. С. 31-34.
17. Мокроусов В. Е., Гайирбегов Д. Ш., Алигазиева П. А. Потребление, переваримость питательных веществ и обмен азота у 3-х месячных телят в зависимости от уровня содержания крезацина в рационах. Проблемы развития АПК региона. 2024. № 1. С. 118-123.
18. Мокроусов В. Е. и др. Использование кальция и фосфора телятами из рациона под действием кормовой добавки «Крезацин» в конце молочного периода. Известия Дагестанского ГАУ. 2024. № 4 (24). С. 197-201.
19. Батанов С. Д., Березкина Г. Ю., Килин В. В. Влияние минеральной добавки «Стимул» на биохимические показатели крови. Учёные записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины имени Н. Э. Баумана. 2014. Т. 220. С. 38-42.
20. Саломатин В. В. и др. Обмен веществ и естественная резистентность телят при включении в рацион комплексной минеральной добавки. Ветеринария. 2017. № 2. С. 57-59.
21. Симонов Г. А. и др. Влияние минеральной добавки на уровень общего белка и его фракций в сыворотке крови коров. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 1. С. 73-79.
22. Varakin A. T., et al. Hematological parameters of boars-producers at use of a natural mineral additive in a diet. International Journal of Innovative. Technology and Exploring Engineering. 2019. V. 9. I. 1. Pp. 3837-3841.

References

1. Gayirbegov D. Sh., et al. Changes in the composition of milk of sows of the first farrowing in relation to the biological value of diets. Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education. 2024. No 3 (75). Pp. 217-223.

2. Umakhanov A. M., et al. The influence of vitamin and mineral supplementation on the reproductive functions of Caucasian brown cows of the dairy and meat type in the mountainous zone of Dagestan. Dagestan GAU Proceedings. 2024. No 4 (24). Pp. 228-233.
3. Varakin A. T., et al. The effect of a new feed additive on the productivity and physiological parameters of dairy cows. Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education. 2021. No 1 (61). Pp. 222-231.
4. Duborezov V. Feeding dairy cows according to detailed standards. Dairy and beef cattle breeding. 2020. No 4. Pp. 52-55.
5. Varakin A. T., et al. Production of beef using feed additives. Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education. 2021. No 3 (63). Pp. 282-291.
6. Simonov G., Magomedov M., Aligazieva P. Feeding cattle with a complete mixture is more effective. Combined feed. 2013. No 10. Pp. 63-64.
7. Gairbegov D. Sh., et al. Chemical composition and energy value of bull meat depending on the type of feeding. Problems of development of the regional agro-industrial complex. 2017. V. 29. No 1 (29). Pp. 71-74.
8. Simonov G. A., et al. Efficient feeding of highly productive dairy cows at different physiological stages. Effective animal husbandry. 2018. No 1 (140). Pp. 28-29.
9. Khovатов N. E., et al. Efficient feed additive in the rations of repair pigs. Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education. 2023. No 1 (69). Pp. 441-447.
10. Rassolov S. N., Eranov A. M. Balance of nitrogen, calcium and phosphorus in the diet of replacement gilts when feeding selenium and iodine preparations in combination with a probiotic. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2011. No 10 (84). Pp. 54-56.
11. Yushkin D. S., et al. Reproductive qualities of breeding boars when using natural bischofite in the diet. Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education. 2016. No 4 (44). Pp. 177-182.
12. Ermolov S. M. Digestibility and use of nutrients in the diet of pregnant sows under the influence of tripoli of the Kamyshev deposit in the Sverdlovsk region. Agrarian Bulletin of the Urals. 2013. No 2 (108). Pp. 15-17.
13. Varakin A. T., et al. Organic selenium and yeast probiotic in the diets of lactating sows. Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education. 2021. No 4 (64). Pp. 152-161.
14. Zoteev V. S., et al. BVMK with zeolite tuff in the diet of bulls. Combined feeds. 2013. No 8. Pp. 49-50.
15. Salomatin V. V., et al. Mineral additives in feeding of breeding boars. Pig breeding. 2020. No 7. Pp. 29-32.
16. Zoteev V. S., et al. Optimization of copper levels in the diet of barren ewes. Sheep, goats, wool business. 2018. No 2. Pp. 31-34.
17. Mokrousov V. E., Gaiyrbegov D. Sh., Aligazieva P. A. Consumption, digestibility of nutrients and nitrogen metabolism in 3-month-old calves depending on the level of crezacin content in diets // Problems of development of the regional agro-industrial complex. 2024. No 1. Pp. 118-123.
18. Mokrousov V. E., et al. Use of calcium and phosphorus by calves from the diet under the influence of the feed additive "Krezacin" at the end of the milk period. Dagestan GAU Proceedings. 2024. No 4 (24). Pp. 197-201.
19. Batanov S. D., Berezkina G. Yu., Kilin V. V. Influence of mineral additive "Stimulus" on blood biochemical parameters. Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman. 2014. V. 220. Pp. 38-42.
20. Salomatin V. V., et al. Metabolism and natural resistance of calves when included in the diet of a complex mineral supplement. Veterinary medicine. 2017. No 2. Pp. 57-59.
21. Simonov G. A., et al. The influence of mineral supplements on the level of total protein and its fractions in the blood serum of cows. Bulletin Samara State Agricultural Academy. 2022. No 1. Pp. 73-79.
22. Varakin A. T., et al. Hematological parameters of boars-producers at use of a natural mineral additive in a diet. International Journal of Innovative. Technology and Exploring Engineering. 2019. V. 9. I. 1. Pp. 3837-3841.

Информация об авторах

Варакин Александр Тихонович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0375-7108>, e-mail: varakinat58@mail.ru

Алилов Магомедали Мутиневич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный центр Республики Дагестан» (Российская Федерация, 367014, г. Махачкала, мкр. Научный городок, ул. Абдуразака Шахбанова, 30), e-mail: alilov1954@gmail.com

Умаханов Магомед Ахмадулаевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный центр Республики Дагестан» (Российская Федерация, 367014, г. Махачкала, мкр. Научный городок, ул. Абдуразака Шахбанова, 30), e-mail: umachanov27@mail.ru

Гайирбеков Джунайди Шарамазанович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарёва» (Российская Федерация, 430904, Республика Мордовия, г. Саранск, п. Ялга, ул. Российская, 31, Аграрный институт), e-mail: kafedra_zoo@mail.ru

Authors' Information

Varakin Aleksander Tikhonovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskii Ave., 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0375-7108>, e-mail: varakinat58@mail.ru

Alilov Magomedali Mutinovich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Federal Agricultural Center of the Republic of Dagestan (Russian Federation, 367014, Makhachkala, Scientific Town, Abdurazaka Shakhbanova Street, 30), e-mail: alilov1954@gmail.com

Umakhanov Magomed Akhmadulaevich, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Federal Agricultural Center of the Republic of Dagestan (Russian Federation, 367014, Makhachkala, Scientific Town, Abdurazaka Shakhbanova Street, 30), e-mail: umachanov27@mail.ru

Gayirbegov Dzhunaidi Sharamazanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, National Research Mordovian State University named after N. P. Ogarev (Russian Federation, 430904, Republic of Mordovia, Saransk, Yalga village, st. Rossiyskaya, 31, Agrarian Institute), e-mail: kafedra_zoo@mail.ru

**THE DYNAMICS OF THE AFRICAN CATFISH BLOOD INDICES WHEN USING
THE CYCLODEXTRIN COMPLEX WITH THE LEVOFLOXACIN****Poddubnaya I. V., Rudneva O. N., Gurkina O. A.***Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov
Saratov, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: poddubnayaiv@yandex.ru

Received 27.09.2025

Submitted 06.11.2025

**The study was funded by the Russian Science Foundation grant No. 24-26-00061.
<https://rscf.ru/project/24-26-00061/>.**

Summary

The study was conducted to investigate the effect of a silica gel- β -cyclodextrin complex with levofloxacin on the blood parameters of African catfish grown in an aquarium system.

Abstract

Introduction. The work was carried out to study the effect of the silica gel- β -cyclodextrin complex with levofloxacin on the blood parameters of an African catfish grown in an aquarium installation. The study was performed on 50 individuals of catfish weighing from 20.2 to 20.6 g, of which five experimental groups were formed: two controls and three experimental. To obtain a pronounced effect from the administration of the silica gel- β -cyclodextrin complex, the fish was fed expired compound feed with a peroxide value of 24.68 ± 2.22 (ORN) for 10 days before the start of the experiment, which suggested a model digestive disorder and intestinal dysbiosis. Individuals of the 1st and 2nd control groups did not receive the studied complex, in addition, individuals of the 2nd control group continued to receive poor-quality food during the experiment. The experimental groups received high-quality feed with the silica gel-beta-cyclodextrin complex in various dosages of levofloxacin (the first was a complex with 20 %, the second with 15 %, and the third with 10 % levofloxacin). All the fish were injured, and the simulated wounds were dorsal incisions of the skin. During the experiment, blood was taken from the heart from 3 individuals from 5 experimental groups on days 8 and 14. The content of total and direct bilirubin, AsT and AIT, total protein, creatinine, glucose, alkaline phosphatase, calcium and phosphorus was assessed on days 8 and 14. **The analysis results** show that on the 14th day, blood counts return to normal levels, with the exception of the second experimental group.

Keywords: African catfish, catfish blood parameters, biochemistry of catfish blood, cyclodextrin complex, levofloxacin.

Citation. Poddubnaya I. V., Rudneva O. N., Gurkina O. A. The dynamics of the African catfish blood indices when using the cyclodextrin complex with the levofloxacin. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 333-340 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-37.

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 639.31

**ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КРОВИ АФРИКАНСКОГО СОМА ПРИ ПРИМЕНЕНИИ
ЦИКЛОДЕКСТРИНОВОГО КОМПЛЕКСА С ЛЕВОФЛОКСАЦИНОМ**

Поддубная И. В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Руднева О. Н., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Гуркина О. А., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

*ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии
и инженерии имени Н. И. Вавилова»
г. Саратов, Российская Федерация*

**Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00061
<https://rscf.ru/project/24-26-00061/>.**

Аннотация. В статье представлены данные по изучению влияния комплекса силикагель- β -циклодекстрин с левофлоксацином на параметры крови африканского сома, выращенного в аквариальной установке. Исследование выполняли на 50 особях сома, массой от 20,2 до 20,6 г, из которых сформировали пять подопытных групп: две контрольные и три опытные. Для получения выраженного эффекта от введения комплекса силикагель- β -циклодекстрин в течение 10 дней до начала опыта рыбу кормили комбикормом с истекшим сроком хранения, с перекисным числом $18,40 \pm 1,66$ (ОРН), что предполагало модельное нарушение пищеварения и дисбиоз кишечника. Особи 1-й и 2-й кон-

трольных групп изучаемый комплекс не получали, кроме того, особи 2-й контрольной группы в процессе опыта продолжали получать в пищу некачественный корм. Опытные группы получали качественный корм с комплексом силикагель-β-циклодекстрин в различной дозировке левофлоксацина (первая – комплекс с 20 %, вторая – с 15 % и третья – с 10 % левофлоксацина). Для моделирования травмы всем рыбам нанесены дорсальные надрезы мышц спины. В ходе эксперимента отбирали кровь из сердца у 3-х особей из 5 подопытных групп на 8-е и 14-е сутки и оценивали содержание общего и прямого билирубина, АсТ и АлТ, общего белка, креатинина, глюкозы, щелочной фосфатазы, кальция и фосфора. Результаты анализа показали, что на 14-е сутки показатели крови возвращаются к уровню нормальных значений.

Ключевые слова: африканский сом, параметры крови сома, биохимия крови сома, циклодекстриновый комплекс, левофлоксацин.

Цитирование. Поддубная И. В., Руднева О. Н., Гуркина О. А. Динамика показателей крови африканского сома при применении циклодекстриновых комплексов с левофлоксацином. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 333-340. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-37.

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 фоне снижения объемов добычи рыбы и вылова других гидробионтов единственный выход из сложившейся ситуации предполагает развитие аквакультуры [1].

При выращивании рыбы рыбоводы-практики нередко сталкиваются с заболеваниями различной этиологии, обусловленные изменениями окружающей среды. Например, резкие перепады температуры и водородного показателя, загрязнение органикой и токсическими веществами, перенасыщение воды газами, массовое развитие сине-зеленых водорослей. Немаловажный фактор, способствующий заболеванию рыб, – стресс во время обловов и пересадок. Травмирование гидробионтов и применение некачественных кормов могут стать причинами сокращения пищевой активности и темпов роста [2, 3]. Заболевания различной природы могут за кратчайшие сроки привести к гибели большей части (иногда до 100 %) выращиваемых рыб [4].

Лечебные мероприятия, направленные на борьбу с заболеваниями гидробионтов сопряжены с определенными трудностями, такими как введение лекарственных средств в организм, предотвращение их потерь в водной среде, травмы при инъектировании и др. [5].

В связи с этим использование в рационах рыб циклодекстриновых комплексов с левофлоксацином направлено на нивелирование болезненных состояний и восстановления всех физиологических процессов до оптимального уровня.

Левофлоксацин это антибиотик широкого спектра действия, который относится к классу фторхинолонов. Его применяют для лечения бактериальных инфекций различного происхождения. Инновационным подходом к улучшению фармакокинетики и биологической доступности левофлоксацина является создание комплексов с циклодекстринами [6].

Одним из чувствительных и информативных индикаторов состояния организма являются показатели крови, чутко реагирующими на колебания экзогенных и эндогенных факторов и отражающим их влияние на особей [7, 8]. Изменение биохимических показателей сыворотки крови показывает состояние организма рыб, квалифицирует качество кормовых средств, плотность заселения, а также интенсивность антропогенного воздействия [12, 13]. Показатели крови рыб достоверно отражают состояние организма и позволяют оценить лечебный эффект от антибиотика, вводимого таким способом.

Цель работы заключалась в изучении влияния комплекса силикагель-β-циклодекстрин с левофлоксацином на сывороточные показатели крови сома, выращенного в аквариальной установке.

Материалы и методы. Работу проводили в научно-исследовательской лаборатории «Прогрессивные биотехнологии в аквакультуре» кафедры «Генетика, разведение, кормление животных и аквакультура» ФГБОУ ВО Вавиловский университет. Во время опыта было исследовано влияние комплекса силикагель-β-циклодекстрин, заполненного действующим веществом левофлоксацин, на параметры крови сомовых рыб. Исследуемые комплексы β-циклодекстринов были синтезированы и предоставлены кафедрой «Химическая энзимология» МГУ им. М. В. Ломоносова.

В процессе опыта изучали ключевые биохимические показатели крови исследуемых групп: уровни общего и прямого билирубина, аспартатаминотрансферазы (АсТ), аланинаминотрансферазы (АлТ), общего белка, креатинина, глюкозы, щелочной фосфатазы, кальция и фосфора. Взятие крови проводили согласно общепринятой методике [10].

Было сформировано пять подопытных групп по принципу пар-аналогов по 10 особей в каждой. Средняя масса рыбы в начале эксперимента составила от 20,2 до 20,6 г.

Чтобы получить достоверный эффект от введения комплексов силикагель- β -циклодекстринов в течение 10 дней до начала опыта рыбу кормили комбикормом с истекшим сроком хранения, с перекисным числом $18,40 \pm 1,66$ (ОРН), предполагавшим модельное нарушение пищеварения. Опытные группы и группа контрольная-1 в течение опыта получали сбалансированный по питательным веществам основной рацион (качественный корм), который имел в своем составе: рыбную, мясную муку, муку животного происхождения, муку зародышей пшеницы, пшеничную муку, бобовые, рыбий жир, минералы, витамины и функциональные добавки. Кроме того, опытным группам с комбикормом вводился комплекс силикагель- β -циклодекстрин с различной дозировкой левофлоксацина (первая – комплекс с 20 %, вторая – с 15 % и третья – с 10 % левофлоксацина). Исследуемые вещества вносили в корм и после интенсивного перемешивания, данный корм скармливали гидробионтам из опытных групп. Группа контрольная-2 продолжала получать некачественный корм с истекшим сроком хранения на протяжении всего эксперимента. Для моделирования травмы всем рыбам нанесены дорсальные надрезы мышц спины скальпелем в районе спинного плавника. В ходе эксперимента отбирали кровь из сердца у 3-х особей из 5 подопытных групп на 8-е и 14-е сутки. Статистическую обработку результатов проводили с использованием Microsoft Excel 2007.

Результаты и обсуждение. Содержание общего и прямого билирубина на 8-е и 14-е сутки введения комплекса силикагель- β -циклодекстрин с левофлоксацином демонстрирует рисунок 1.

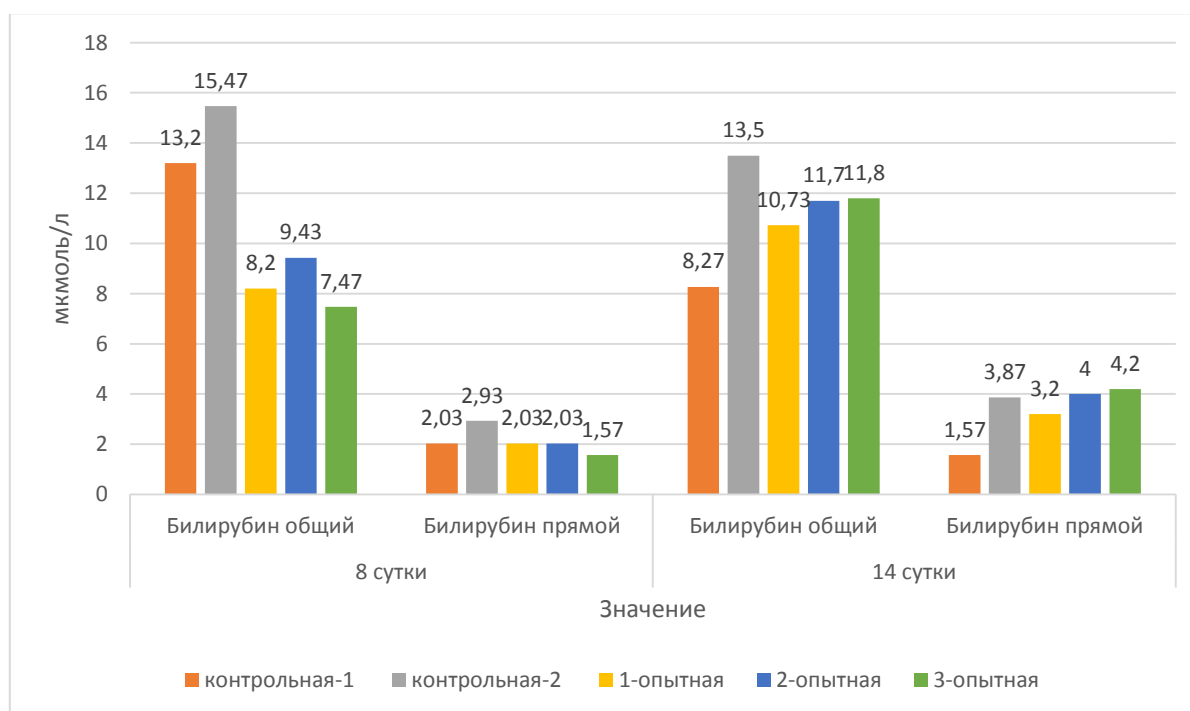


Рисунок 1 – Значения билирубина подопытных групп
Figure 1 – Bilirubin values of the experimental groups

Изначально на 8-е сутки наблюдается значительный разброс значений некоторых показателей между контрольными и опытными группами. Например, значения билирубина общего в контрольных группах превышают аналогичные значения в опытных группах ($P \geq 0,95$, $P \geq 0,99$), что указывает на различия в состоянии здоровья гидробионтов.

Концентрацию печеночных ферментов отражает рисунок 2.

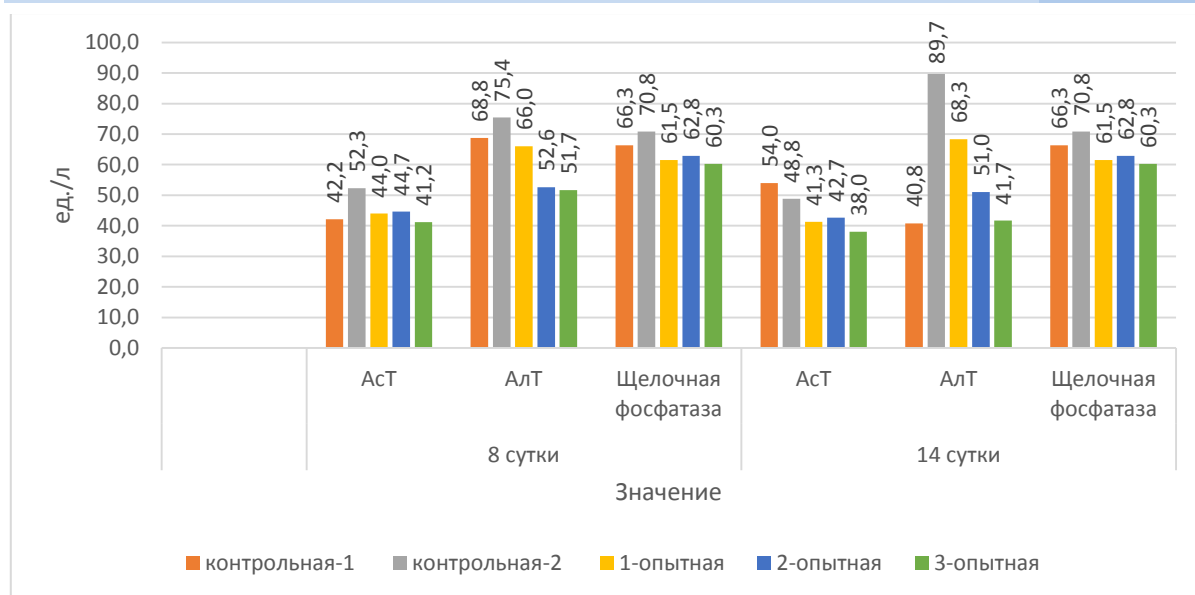


Рисунок 2 – Концентрация печеночных ферментов подопытных групп
Figure 2 – Concentration of liver enzymes in experimental groups

У контрольных групп (контрольная-1 и контрольная-2) средние значения ферментов АсТ и АлТ варьируются, но имеется тенденция к постепенному снижению АсТ и повышению АлТ к 14-м суткам.

По уровню АсТ в опытных группах видно существенное снижение к 14-м суткам ($P \geq 0,99$, $P \geq 0,999$), что свидетельствует о нормализации ферментативной активности печени.

Активность АлТ растет быстрее всего во второй контрольной группе, тогда как в опытных группах эти изменения менее резкие.

Таким образом, наблюдается заметная тенденция к снижению активности АсТ и стабилизации АлТ в опытных группах, что указывает на положительную реакцию организма на вводимый комплекс.

Показатели щелочной фосфатазы остаются почти постоянными на обоих этапах исследования.

Содержание белка в сыворотке крови подопытных групп представлено на рисунке 3.

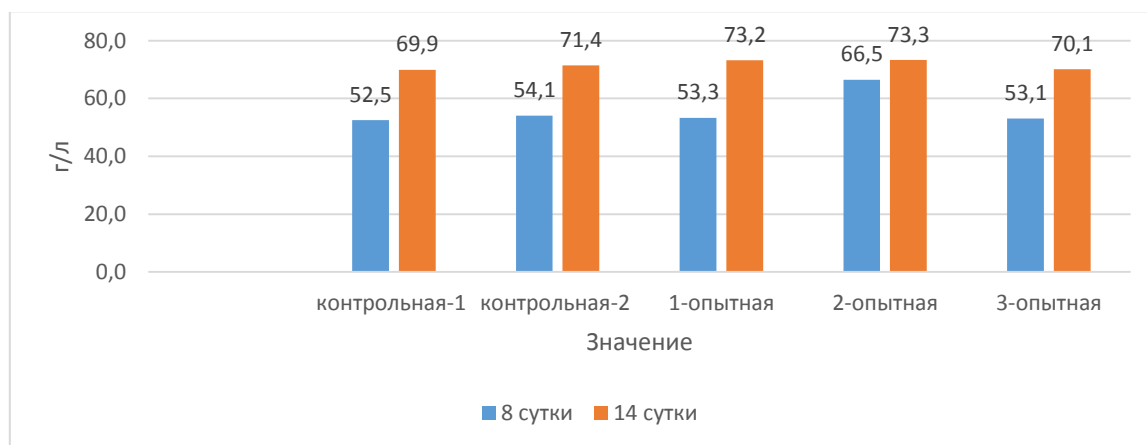


Рисунок 3 – Содержание белка в сыворотке крови подопытных групп
Figure 3 – Protein content in blood serum of experimental groups

Во всех группах наблюдается рост уровня общего белка от 8-х к 14-м суткам: контрольная-1: +17,4 г/л, контрольная-2: +17,3 г/л, 1-я опытная: +19,9 г/л, 2-я опытная: +6,8 ($P \geq 0,95$) г/л, 3-я опытная: +17,0 г/л.

При этом наибольший прирост отмечается в первой опытной группе (+19,9 г/л), наименьший – во второй опытной (+6,8 г/л).

Динамика увеличения уровня общего белка является общей чертой всех групп, однако интенсивность роста различается. Вероятно, именно опытная терапия повлияла на скорость повышения белка, поскольку оно оказалось наиболее эффективным в первой опытной группе.

Рост уровня общего белка зачастую связан с увеличением синтеза белков плазмы, улучшением азотистого обмена, восстановительными процессами в тканях, а также возможными изменениями водного баланса.

Исследование выявило значительные вариации динамики белкового состава сыворотки крови в зависимости от характера лечебного воздействия.

На рисунке 4 представлены данные по уровню глюкозы в сыворотке крови подопытных групп.

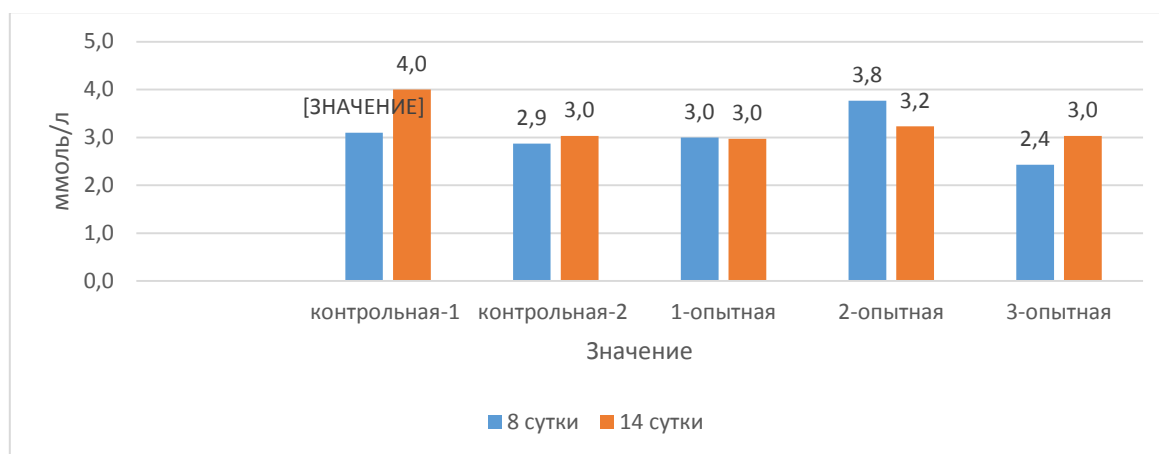


Рисунок 4 – Уровень глюкозы в сыворотке крови подопытных групп
Figure 4 – Blood glucose level in the experimental groups

Данные свидетельствуют, что за исключением второй контрольной группы во всех остальных группах отмечается некоторое повышение уровня глюкозы от 8-х к 14-м суткам.

Наибольшая концентрация глюкозы наблюдается во второй опытной группе на 8-е сутки (3,8 ммоль/л), а наименьшая – в третьей опытной группе на 8-е сутки (2,4 ммоль/л).

На 14-е сутки максимальный уровень зафиксирован в контрольной-1 – 4,0 ммоль/л, минимальный – в третьей опытной группе – 3,0 ммоль/л ($P \geq 0,95$).

Во второй контрольной группе, концентрация глюкозы осталась практически неизменной (2,9 ммоль/л → 3,0 ммоль/л).

Данные о содержании креатинина в сыворотке крови подопытных особей иллюстрирует рисунок 5.

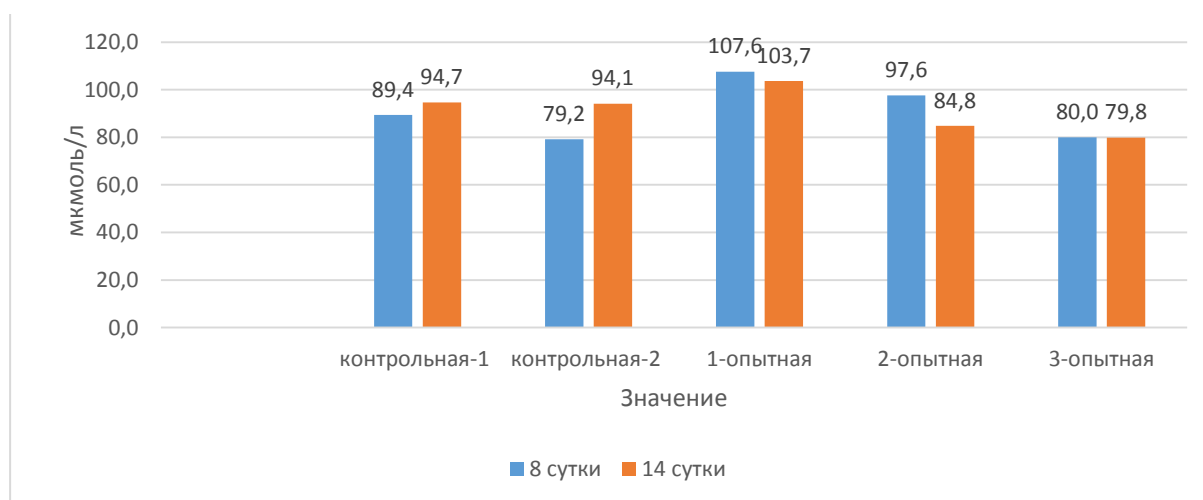


Рисунок 5 – Креатинин в сыворотке крови подопытных групп
Figure 5 – Creatinine in the blood serum of experimental groups

Первая опытная группа показала умеренное снижение значений креатинина на 14-е сутки ($P \geq 0,95$), что потенциально положительно характеризует состояние мочеvidельной системы.

Вторая опытная группа продемонстрировала наибольшее снижение уровня креатинина по сравнению с контрольной группой ($P \geq 0,95$), что может указывать на успешность тестируемых лечебных мер.

Третья опытная группа сохранила стабильно низкое содержание креатинина, что также считается благоприятным признаком функционирования почек ($P \geq 0,99$).

Сведения о содержании кальция и фосфора представлены на рисунке 6.

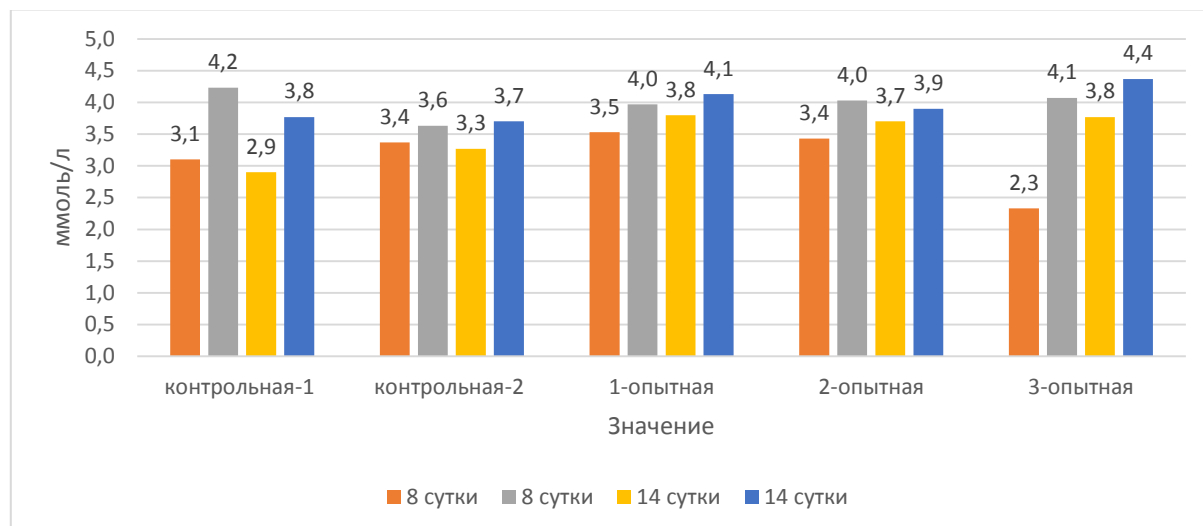


Рисунок 6 – Показатели кальция и фосфора в сыворотке крови подопытных групп
Figure 6 – Indicators of calcium and phosphorus in the blood serum of experimental groups

Уровень кальция в большинстве групп немного снижается от 8-х к 14-м суткам, исключение составляют первые и третьи опытные группы, где наблюдается небольшой подъем уровня кальция ($P \geq 0,95$). Уровень фосфора имеет разнонаправленную динамику: у контрольных групп он стабилен или умеренно растёт, в опытных группах – устойчивый подъём или сохранение высоких значений. У контрольной-1 кальций снизился с 3,1 ммоль/л до 2,9 ммоль/л, фосфор вырос с 4,2 ммоль/л до 3,8 ммоль/л. В контрольной-2 незначительно изменился кальций от 3,4 ммоль/л до 3,3 ммоль/л, умеренный рост фосфора от 3,6 ммоль/л до 3,7 ммоль/л.

Самый большой прирост кальция от 3,5 ммоль/л до 3,8 ммоль/л ($P \geq 0,99$), умеренный рост фосфора от 4,0 ммоль/л до 4,1 ммоль/л наблюдается у рыб 1-ой опытной группы.

У особей из 2-ой опытной группы умеренно повышенный уровень кальция от 3,4 ммоль/л до 3,7 ммоль/л и ровный рост фосфора от 4,0 ммоль/л до 3,9 ммоль/л.

В 3-й опытной группе выраженный дефицит кальция в начале лечения (2,3 ммоль/л), сильный рост кальция (до 3,8 ммоль/л); самый высокий уровень фосфора от 4,1 ммоль/л до 4,4 ммоль/л ($P \geq 0,95$).

Многочисленные исследования [1, 2, 5, 9, 11] подтверждают, что уровень показателей сыворотки крови меняется в зависимости от характера питания и обеспеченности пищей, сезонной цикличности, степени половой зрелости и экологических условий. Состав сыворотки крови представляет собой лабильную систему, чутко реагирующую на изменения различных факторов абиотической и биотической природы.

Проведённый анализ показал существенные различия в динамике биохимических показателей между контрольными и опытными группами, что позволило выделить важные тенденции и эффекты от введённого комплекса.

Все опытные группы продемонстрировали положительную тенденцию в уровнях основных биохимических показателей, таких как билирубин, ферменты печени (АсТ и АлТ), общий белок, креатинин и глюкоза.

Особенно выраженным оказался эффект в третьей опытной группе, где уровень билирубина снизился, а остальные показатели приблизились к оптимальным значениям.

Контрольные группы демонстрировали незначительные отклонения на протяжении опыта в таких показателях, как креатинин и АлТ.

Заключение. Полученные данные подтверждают, что введение комплекса силикагель-β-циклодекстрин с различными дозировками левофлоксацина не оказывает отрицательного влияния на основные биохимические показатели, что даёт основание рекомендовать использование такого подхода в практике.

Conclusions. The obtained data confirm that the introduction of the developed method effectively improves the main biochemical indicators, which provides grounds for recommending the use of this approach in practice.

Библиографический список

1. Гаврилов К. Г., Николаев В. Л. Изменение состава крови тихоокеанских лососевых рыб в условиях гипоксии. Рыбное хозяйство. 2020. № 2. С. 56-62.
2. Газизова А. И., Мурзабекова Л. М. Исследование биохимических свойств крови рыб семейства карповые (Cyprinidae). The Scientific Heritage. 2021. № 80-3. С. 10-14.
3. Гапонов Н. В. Влияние люпина белого на биохимические показатели крови радужной форели. Ветеринария. 2023. № 2. С. 46-52.
4. Гулиев Р. А., Бурлаков И. А., Крючков В. Н., Волкова И. В. Белки сыворотки крови некоторых рыб дельты Волги. Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. 2021. № 2. С. 42-46.
5. Дегтярик С., Марцуп О. Болезни – «подводные камни» рыбоводства. Наука и инновации. 2020. № 3 (205). С. 24-28.
6. Дмитриев Н. П. Биохимические показатели крови молоди ленского осетра (*Acipenser baeri* (Brandt)) при применении суспензии водорослей в качестве биодобавки в комбикорма. Вестник Полесского государственного университета. Серия природоведческих наук. 2018. № 2. С. 51-55.
7. Ильинская Р. Б., Семенов Г. Ю. Иммуитет и состав крови хрящевых рыб. Вопросы ихтиологии, 2019. № 4. С. 34-42.
8. Карпенко Л. Ю., Сидорова, Н. А., Полистовская П. А., Бахта А. А., Савушкин А. И., Никонов И. Н. Сравнительный анализ биохимического состава сыворотки крови радужной форели при различных рационах кормления. Международный вестник ветеринарии. 2024. № 3. С. 301-312.
9. Максим Е. А., Юрин Д. А. Биохимические показатели крови осетровых рыб при выращивании в различных бассейнах. Сборник научных трудов СКНИИЖ. 2019. № 2. С. 202-207.
10. Нижельская Е. И., Полозюк О. Н., Войтенко Л. Г. Методика отбора крови: Диагностика и лечебно-профилактические мероприятия при болезнях рыб: учебное пособие. Персиановский: Донской ГАУ, 2019. 162 с.
11. Поддубная И. В. Влияние органического йода на биохимические показатели крови товарной радужной форели в условиях индустриального рыбоводства. Основы и перспективы органических биотехнологий. 2019. № 2. С. 24-27.
12. Пронина Г. И., Артеменков Д. В., Петрушин А. Б. Сравнительная характеристика сомов разных видов по гематологическим и биохимическим показателям. Труды ВНИРО. 2017. С. 111-117.
13. Чигиринцева Е. П., Шульгина И. М. Особенности гемоглобина некоторых видов пресноводных рыб. Вестник зоологии. 2021. № 3. С. 87-94.

References

1. Gavrilov K. G., Nikolaev V. L. Change in blood composition of Pacific salmonids under hypoxic conditions. Fisheries. 2020. № 2. Pp. 56-62.
2. Gazizova A. I., Murzabekova L. M. Study of the biochemical properties of the blood of fish of the carp family (Cyprinidae). The Scientific Heritage. 2021. № 80-3. Pp. 10-14.
3. Gaponov N. V. The influence of white lupine on the biochemical blood parameters of rainbow trout. Veterinary Medicine. 2023. № 2. Pp. 46-52.
4. Guliyev R. A., Burlakov I. A., Kryuchkov V. N., Volkova I. V. Blood serum proteins of some fish of the Volga Delta. Bulletin of the AGTU. Series: Fisheries. 2021. No 2. Pp. 42-46.
5. Degtyarik S., Martsul O. Diseases – "Pitfalls" of Fish Farming. Science and Innovations. 2020. No 3 (205). Pp. 24-28.
6. Dmitrovich N. P. Biochemical Blood Parameters of Young Lena Sturgeon (*Acipenser baeri* (Brandt)) When Using Algal Suspension as a Bioadditive in Compound Feed. Bulletin of Polesky State University. Series of Natural Sciences. 2018. No 2. Pp. 51-55.
7. Ilyinskaya R. B., Semenov G. Yu. Immunity and Blood Composition of Cartilaginous Fishes. Questions of Ichthyology. 2019. No 4. Pp. 34-42.
8. Karpenko L. Yu., Sidorova N. A., Polistovskaya P. A., Bakhta A. A., Savushkin A. I., Nikonov I. N. Comparative Analysis of the Biochemical Composition of the Blood Serum of Rainbow Trout under Different Feeding Rations. International Bulletin of Veterinary Medicine. 2024. No 3. Pp. 301-312.
9. Maxim E. A., Yurin D. A. Biochemical indicators of sturgeon fish blood when grown in different pools. Collection of scientific papers of the SKNIYZh. 2019. No 2. Pp. 202-207.
10. Nizhelskaya E. I., Polozyuk O. N., Voitenko L. G. Blood sampling methods: Diagnostics and therapeutics and preventive measures for fish diseases: a textbook. Persianovsky: Donskoy State Agrarian University, 2019. 162 p.
11. Poddubnaya I. V. The effect of organic iodine on the biochemical parameters of the blood of commercial rainbow trout in industrial fish farming. Fundamentals and Prospects of Organic Biotechnology. 2019. No 2. Pp. 24-27.
12. Pronina G. I., Artemenkov D. V., Petrushin A. B. Comparative Characteristics of Different Species of Catfish Based on Hematological and Biochemical Parameters. Proceedings of the VNIRO. 2017. Pp. 111-117.
13. Chigirtseva E. P., Shulgina I. M. Features of hemoglobin in some species of freshwater fish. Bulletin of Zoology. 2021. No 3. Pp. 87-94.

Информация об авторах

Поддубная Ирина Васильевна, профессор кафедры, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект им. Петра Столыпина, 4/3), e-mail: poddubnayaiv@yandex.ru

Руднева Оксана Николаевна, доцент кафедры, кандидат сельскохозяйственных наук, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект им. Петра Столыпина, 4/3), e-mail: oksanarud979@gmail.com,

Гуркина Оксана Александровна, доцент кафедры, кандидат сельскохозяйственных наук, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект им. Петра Столыпина, 4/3), e-mail: gurkinaoa@yandex.ru

Authors' Information

Poddubnaya Irina Vasilyevna, Professor of the Department, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, 410012, Saratov, Peter Stolypin Ave., 4/3), poddubnayaiv@yandex.ru

Rudneva Oksana Nikolaevna, Associate Professor of the Department, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, 410012, Saratov, Peter Stolypin Ave., 4/3), oksanarud979@gmail.com

Gurkina Oksana Aleksandrovna, Associate Professor of the Department, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, 410012, Saratov, Peter Stolypin Ave., 4/3), gurkinaoa@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-38

THE ASSESSMENT OF THE REPRODUCTIVE PROPERTIES OF FRESHWATER SHRIMP BREEDERS GROWN ON THE FEED WITH REPLACEMENT OF PART OF THE FISH MEAL WITH THE MICROBIAL PROTEIN

^{1,2}Ponomarev S. V., ²Fedorovykh Yu. V., ²Levina O. A., ²Terganova N. V.,
²Akhmedzhanova A. B., ³Nunkov P. A.

¹*Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MBA named after K. I. Scriabin
Moscow, Russian Federation*

²*Astrakhan State Technical University
Astrakhan, Russian Federation*

³*Giprobiosynthesis LLC
Moscow, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: jaqua@yandex.ru

Received 11.08.2025

Submitted 28.10.2025

The work was carried out according to the Russian Science Foundation Grant No. 25-16-00020.

Abstract

Introduction. Global aquaculture, which is developing rapidly, is facing a shortage of the main protein component of animal feed – fish meal. In this regard, manufacturers have begun an active search for alternative protein sources for valuable aquatic organisms. Microbial synthesis is one of the promising ways to produce protein. The main advantage of this method is that the rate of accumulation of microbial biomass is several orders of magnitude higher than that of plants and animals. Microbial protein is very similar in amino acid composition to fishmeal, and it also contains B vitamins, saturated fatty acids, and oleic acid. The aim of the work was to evaluate the effect of replacing 15 % of fish meal in the food for freshwater shrimp on its reproductive potential. **Materials and methods.** The breeding stock was obtained in the course of previous studies on microbial protein in crustacean feed. At the same time, two groups were formed: the control group, which consumed control compound feed throughout its life and under the conditions of the present experiment, and the experimental group, which consumed experimental compound feed throughout its life and under the conditions of the present experiment. **Results and discussion.** Breeding stock on experimental compound feed showed no significant differences, all other things being equal: hydrochemical parameters of the environment, sex ratio, number of shelters, night: day ratio. The number of reproductive molts in female freshwater shrimp was 63 %, of which more than 83 % resulted in successful fertilization. The higher average weight of the females of the experimental group (22.3±0.94 g) also affected a slight increase in the absolute fertility index – up to 47 thousand eggs. The percentage of larval release from eggs was quite high in both groups and exceeded 80 %. The average duration of development of planktonic larvae to post-larvae was 36 days. In the experimental and control groups, larval survival decreased synchronously as they grew, and by the time all individuals had fully transitioned to the post-larval stage, it was 56 % and 53 %, respectively. The results obtained require further study of the growth rates of the second generation shrimp that consumed feed with additives, as well as an assessment of the dynamics of changes in the qualitative and quantitative composition of its hemolymph and the trace element composition of organs and tissues.

Keywords: freshwater shrimp, freshwater shrimp feeding, fish meal, microbial protein, shrimp growth rate.

Citation. Ponomarev S. V., Fedorov Yu. V., Levina O. A., Terganova N. V., Akhmedzhanova A. B., Nyunkov P. A. The assessment of the reproductive properties of freshwater shrimp breeders grown on the feed with replacement of part of the fish meal with the microbial protein. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 340-350 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-38.

Authors' contribution. All authors of this study were directly involved in the design, 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 no conflict of interest.

УДК 639.3.043.2

ОЦЕНКА РЕПРОДУКТИВНЫХ СВОЙСТВ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ПРЕСНОВОДНОЙ КРЕВЕТКИ, ВЫРАЩИВАЕМЫХ НА КОРМАХ С ЗАМЕНОЙ ЧАСТИ РЫБНОЙ МУКИ НА МИКРОБНЫЙ БЕЛОК

^{1,2}Пономарев С. В., профессор, доктор биологических наук

²Федоровых Ю. В., доцент, кандидат сельскохозяйственных наук

²Левина О. А., кандидат сельскохозяйственных наук

²Терганова Н. В., аспирант

²Ахмеджанова А. Б., кандидат биологических наук

³Нюньков П. А., генеральный директор

¹ Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии –
МВА имени К. И. Скрябина

г. Москва, Российская Федерация

² Астраханский государственный технический университет

г. Астрахань, Российская Федерация

³ ООО «Гипробиосинтез»

г. Москва, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 25-16-00020.

Актуальность. Мировая аквакультура, развивающаяся быстрыми темпами, оказалась перед проблемой дефицита основного белкового компонента комбикормов – рыбной муки. В связи с этим производители начали активный поиск альтернативных источников протеина для ценных гидробионтов. Микробный синтез – один из перспективных путей получения белка. Основное преимущество этого способа заключается в том, что скорость накопления биомассы микроорганизмов на несколько порядков выше, чем у растений и животных. Микробный белок по своему составу аминокислот очень близок к рыбной муке, кроме того содержит витамины группы В, насыщенные жирные кислоты и олеиновую кислоту. Целью работы явилась оценка влияния замены 15 % рыбной муки в продукционном корме для пресноводной креветки на ее репродуктивный потенциал. **Материалы и методы.** Маточное стадо производителей было получено в ходе предыдущих исследований по изучению микробного белка в составе кормов для ракообразных. При этом были сформированы две группы: контрольная – на протяжении всей жизни и в условиях настоящего эксперимента потреблявшая контрольный комбикорм, и опытная – на протяжении всей жизни и в условиях настоящего эксперимента потреблявшая опытный комбикорм. **Результаты и обсуждение.** Выращивание маточного стада на опытном комбикорме не показало значимых отличий при прочих равных условиях: гидрохимических параметрах среды, соотношении полов, количестве укрытий, соотношении часов ночь: день. Количество репродуктивных линек у самок пресноводной креветки было на уровне 63 %, из которых более 83 % закончилось успешным оплодотворением. Более высокая средняя масса самок опытной группы (22,3±0,94 г) также сказалась на небольшом увеличении показателя абсолютной плодовитости – до 47 тыс. икринок. Процент выхода личинок из икры был достаточно высоким у обеих групп и превышал 80 %. Средняя продолжительность развития планктонных личинок до постличинки составила 36 сут. У опытной и контрольной групп выживаемость личинок снижалась синхронно по мере выращивания и к моменту полного перехода всех особей в стадию постличинки составила 56 и 53 % соответственно. Полученные результаты требуют дальнейшего изучения показателей темпов роста второго поколения креветки, потреблявшей корма с добавкой, а также оценки динамики изменений качественного и количественного состава его гемолимфы и микроэлементного состава органов и тканей.

Ключевые слова: пресноводная креветка, кормление пресноводной креветки, рыбная мука, микробный белок, темпы роста креветки.

Цитирование. Пономарев С. В., Федоровых Ю. В., Левина О. А., Терганова Н. В., Ахмеджанова А. Б., Нюньков П. А. Оценка репродуктивных свойств производителей пресноводной креветки, выращиваемых на кормах с заменой части рыбной муки на микробный белок. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 340-350. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-38.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В последние несколько десятилетий мир столкнулся с нехваткой продовольствия для постоянно растущего населения земли. Для решения этой проблемы были разработаны различные биотехнологические методы получения альтернативного пищевого белка неживотного происхождения. Альтернативный белок подходит для употребления в пищу человеком и животными и в точности имитирует свойства обычного белка. Существует несколько способов получения альтернативного пищевого белка, среди которых стоит выделить белок, вырабатываемый микроорганизмами, которые питаются углеводородами, этот белок также называют одноклеточным (SCP). Преимущества такого способа производства протеина огромны: это экологически чистый продукт, его производство не требует больших площадей и не зависит от климатических условий, микроорганизмы можно выращивать круглый год, что исключает проблемы с хранением и порчей продукта. По некоторым данным, доля белка в микробной биомассе составляет около 70 %, ее состав по аминокислотам близок к молочному, он обогащен витаминами и микроэлементами, легко и полноценно усваивается организмом [1-3].

Метан как источник углерода обладает рядом преимуществ, таких как большие запасы природного газа, хорошая транспортабельность и возможность получения готового продукта без дополнительной очистки от субстрата. Белок, получаемый из метана, также называется биопотеином или гаприном. В его состав входит большое количество нуклеиновых и жирных кислот, не характерных для эукариот, а также отсутствуют полиненасыщенные жирные кислоты. Также одной из проблем при производстве SCP является содержание в сырье вредных веществ, таких как тяжелые металлы, поэтому использование различных видов отходов в качестве сырья для производства SCP привлекательно с точки зрения затрат и охраны окружающей среды, но может быть сложным с точки зрения безопасности, и необходимо тщательно учитывать происхождение сырья. Такой вид одноклеточного белка, предназначенный для использования в качестве корма для животных, рекомендуют для использования только в кормлении короткоживущих животных [4-9]. Длительное же, сопоставимое с половым циклом гидробионтов, выращивание на кормах с гаприном ранее не проводилось.

Таким образом, целью исследования является оценка эффективности применения микробного белка гаприна, под торговой маркой ДРИМФИД®, в составе продукционного корма на показатели роста и физиологическое состояние, а также репродуктивные функции гигантской пресноводной креветки.

Материалы и методы. Экспериментальная работа проводилась в Научно-исследовательской лаборатории «Осетроводство и перспективные объекты аквакультуры» на базе Инновационный центр «Биоаквапарк – научно-технический центр Аквакультуры» ФГБОУ ВО АГТУ. Объектом исследования являлись половозрелые особи пресноводной креветки *Macrobrachium rosenbergii* (De Man, 1879) и их потомство.

В биотехнический процесс выращивания креветок входили: формирование и содержание маточного стада; нерест; инкубирование икринок; выращивание личинок. Маточное стадо производителей было получено в ходе предыдущих исследований по изучению микробного белка ДРИМФИД® в составе кормов для ракообразных. При этом были сформированы две группы: контрольная – на протяжении всей жизни и в условиях настоящего эксперимента потреблявшая контрольный комбикорм, и опытная – на протяжении всей жизни и в условиях настоящего эксперимента потреблявшая опытный комбикорм.

Контрольный и опытный комбикорма были изготовлены в лабораторных условиях методом экструзии крахмалосодержащего сырья, гранулирования, и получения гранул нужного размера. В процессе изготовления в кормах заменили часть рыбной муки на микробный белок ДРИМФИД® (таблица 1), производства ООО «ГИПРОБИОСИНТЕЗ». Это концентрат из инактивированной культуры бактерий *Methylococcus capsulatus* (штамм ГБС-15) – 100 %, с содержанием: белка – 70-80 %, жира – 9-14 %, золы – 6-10 % и влаги – не более 10 %. Содержание ДРИМФИД® в опытном продукционном комбикорме составило 15,0 %.

Таблица 1 – Рецептура контрольного и опытного комбикормов для креветки
Table 1 – Formulation of control and experimental compound feed for shrimp

Компоненты / Components	Вариант / Variant	
	Опыт / Test	Контроль / Control
Рыбная мука / Fish meal	57,0	72,0
Пшеничный глютен / Wheat gluten	15,0	15,0
Крилевая мука / Krill meal	5,0	5,0
Премикс / Premix	1,0	1,0
Мука из кожицы винограда / Grape peel meal	1,0	1,0
Кровяная мука / Blood meal	3,0	3,0
Микробный белок ДРИМФИД / Microbial protein DREAMFEED	15,0	-
Рыбий жир / Fish oil	3,0	3,0

Масса самок составляла 15-17 г, самцов – 18-22 г. В маточном стаде поддерживали соотношение самцов и самок – 1:4, рекомендованного многими авторами в качестве оптимального [10]. Круглогодичное совместное содержание разнополых особей стимулировало у самок оогенез.

Для содержания особей во время эксперимента использовали аквариумы объемом 400 л с искусственной аэрацией и фильтрацией, а также подогревом воды. Для укрытия креветок были сооружены домики из керамики и пластика как показано на рисунке 1.

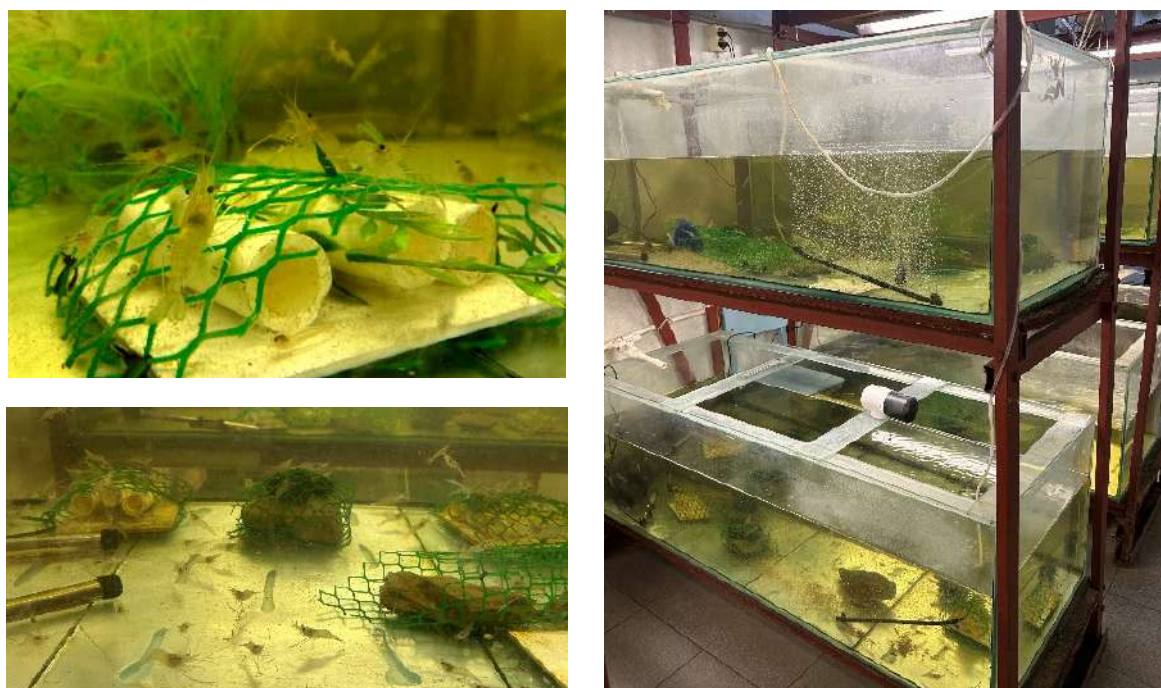


Рисунок 1 – Условия содержания пресноводных креветок
Figure 1 – Freshwater shrimp conditions

На протяжении исследования контролировали гидрохимический режим, водообмен, рост и развитие креветок. Содержание кислорода фиксировали по данным термооксиметра Марк-302М. Водородный показатель регистрировали с помощью pH-метра HANNA. Температура воды в бассейнах и аквариумах в период проведения экспериментов составляла 27,0-28,0 °С, содержание кислорода – 5,5-7,2 мг/л, pH – 6,6-7,2. Соленость определяли с помощью рефрактометра Atago.

Измерение взрослых особей осуществляли с помощью штангенциркуля/линейки с точностью до 1 мм. Индивидуальную массу определяли с помощью электронных весов (AND, точность до 0,0001 г; Масса-К, точность до 0,01 г), предварительно обсушив их фильтровальной бумагой. Процесс измерения показан на рисунке 2.



Рисунок 2 – Измерения пресноводной креветки
Figure 2 – Measuring a freshwater shrimp

Абсолютную плодовитость самок определяли весовым методом [11].

За 1-2 дня до выклева личинок самок креветок помещали в нерестовые аквариумы. Степень зрелости икринок определяли по цвету. После завершения выклева личинок, самок из выростных емкостей отсаживали обратно к маточному поголовью. Выращивание личинок производили в выростных аквариумах при температуре 28-31 °С, солености – 12 ‰, pH – 7-8,5, концентрации растворенного кислорода – 9-11 мг/л, содержании нитритов – 0,01-0,05 мг/л, содержании нитратов – 2-15 мг/л, общей жесткости воды – 60 мг/л.

Искусственную морскую воду для выращивания личинок готовили разведением сухой искусственной морской соли.

Численность личинок в аквариуме определяли объемным способом (отбор воды по 50 мл в 4-х углах аквариума и в его центре). Стадию развития определяли под микроскопом марки МБС-10.

Результаты исследований обработаны с применением общепринятых методов биологической статистики и программы Microsoft Excel. Статистический анализ проводили с определением среднего арифметического значения ($\bar{M}$), статистической ошибки (m), стандартного отклонения (σ), коэффициента вариации (cv). Уровень различий оценивали с помощью критерия достоверности Стьюдента.

Результаты исследований и обсуждение. Самки креветки созрели в 4 месяца, немного раньше самцов, при этом длина их составляла около 75-80 мм, а масса 7-8 г, у самцов – 100 мм и 10 г соответственно [12]. Исследования нереста и поведения пресноводных креветок проведены многими авторами [13-17]. Спаривание происходит между самцами и только полинявшими самками, причем самец в это время охраняет самку от других особей [18]. Оплодотворение у креветок наружное – самец откладывает сперматофор рядом с гонопором самки, а затем через 5-10 часов яйца выходят наружу по яйцеводам в выводковую камеру, которая омывается свежей водой движущимися плеоподами [14].

Созревание – время интенсивного белкового синтеза, и потребность в белке в этот момент наибольшая. Увеличение уровня белка в корме позволяет добиться более раннего созревания. Комбикорма с кормовым микробным белком имеют более высокое содержание белка – на 1 % и углеводов – на 0,91 %, содержание жира было чуть выше в продукционном комбикорме на 0,24 %, чем в контрольном. Общая энергия также отличалась не значительно – на 0,4-0,3 %.

Для того, чтобы определить влияние замены рыбной муки на кормовую микробную добавку в продукционном корме для креветок на репродуктивные способности особей определяли количество линек с последующим спариванием, наблюдаемых за период 120 суток (рисунок 3).

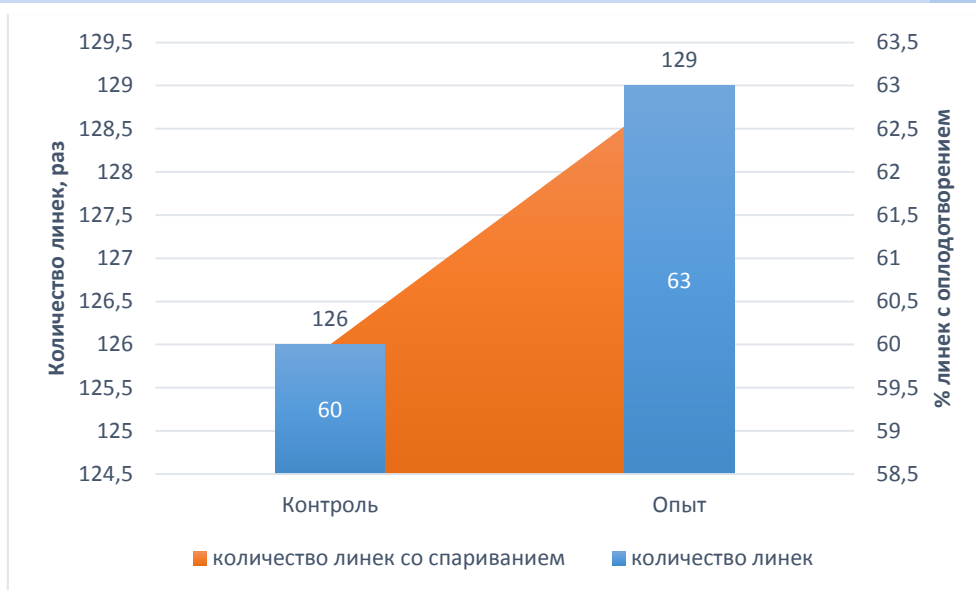


Рисунок 3 – Количество линек опытной и контрольной групп креветок, завершившихся спариванием
Figure 3 – The number of molts of experimental and control groups of shrimps that ended in mating

В среднем из 28 самок опытной и контрольной групп (соотношение самки: самцы – 1:4) каждая самка спарилась по 5 раз. Промежуток между линьками занимал около 22-23 дней. Значимых различий между опытом и контролем отмечено не было. Однако не все случаи спаривания заканчиваются успешным оплодотворением, из 75 спариваний контроля и 81 опыта через 1-3 дня около 17 % кладок были неудачными.

Для более полного описания возможностей воспроизводства необходимо определение границы репродуктивных признаков. Одним из них является плодовитость, которая показывает способность вида сохранять и увеличивать свою численность. У креветок плодовитость увеличивается с возрастом и зависит от размера особи. В среднем впервые нерестующие самки откладывают не более 20 000 икринок. По данным некоторых авторов самка длиной 118 мм имеет плодовитость 21270 икринок, а более крупные, размером 120-130 мм, – до 30 000 икринок [14, 17]. Самая высокая плодовитость была отмечена у креветок длиной 170 мм – 65 тыс. икринок [16]. Также более крупные самки откладывают более крупные икринки, а также их размер влияет на выживаемость эмбрионов [12]. Количество икринок на 1 г массы тела может изменяться от 870 до 1100 шт. в зависимости от массы самок [13].

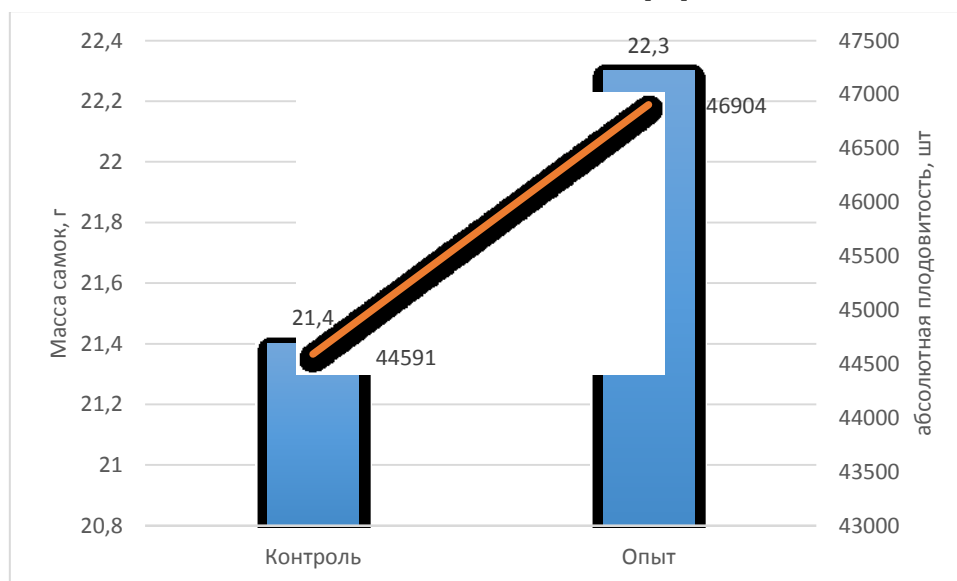


Рисунок 4 – Зависимость абсолютной плодовитости от массы самок креветок
Figure 4 – Dependence of absolute fertility on the mass of female shrimps

В нашем случае сохранялась зависимость количества икринок, отложенных одной самкой (абсолютная плодовитость) от ее массы тела. Так, в опытной группе плодовитость в среднем составила $46\,904 \pm 1012$ шт. при средней массе тела $22,3 \pm 0,94$ г. При этом значимых отличий от контрольной группы установлено не было: средняя масса самок была равна $21,4 \pm 1,1$ г, абсолютная плодовитость – 44591 ± 1472 шт. (рисунок 4).

Кроме того, было установлено, что на значение абсолютной плодовитости влияет количество нерестовых случаев (спариваний). Данное соотношение отражено на рисунке 5.

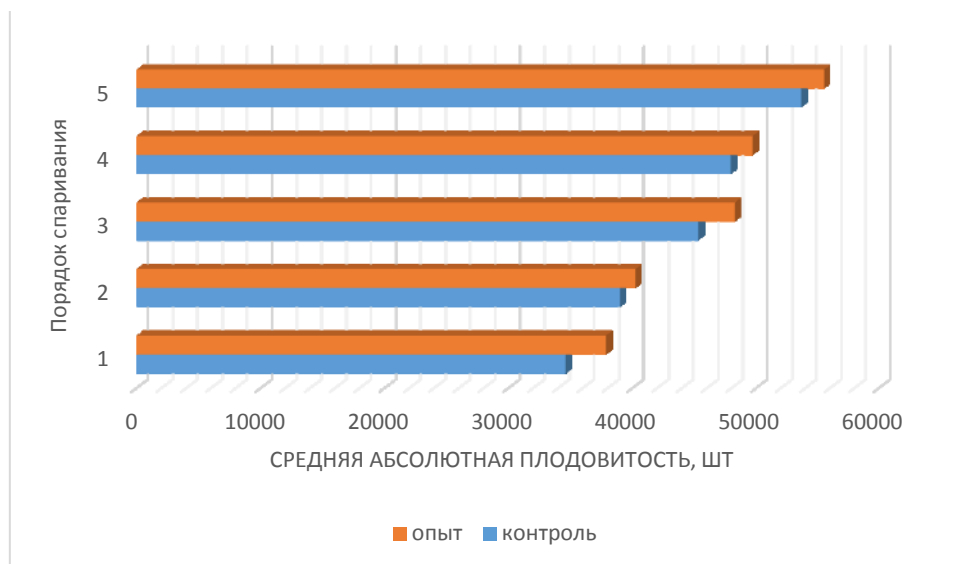


Рисунок 5 – Зависимость абсолютной плодовитости от порядка спаривания

Figure 5 – The dependence of absolute fertility on the order of mating

Из рисунка видно, что у самок в среднем возрастает количество отложенных икринок от порядка нерестового случая, то есть абсолютная плодовитость достигла наибольшего значения на пятом случае нереста во время проведенных наблюдений. Для опытной группы абсолютная плодовитость увеличилась на 46 % за 5 случаев удачных оплодотворений, для контрольной – на 55 %.

Эмбриональное развитие креветок при 26-28 °С в условиях аквариумов аквариального комплекса завершилось через 15-17 суток (420-510 градусо-дней). При этом цвет икринок изменился с оранжевого до сероватого (рисунок 6). В этот момент самок помещали в аквариумы с соленостью 12 ‰ для доикубирования и выклева личинок.



Рисунок 6 – Оплодотворенная самка пресноводной креветки

Figure 6 – Fertilized female freshwater shrimp

Процент выхода личинок из икры был достаточно высоким у обеих групп и превышал 80 % (рисунок 7).

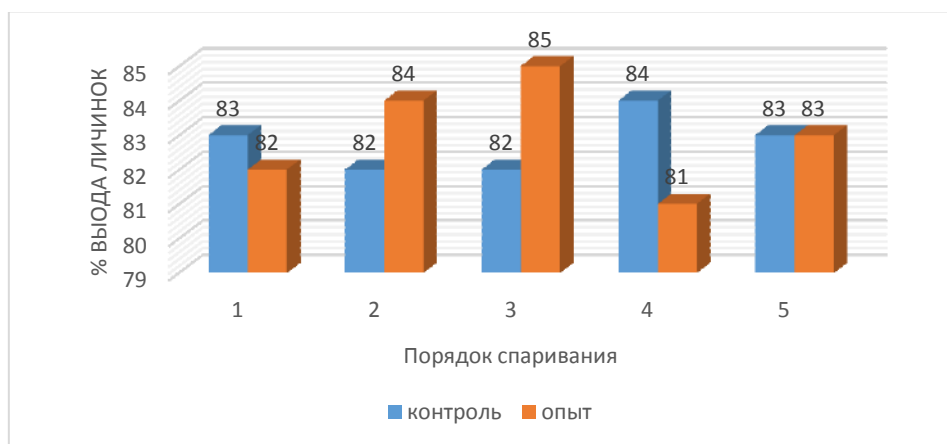


Рисунок 7 – Процент выхода личинок из икры

Figure 7 – Percentage of larval exit from eggs

Согласно литературным источникам, выживаемость личинок креветок в промышленных условиях невысокая – до 60 %, со снижением плотности посадки до 30-50 шт./л этот показатель можно повысить до 70 % [18]. У пресноводных креветок 11 личиночных стадий, длящихся от 1 до 4 дней каждая, однако линьки происходят не одновременно (рисунок 8). Период прохождения стадий от планктонных личинок до постличинок в нашем случае составил 36 суток. В это время наблюдалась наибольшая асинхронность линек, что приводило к повышению смертности за счет увеличения процента каннибализма (рисунок 9).



Рисунок 8 – Зоэа гигантской пресноводной креветки

Figure 8 – Zoea of giant freshwater shrimp

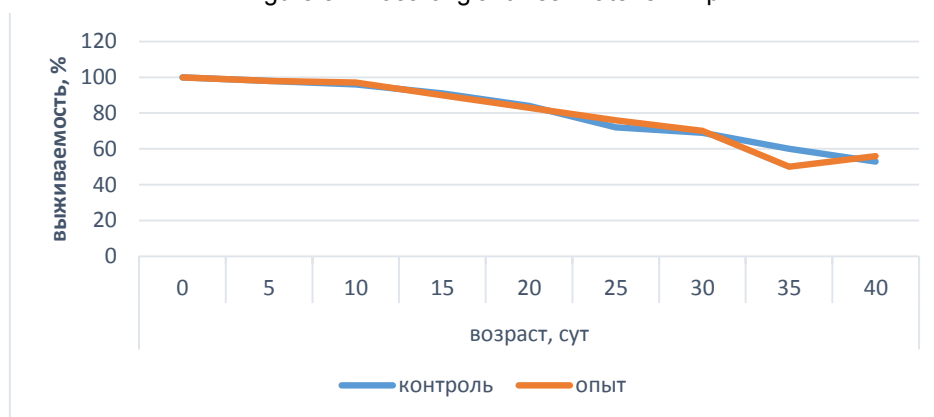


Рисунок 9 – Выживаемость личинок пресноводной креветки

Figure 9 – Survival rate of freshwater shrimp larvae

У опытной и контрольной групп выживаемость личинок снижалась синхронно по мере выращивания и к моменту полного перехода всех особей в стадию постличинки составила 56 и 53 % соответственно.

Заключение. Замена 15 % рыбной муки в продукционном комбикорме для пресноводной креветки на кормовой микробный белок не оказала отрицательного воздействия на репродуктивный потенциал самок и самцов опытной группы. Выращивание маточного стада на опытном комбикорме не показало значимых отличий при прочих равных условиях: гидрохимических параметрах среды, соотношении полов, количестве укрытий, соотношении часов ночь: день. Количество репродуктивных линек у самок пресноводной креветки было на уровне 63 %, из которых более 83 % закончилось успешным оплодотворением. Более высокая средняя масса самок опытной группы ($22,3 \pm 0,94$ г) также сказалась на небольшом увеличении показателя абсолютной плодовитости – до 47 тыс. икринок. Процент выхода личинок из икры был достаточно высоким у обеих групп и превышал 80 %. Средняя продолжительность развития планктонных личинок до постличинки составила 36 сут. У опытной и контрольной групп выживаемость личинок снижалась синхронно по мере выращивания и к моменту полного перехода всех особей в стадию постличинки составила 56 и 53 % соответственно.

Полученные результаты требуют дальнейшего изучения показателей темпов роста второго поколения креветки, потреблявшей корма с микробным белком, а также оценки динамики изменений качественного и количественного состава его гемолимфы и микроэлементного состава органов и тканей.

Conclusions. The replacement of 15 % fish meal in the feed for freshwater shrimp with microbial protein had no negative effect on the reproductive potential of the females and males of the experimental group. Rearing the broodstock on experimental compound feed showed no significant differences, all other things being equal: the hydrochemical parameters of the environment, the ratio of sexes, the number of shelters, the ratio of hours of night: day. The number of reproductive molts in female freshwater shrimp was 63 %, of which more than 83 % resulted in successful fertilization. The higher average weight of the females of the experimental group (22.3 ± 0.94 g) also affected a slight increase in the absolute fertility index – up to 47 thousand eggs. The percentage of lychee yield from caviar was quite high in both groups and exceeded 80 %. The average duration of development of planktonic larvae to post-larvae was 36 days. In the experimental and control groups, larval survival decreased synchronously as they grew, and by the time all individuals had fully transitioned to the post-larval stage, it was 56 % and 53 %, respectively.

The results obtained require further study of the growth rates of the second generation shrimp that consumed food with microbial protein, as well as an assessment of the dynamics of changes in the qualitative and quantitative composition of its hemolymph and the trace element composition of organs and tissues.

Библиографический список

1. Токарь П. И., Шишкина М. С., Кощаев И. А., Зайцев А. А. Альтернативное белковое сырье микробного синтеза (гаприн) в рационах сельскохозяйственной птицы. Достижения и перспективы в сфере производства и переработки сельскохозяйственной продукции: Материалы III национальной научно-практической конференции. Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина, 2022. С. 61-64.
2. Голиблевская А. А., Зайцева Е. А., Петрова И. А., Козлов А. М. Гаприн: новые возможности переработки природного газа. Деловой журнал Neftegaz.RU. 2023. № 10 (142). С. 114-116.
3. Чернышева О. Н. Разработка методических подходов к гигиенической оценке новых источников пищевых веществ: специальность 14.00.07: диссертация. Москва, 2006. 208 с.
4. Dudorov V., Novokshchenova A., Kravchenko Y., Randelin D., Agapov V. The effectiveness of using the microbial synthesis protein "Gaprin" in feeding juvenile Australian red-clawed crayfish. E3S Web of Conferences. 2023. P. 463.
5. Egorov I., Kupina L., Aksyuk I., Murtazaeva R. Gaprin – a protein source. Poultry farming. 1990. Vol. 8. Pp. 25-27.
6. Feodoridi G. Production of food protein by microorganisms from methane. Hydrex Corporation, North Cyprus. 2024. 12 p.
7. New M. B. Farming freshwater prawn: a manual for the culture of the giant river prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). Rome: FAO, Fisheries Techn. Pap. Food and agriculture organization of the United Nations. 2002. № 428. 212 p.
8. Roque R., Rodriguez V., Santos, P. Microbial Production of Menthhol. Microbial Production of Food Bioactive Compounds. Springer, Cham. 2025.
9. Ковачева Н. П., Жигин А. В., Борисов Р. Р., Кряхова Н. В., Лебедев Р. О., Паршин-Чудин А. В. Биология и культивирование гигантской пресноводной креветки *Macrobrachium rosenbergii* (de Man, 1876). М.: Изд-во ВНИРО, 2015. 111 с.
10. Момени М. Гаприн – одна из точек соприкосновения интересов Ирана и РФ. Деловой журнал Neftegaz.RU. 2021. № 1 (109). С. 46-51.
11. Буруковский Р. Н. Методика биологического анализа некоторых тропических и субтропических креветок. Сб. науч. тр. Всеросс. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. М.: ВНИИПРХ, 1992. С. 77-91.
12. Мишарев Ю. Я. Линька и спаривание пресноводной креветки *Macrobrachium asperulum* (von Martens). Тр. ВНИРО. 1969. Т. 65. С. 424-428.

13. Сальников Н. Е., Суханова М. Э. Разведение и выращивание пресноводных креветок на юге России. Астрахань: Изд-во КаспНИИРХ, 2000. 230 с.
14. Статкевич С. В. Плодовитость гигантской пресноводной креветки *Macrobrachium rosenbergii* (Decapoda: Palaemonidae) в условиях аквакультуры. Известия ТИНРО. 2015. Том 182. С. 242-248.
15. Хмелёва Н. Н., Кулеш В. Ф., Алехнович А. В., Гигиняк Ю. Г. Экология пресноводных креветок. Минск: «Беларуская навука», 1997. 254 с.
16. Kwon C. S. Life history of the freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (De Man) reared in the laboratory. Collect. Breed. 1982. V. 44. № 2. Pp. 376-381.
17. Червяков Б. В. Разведение пресноводных креветок. Рыбное хозяйство. 1991. № 3. С. 35-39.
18. Ang K. J., Law Y. K. Fecundity changes in *Macrobrachium rosenbergii* (de Man) during egg incubation. Aquaculture and Fisheries Management. 1991. V. 22. Pp. 1-6.

References

1. Tokar P. I., Shishkina M. S., Koshchayev I. A., Zaitsev A. A. Alternative protein raw materials of microbial synthesis (gaprin) in agricultural poultry diets. Achievements and prospects in the field of production and processing of agricultural products: Materials for the III scientific and practical national conference. Maisky: Belgorod State Agrarian University named after V. Ya. Gorin, 2022. Pp. 61-64.
2. Golimblevskaya A. A., Zaitseva E. A., Petrova I. A., Kozlov A. M. Gaprin: new opportunities for natural gas development. Business Magazine Neftegaz.RU. 2023. No 10 (142). Pp. 114-116.
3. Chernysheva O. N. Development of methodological approaches to the hygienic assessment of new sources of food substances: specialty 14.00.07: dissertation. Moscow, 2006. 208 p.
4. Dudorov V., Novokshchenova A., Kravchenko Y., Randelin D., Agapova V. The effectiveness of using the microbial synthesis protein "Gaprin" in feeding juvenile Australian red-clawed crayfish. E3S Web of Conferences. 2023. Pp. 463.
5. Egorov I., Kupina L., Aksyuk I., Murtazaeva R. Gaprin-a protein source. Poultry farming. 1990. Vol. 8. Pp. 25-27.
6. Feodoridi G. Production of food protein by microorganisms from methane. HyditeX Corporation, North Cyprus. 2024. 12 p.
7. New M. B. Farming freshwater prawn: a manual for the culture of the giant river prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). Rome: FAO, Fisheries Techn. Pap. Food and agriculture organization of the United Nations. 2002. № 428. 212 p.
8. Roque R., Rodriguez V., Santos, P. Microbial Production of Menthol. Microbial Production of Food Bioactive Compounds. Springer, Cham. 2025.
9. Kovachev N. P., Zhigin A. V., Borisov R. R., Kryzhova N. V., Lebedev R. O., Perin-Chudin A. V. Biology and culturalism of gypsy freshwater fish *Macrobrachium rosenbergii* (de Man, 1876). Moscow: VNIRO Publishing House, 2015. 111 p.
10. Momeni M. Gaprin is one of the points of contact between representatives of Iran and Russia. Business Magazine Neftegaz.RU. 2021. No. 1 (109). Pp. 46-51.
11. Burukovsky R. N. Methodology of biological analysis of some tropical and subtropical shrimps. Collection of Scientific Article. Research Institute of Fisheries and Oceanography. Moscow: VNIIPRKH, 1992. Pp. 77-91.
12. Mikarev V. Ya. Molting and spraying of the freshwater shrimp *Macrobrachium asperulum* (von Martens). 1969. Vol. 65. Pp. 424-428.
13. Salnikov N. E., Sukhanova M. E. Breeding and cultivation of freshwater shrimp in the south of Russia. Astrakhan: Kaspniirkh Publishing House, 2000. 230 p.
14. Statkevich S. V. The population of the giant freshwater shrimp *Macrobrachium rosenbergii* (Decapoda: Palaemonidae) as part of aquaculture. Science TINRO. 2015. Volume 182. Pp. 242-248.
15. Khmeleva N. N., Kulesh V. F., Alekhovich A. V., Giginayak Yu. G. Ecology of freshwater shrimp. Minsk: "Belorusskaya nauka", 1997. 254 p.
16. Kwon K. S. The life history of the freshwater shrimp *Macrobrachium rosenbergii* (De Man), grown in the laboratory. Collect. Breed. 1982. Vol. 44. No 2. Pp. 376-381.
17. Chervyakov B. V. Breeding of freshwater shrimps. Fish farming. 1991. No 3. Pp. 35-39.
18. Ang K. J., Law Y. K. Fecundity changes in *Macrobrachium rosenbergii* (de Man) during egg incubation. Aquaculture and Fisheries Management. 1991. V. 22. Pp. 1-6.

Информация об авторах

Пономарев Сергей Владимирович, доктор биологических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» (Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева 16); профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина» (Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, 23), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9143-7931>, e-mail: ya.panama2011@yandex.ru

Федоровых Юлия Викторовна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» (Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева 16), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0789-1566>, e-mail: jaqua@yandex.ru

Левина Ольга Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» (Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева 16), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5543-491X>, e-mail: levina90@inbox.ru

Терганова Наталья Владимировна, аспирант, ведущий инженер, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» (Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева 16), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9277-1918>, e-mail: yhtetbmd@mail.ru

Ахмеджанова Алия Баймуратовна, кандидат биологических наук, ведущий инженер, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» (Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева 16), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9283-8916>, e-mail: aliyaakhmedzhanova@yandex.ru

Нюньков Павел Андреевич, генеральный директор ООО «Гипробиосинтез» (Российская Федерация, 123112, г. Москва, ул. Тестовская, 10, подъезд 1, эт. 18), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6459-5435>, e-mail: nyunkov.p@gibios.ru

Authors' Information

Ponomarev Sergey Vladimirovich, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department, Astrakhan State Technical University (Russian Federation, 414056, Astrakhan, Tatishchev str., 16); Professor of the Department, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MBA named after K. I. Scriabin (Russian Federation, 109472, Moscow, Akademik Skryabin str., 23), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9143-7931>, e-mail: ya.panama2011@yandex.ru

Fedorovskh Yulia Viktorovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Astrakhan State Technical University (Russian Federation, 414056, Astrakhan, Tatishchev str., 16), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0789-1566>, e-mail: jaqua@yandex.ru

Levina Olga Aleksandrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Astrakhan State Technical University (Russian Federation, 414056, Astrakhan, Tatishchev str., 16), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5543-491X>, e-mail: levina90@inbox.ru

Terganova Natalia Vladimirovna, Postgraduate Student, Leading Engineer, Astrakhan State Technical University (Russian Federation, 414056, Astrakhan, Tatishchev str., 16), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9277-1918>, e-mail: yhtetbmd@mail.ru

Akhmedzhanova Aliya Baymuratovna, Candidate of Biological Sciences, Leading Engineer, Astrakhan State Technical University (Russian Federation, 414056, Astrakhan, Tatishchev str., 16), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9283-8916>, e-mail: aliyaakhmedzhano-va@yandex.ru

Nyunkov Pavel Alekseevich, General Director of Giprobiosynthesis LLC (Russian Federation, 123112, Moscow, Testovskaya str., 10, entrance 1, fl. 18), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6459-5435>, e-mail: nyunkov.p@gibios.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-39

ZOO-TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF USING THE ZEOLITES TOPICALLY WITH THE DIHYDROQUERCETIN IN LAYING HENS FEEDING

¹Sharvadze R. L., ²Chekhranova S. V., ³Shvetsov N. N., ¹Kurkov Yu. B., ¹Burmaga A. V.,
⁴Penzin A. A., ²Vorontsova E. S.

¹Far Eastern State Agrarian University
Blagoveshchensk, Russian Federation

²Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

³Belgorod State Agrarian University named after V. Ya. Gorin
Belgorod, Russian Federation

⁴Federal Scientific Center "All-Russian Scientific Research Institute of SOY"
Blagoveshchensk, Russian Federation

Corresponding author E-mail: roiny64@mail.ru

Received 04.08.2025

Submitted 25.11.2025

The research was carried out under the agreement No. 14 dated 05.07.2023.**Abstract**

Introduction. The efficiency of egg poultry farming depends on many factors. The main one is considered to be the factor associated with adequate feeding. The cost of poultry products is $\frac{3}{4}$ determined by the costs associated with the purchase of raw materials and bird feeding technology. Therefore, the use of such feed additives that improve feed conversion and increase the economic efficiency of production is a relevant area in modern poultry farming [5, 7, 8, 9, 10]. **Object of the study.** The object of the research was laying hens. **Materials and methods.** The work examines the zootechnical and economic efficiency of a complex feed additive (5 g of zeolite from the Innokentevsky deposit and 5 mg of dihydroquercetin (Ekostimul-2) per head per day) in the diet of laying hens. The production experiment was conducted on 600 laying hens divided into 2 groups, control and experimental (300 heads per group) in the conditions of Krasnaya Zvezda LLC (Amur Region) for 2 months. The control group received the basic compound feed (115 g/day), the experimental group received the same diet with the additive. **Results and conclusions.** The results showed a reliable increase in productivity in the experimental group: gross egg production increased by 7.35 % (13,719 eggs versus 12,780 eggs), egg mass – by 7.72 % (788.29 kg versus 731.78 kg). Feed conversion improved: compound feed consumption per 10 eggs decreased from 1.62 kg to 1.57 kg, per 1 kg of egg mass – from 2.82 kg to 2.74 kg. Economic calculation revealed additional income from the sale of additional products in the amount of 939 eggs worth 9014 rubles, after deducting the costs of feed additives, the net effect was 4333 rubles per experiment or 0.24 rubles per head per day. When scaling to a population of 80 thousand laying hens, the daily profit will exceed 19 thousand rubles. The findings confirm the feasibility of using the additive: it increases productivity, reduces feed costs and provides economic benefits for poultry enterprises.

Keywords: laying hens, laying hen diets, zeolites, dihydroquercetin, egg poultry, egg mass, complex feed additives.

Citation. Sharvadze R. L., Chekhranova S. V., Shvetsov N. N., Kurkov Yu. B., Burmaga A. V., Penzin A. A., Vorontsova E. S. Zoo-technical and economic feasibility of using the zeolites topically with the dihydroquercetin in laying hens feeding. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 350-356 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-39.

Authors' contribution. In this experiment, all authors took part in the planning, implementation, and analysis of the results of the research. The presented version of the article was approved by all authors.

Conflict of interest. The authors did not declare a conflict of interest.

УДК 636.5.034+636.5.087.7

**ЗООТЕХНИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ
ЦЕОЛИТОВ СОВМЕСТНО С ДИГИДРОКВЕРЦЕТИНОМ В КОРМЛЕНИИ КУР-НЕСУШЕК**¹ Шарвадзе Р. Л., доктор сельскохозяйственных наук, профессор² Чехранова С. В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор³ Швецов Н. Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор¹ Курков Ю. Б., доктор технических наук, профессор¹ Бурмага А. В., доктор технических наук, доцент⁴ Пензин А. А., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник² Воронцова Е. С., кандидат биологических наук¹ ФГБОУ ВО Дальневосточный государственный аграрный университет

г. Благовещенск, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

³ ФГБОУ ВО Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина

г. Белгород, Российская Федерация

⁴ ФГБНУ Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои»

г. Благовещенск, Российская Федерация

Исследования выполнены в рамках договора № 14 от 05.07.2023.

Актуальность. Эффективность яичного птицеводства зависит от многих факторов. Основным из них считается фактор, связанный с полноценным кормлением. Себестоимость продукции птицеводства на % определяется затратами, связанными с приобретением сырья и технологией кормления птиц. Поэтому применение таких кормовых добавок, которые улучшают конверсию корма и увеличивают экономическую эффективность производства является актуальным направлением в современном птицеводстве. **Объект исследования.** В опыте использовались куры – несушки. **Материалы и методы.** В работе исследуется зоотехническая и экономическая эффективность комплексной кормовой добавки (5 г цеолита Иннокентьевского месторождения и 5 мг дигидрокверцетина (Экостимул-2) на голову в сутки) в рационе кур-несушек. Производственный опыт проведен на 600 курах-несушках разделенных на 2 группы, контрольную и опытную (по 300 голов в группе) в условиях ООО «Красная Звезда» (Амурская область) в течение двух месяцев. Контрольная группа получала базовый комбикорм (115 г/сут.), опытная – тот же рацион с добавкой. **Результаты и выводы.** Результаты показали достоверное повышение продуктивности в опытной группе: валовое производство яиц увеличилось на 7,35 % (13 719 шт. против 12 780 шт.), яичной массы – на 7,72 % (788,29 кг против 731,78 кг). Конверсия корма улучшилась: расход комбикорма на 10 яиц снизился с 1,62 кг до 1,57 кг, на 1 кг яичной массы – с 2,82 кг до 2,74 кг. Экономический расчет выявил дополнительный доход от реализации дополнительной продукции в количестве 939 яиц стоимостью 9014 руб., после вычета затрат на кормовые добавки чистый эффект составил 4333 руб. за опыт или 0,24 руб./гол. в сутки. При масштабировании на поголовье 80 тыс. несушек ежедневная прибыль превышает 19 тыс. руб. Выводы подтверждают целесообразность применения добавки: она повышает продуктивность, снижает затраты корма и обеспечивает экономическую выгоду для птицеводческих предприятий.

Ключевые слова: куры-несушки, рационы кур-несушек, цеолиты, дигидрокверцетин, яичное птицеводство, яичная масса, комплексные кормовые добавки.

Цитирование. Шарвадзе Р. Л., Чехранова С. В., Швецов Н. Н., Курков Ю. Б., Бурмага А. В., Пензин А. А., Воронцова Е. С. Зоотехническая и экономическая целесообразность применения цеолитов совместно с дигидрокверцетином в кормлении кур-несушек. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 350-356. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-39.

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. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Современное птицеводство играет ключевую роль в обеспечении населения ценными высокобелковыми продуктами питания, прежде всего яйцом и мясом птицы. Эффективность отрасли определяется комплексом факторов, среди которых, по мнению ведущих отечественных и зарубежных исследователей, первостепенное значение имеет организация полноценного кормления. Это обусловлено тем, что до % себестоимости конечной продукции формируется за счет затрат на кормовые ресурсы, включая приобретение сырья, производство комбикормов и организацию процесса кормления. В условиях постоянного роста цен на зерновые компоненты кормов и ужесточения экологических

требований к производству, особую актуальность приобретает поиск и внедрение инновационных кормовых добавок, способных одновременно решать несколько задач: улучшать конверсию корма, повышать продуктивность птицы, снижать экологическую нагрузку и в конечном итоге – увеличивать экономическую эффективность производства. Именно поэтому разработка и оптимизация состава кормовых добавок с доказанной эффективностью остается одним из приоритетных направлений развития современного промышленного птицеводства [1, 2, 3, 4].

В качестве кормовых добавок для кур-несушек могут быть использованы как традиционные (витаминно-минеральные премиксы, аминокислоты, ферменты), так и нетрадиционные препараты различного происхождения: природные (фитобиотики, флавоноиды, сорбенты), синтетические (антиоксиданты, кокцидиостатики) и биотехнологические (пробиотики, пребиотики) [2, 5]. При этом важно учитывать, что комплексное применение таких добавок требует тщательного подбора компонентов, так как их взаимодействие может приводить к различным эффектам: синергизму (усилению полезных свойств), аддитивному действию (простое суммирование эффектов) или антагонизму (взаимному ослаблению, как например, при одновременном применении некоторых антибиотиков и пробиотиков) [8]. Особое значение имеет оптимальное дозирование компонентов, поскольку даже потенциально полезные сочетания при неправильной концентрации могут проявлять негативные эффекты, что подтверждается исследованиями взаимодействия минеральных и органических добавок в рационах сельскохозяйственной птицы [5, 8].

Цеолиты – уникальные природные минералы с развитой микропористой структурой, способные эффективно поглощать молекулы определенных размеров и форм, проявляя высокую адсорбционную активность и способность к ионному обмену. Эти свойства делают их незаменимыми компонентами кормовых добавок в животноводстве, позволяя решать широкий спектр задач по обеспечению здоровья и продуктивности животных. Цеолиты обладают способностью связывать и выводить из организма токсические вещества, такие как тяжелые металлы, нитраты, радионуклиды и микотоксины, защищая печень, почки и пищеварительную систему от негативных воздействий. Поддерживают нормальную микрофлору кишечника, подавляют патогенную флору и препятствуют развитию желудочно-кишечных расстройств, улучшая усвоение питательных веществ и повышая аппетит. Это особенно важно при выращивании высокопродуктивных пород скота и птицы, подверженных стрессам и воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды. Более того, цеолиты оказывают положительное влияние на воспроизводительные функции животных, усиливая оплодотворяемость самок и увеличивая жизнеспособность потомства. Регулярное употребление цеолитов способствует укреплению костной ткани, поддерживая оптимальный минеральный состав костей и зубов, что также позитивно отражается на здоровье и производительности животных [8, 9, 10, 11].

Дигидрокверцетин – природный антиоксидант растительного происхождения, активно применяемый в животноводстве благодаря своим уникальным свойствам. Его использование в кормах способствует улучшению здоровья животных, повышению продуктивности и качества продукции животного происхождения. Дигидрокверцетин обладает выраженными противовоспалительными, антигипоксическими и гепатопротекторными свойствами, способствуя защите клеток печени от повреждений и ускоряя процессы восстановления тканей. Добавление этого вещества в рацион животных помогает снизить уровень стресса, повысить иммунитет и устойчивость организма к различным заболеваниям, включая инфекционные болезни. Благодаря своему влиянию на обмен веществ, дигидрокверцетин улучшает усвоение питательных компонентов корма, повышает прирост живой массы, качество мяса и молока, снижает количество антибиотиков и других лекарственных препаратов, используемых в ветеринарии. Таким образом, применение дигидрокверцетина в качестве добавки к кормам позволяет оптимизировать процесс выращивания сельскохозяйственных животных, повышая экономическую эффективность производства продуктов питания высокого качества и безопасности [5, 12, 13, 14, 15, 16].

В 2021-2024 гг. учеными и обучающимися зоотехнического профиля Дальневосточного ГАУ была проведена серия научно-хозяйственных и физиологических опытов с целью нахождения оптимального состава кормовой добавки из цеолитов, дигидрокверцетина (Экостимул-2) и сушеной ламинарии для кур-несушек [8, 14, 17, 18]. По результатам этих опытов пришли к выводу, что лучшей, из возможных сочетаний с учетом оптимальных норм дозировки, будет кормовая добавка, состоящая из 5 г цеолитов и 5 мг дигидрокверце-

тина. Добавление ламинарии из-за ее дороговизны не способствовало пропорциональному увеличению продуктивности. В полной мере утверждать вышесказанное возможно стало только после проведения производственной проверки на большом поголовье птицы.

Целью производственного опыта являлась апробация результатов уже проведенных научно-хозяйственных и физиологических опытов в производственных условиях на предмет целесообразности применения в качестве кормовой добавки к комбикормам для кур-несушек 5 г цеолита и 5 мг дигидрокверцетина на голову в сутки.

В соответствии с поставленной целью, **в задачи** эксперимента вошли: формирование подопытных групп (контрольной и опытной) для эксперимента; определение продуктивности кур-несушек в период опыта; расчет конверсии корма и экономической эффективности применения кормовой добавки.

Материалы и методы. Производственный опыт проведен в условиях ООО «Красная Звезда» Новоивановской птицефабрики (Амурская область, Свободненский МО). В опыте участвовало 600 кур-несушек, разделенных на опытную и контрольную группу по 300 голов. В начале эксперимента курочки находились в возрасте 22 недель. Наблюдение продолжалось в течение 60 дней. Куры из контрольной группы получали основной комбикорм, применяемый в хозяйстве в количестве 115 г в сутки. А для кур из опытной группы использовали такое же количество основного комбикорма с добавлением 5 г цеолита Иннокентьевского месторождения и 5 мг дигидрокверцетина (Экостимул-2).

Результаты и обсуждение. Для определения эффективности применения скорректированных кормовых рационов и рецептур комбикормов, наряду с другими показателями определяют конверсию корма (расход корма на единицу продукции) и экономическую эффективность применения кормовой добавки. По этим величинам и можно судить о целесообразности использования предлагаемой добавки.

Конверсия корма – это показатель, который отражает необходимое количество корма для образования и получения единицы продукции. Соответствующие данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Расход корма на единицу продукции за период опыта
Table 1 – Feed consumption per unit of production over the period of the experiment

Показатель / Indicator	Группа / Group	
	контрольная / control	опытная / experimental
Количество кур, гол. / Number of chickens, pcs.	300	300
Продолжительность опыта, сут. / Duration of the experience, day	60	60
Количество потребленного корма, кг / Amount of feed consumed, kg	2070	2160
Валовое производство яиц, шт. / Gross egg production, pcs.	12780	13719
Валовое производство яичной массы, кг / Gross production of egg mass, kg	731,78	788,29
Расход корма на 10 яиц, кг / Feed consumption per 10 eggs, kg	1,62	1,57
Расход корма на 1 кг яичной массы / Feed consumption per 1 kg of egg mass	2,82	2,74

При продолжительности опыта 60 суток и принятой в хозяйстве норме кормления на одну несушку 115 г комбикорма, количество потребленного корма за опыт в контрольной группе составило 2070 кг. В опытной группе этот показатель с учетом кормовой добавки оказался на уровне 2160 кг. Валовое производство яиц в контрольной группе оказалось на уровне 12780 шт., а в опытной 13719 шт. Превосходство опытной группы составило 7,35 %. Аналогичная картина наблюдается по другому показателю продуктивности – яичной массе. В контрольной группе получено на 7,72 % больше яичной массы. Расход корма на 10 яиц в опытной группе составил 1,57 кг против 1,62 кг в контрольной группе, а расход комбикорма на 1 кг яичной массы 2,74 кг против 2,82 кг соответственно.

Таким образом установлено, что конверсия корма в опытной группе выше, чем в контрольной как по яйценоскости, так и по производству яичной массы.

Высокая конверсия корма в большей степени обеспечивает лучшее финансово-экономическое положение производства, и является гарантом стабильности предприятия. Соответствующие показатели для нашего эксперимента приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Эффективность скормливания курам-несушкам комплексной кормовой добавки
Table 2 – Effectiveness of feeding complex feed additives to laying hens

Показатель / Indicator	Группа / Group	
	контрольная / control	опытная / experimental
Количество кур, гол. / Number of chickens, pcs.	300	300
Продолжительность опыта, сут. / Duration of the experience, day	60	60
Валовой сбор яиц за период опыта, тыс. шт. / The gross harvest of eggs during the period of experience, thousand pcs.	12,78	13,719
Цена реализации 1 яйца, руб. / The selling price of 1 egg, rub.	9,6	9,6
Стоимость валовой продукции, тыс. руб. / The cost of gross output, thousand rubles.	122,688	131,702
Дополнительные затраты (стоимость кормовых добавок), руб. / Additional costs (cost of feed additives), rub.	-	4681
Дополнительно полученная продукция (яйцо), шт. / Additionally received products (raw materials), pcs.	-	939
Стоимость дополнительной продукции, руб. / The cost of additional products, rub.	-	9014
Экономический эффект на группу за опыт, руб. / The economic effect on the group for the experience, rub.	-	4333
Экономический эффект на одну курицу в сутки, руб. / Economic effect per chicken per day, rub.	-	0,24

В течение опыта за счет более высокой яйценоскости кур из опытной группы была получена дополнительная продукция в количестве 939 яиц. Высокая яйценоскость в опытной группе обеспечена именно кормовыми добавками, так как все остальные условия опыта были одинаковыми с контрольной группой. При реализационной цене одного яйца в размере 9,6 руб. стоимость дополнительно полученной продукции составила 9014 руб. Следует отметить, что в опытной группе имели место дополнительные затраты в количестве 4681 руб. на покрытие расходов, связанных с приобретением 90 кг цеолитов и 90 г дигидрокверцетина. Добавки были закуплены по рыночной стоимости сформировавшейся на момент проведения эксперимента (цеолит – 35 руб./кг, дигидрокверцетин – 17000 руб./кг). Экономический эффект на группу за опыт составил 4333 рубля.

Заключение. Итоги производственного исследования подтвердили результаты ранее проведенных научно-хозяйственных и физиологических опытов [8, 9, 10, 11] и дают основание утверждать, что использование 5 г цеолита и 5 мг дигидрокверцетина (Экостимул-2) в качестве кормовой добавки в рецептуре комбикормов для кур-несушек целесообразно с точки зрения зоотехники и экономически обосновано. Валовой сбор яиц увеличивается примерно на 7,35 %, что обеспечивает экономический эффект на одну курицу в размере 0,24 руб. в сутки. На предприятии ООО «Красная Звезда» Новоивановской птицефабрики со средним поголовьем 80 тыс. кур-несушек в сутки дополнительно можно получать продукцию на сумму более 19 тыс. рублей.

Conclusion. The results of the production experiment confirmed the results of previously conducted scientific, economic and physiological experiments [8, 9, 10, 11] and give grounds to assert that the use of 5 g of zeolite and 5 mg of dihydroquercetin (Ekostimul-2) as a feed additive in the formula of compound feed for laying hens is advisable from the point of view of zootechnics and economically justified. The gross egg collection increases by approximately 7.35 %, which provides an economic effect per chicken in the amount of 0.24 rubles per day. The enterprise ООО Krasnaya Zvezda Novoivanovskaya poultry farm with an average livestock of 80 thousand laying hens per day can additionally receive products worth more than 19 thousand rubles.

Библиографический список

- Ефимова И. О., Косяев Н. И., Сергеева Н. С., Царевский И. В. Синергизм и антагонизм витаминов. Актуальные проблемы ветеринарной медицины и зоотехнии: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Чебоксары: Чувашский государственный аграрный университет, 2023. С. 298-303.
- Кавтарашвили А. Обогащаем рационы для кур. Животноводство России. 2022. № 2. С. 21-24.
- Краснощекова Т. А., Перепелкина Л. И., Бабухадия К. Р. Оптимизация микроминерального питания кур-несушек. Дальневосточный аграрный вестник. 2017. № 2 (42).

4. Пензин А. А., Шарвадзе Р. Л., Курков Ю. Б., Перепелкина Л. И. Влияние комплексной кормовой добавки из цеолита и дигидрохверцетина на продуктивность кур-несушек. Зоотехния. 2024. № 7. С. 29-32.
5. Фомичев Ю. П. Эффективность комплексного применения антиоксиданта дигидрохверцетина и пребиотика арабиногалактана при выращивании телят в молочный период. Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2021. № 4. С. 47-55.
6. Цой З. В., Васильева Н. В. Переваримость питательных веществ при использовании нетрадиционных кормовых добавок в птицеводстве. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 3 (197). С. 87-91.
7. Шарвадзе Р. Л., Бабухадия К. Р., Елизарьев А. А. Влияние скормливания ламинарии на инкубационные качества яиц кур-несушек. Проблемы зоотехнии, ветеринарии и биологии животных на Дальнем Востоке: сборник научных трудов. Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2016. Вып. 23. С. 23-27.
8. Шарвадзе Р. Л., Пензин А. А., Юэцзюэ Ч. Влияние цеолитов Вангинского месторождения на продуктивность кур. Дальневосточный аграрный вестник. 2022. Т. 16. № 1. С. 87-94.
9. Михайлова Л. Р., Жестянова Л. В., Лаврентьев А. Ю., Шерне В. С. Эффективность применения природных цеолитов в кормлении молодняка свиней. Нива Поволжья. 2021. № 1 (58). <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-primeneniya-prirodnih-tseolitov-v-kormlenii-molodnyaka-sviney>
10. Дежаткина С. В. и др. Обогащение рациона молочных коров природным цеолитом. Научно-методический электронный журнал "Концепт". 2016. Т. 11. С. 2661-2665.
11. Черноградская Н. М., Бабухадия К. Р., Григорьев М. Ф., Григорьева А. И. Использование местных нетрадиционных кормовых добавок в скотоводстве Якутии. Дальневосточный аграрный вестник. 2020. № 1 (53). <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-mestnyh-netraditsionnyh-kormovyh-dobavok-v-skotovodstve-yakutii>
12. Никанова Л. А., Фомичев Ю. П. Биопротекторное действие дигидрохверцетина и арабиногалактана в ослаблении влияния экстремальных факторов среды на организм свиней. Сборник научных трудов СКНИИЖ. 2016. № 2.
13. Джамалдинов А. Ч., Наризный А. Г. Влияние дигидрохверцетина и фосфолипидов на репродуктивные показатели хряков-производителей. Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Знака почета государственная академия ветеринарной медицины. 2017. Т. 53. № 2. С. 43-46.
14. Шарвадзе Р. Л., Пензин А. А. Влияние дигидрохверцетина на рост и развитие ремонтного молодняка кур-несушек. Дальневосточный аграрный вестник. 2022. Т. 16. № 4. С. 84-92.
15. Никанова Л. А. Использование дигидрохверцетина и арабиногалактана в питании поросят-отъемышей. Вестник АПК Верхневолжья. 2019. № 3 (47). С. 47-50.
16. Углов В. А., Бородай Е. В. Роль арабиногалактана и дигидрохверцетина в лечении сельскохозяйственных животных по данным патентных исследований. Инновации и продовольственная безопасность. 2022. № 1 (35). С. 101-107.
17. Шарвадзе Р. Л., Бабухадия К. Р., Пензин А. А., Чэнь Ю. Сравнительная оценка влияния цеолитов разных месторождений на обмен веществ и продуктивность кур. Дальневосточный аграрный вестник. 2021. № 4 (60). С. 157-164.
18. Zampiga M., Calini F., Sirri F. Importance of feed efficiency for sustainable intensification of chicken meat production: implications and role for amino acids, feed enzymes and organic trace minerals. Worlds Poult. Sci. J. 2021. No 77. Pp. 639-659.

References

1. Efimova I. O., Kosyaev N. I., Sergeeva N. S., Tsarevsky I. V. Synergism and antagonism of vitamins. Actual problems of veterinary medicine and animal science: Proceedings of the All-Russian (national) Scientific and Practical Conference. Chelboksary: Chuvash State Agrarian University. 2023. Pp. 298-303.
2. Kavtarashvili A. Enriching rations for chickens. Animal husbandry in Russia. 2022. No 2. Pp. 21-24.
3. Krasnoshchekova T. A., Perepelkina L. I., Babukhadia K. R. Optimization of micromineral nutrition of laying hens. Far Eastern Agrarian Bulletin. 2017. No 2 (42).
4. Penzin A. A., Sharvadze R. L., Kurkov Yu. B., Perepelkina L. I. The effect of a complex feed additive made of zeolite and dihydroquercetin on the productivity of laying hens. Zootechny. 2024. No 7. Pp. 29-32.
5. Fomichev Yu. P. The effectiveness of the complex use of the antioxidant dihydroquercetin and the prebiotic arabinogalactan in the rearing of calves during the dairy period. Veterinary, animal science and biotechnology. 2021. No. 4. Pp. 47-55.
6. Tsoi Z. V., Vasilyeva N. V. The digestibility of nutrients when using non-traditional feed additives in poultry farming. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2021. No 3 (197). Pp. 87-91.
7. Sharvadze R. L., Babukhadia K. R., Elizariev A. A. The effect of laminaria feeding on the incubation qualities of laying hens eggs. Problems of animal science, veterinary medicine and animal biology in the Far East: A collection of scientific papers. Blagoveshchensk: Far Eastern State Agrarian University, 2016. I. 23. Pp. 23-27.
8. Sharvadze R. L., Penzin A. A., Yuejue Ch. The influence of zeolites of the Wanginsky birthplace on the productivity of chickens. Far Eastern Agrarian Bulletin. 2022. V. 16. No. 1. Pp. 87-94.
9. Mikhailova L. R., Zhestyanova L. V., Lavrentiev A. Yu., Sherne V. S. The effectiveness of using natural zeolites in feeding young pigs. Niva of the Volga region. 2021. No. 1 (58). <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-primeneniya-prirodnih-tseolitov-v-kormlenii-molodnyaka-sviney>
10. Dezhatkina S. V. et al. Enrichment of the diet of dairy cows with natural zeolite. Scientific and methodological electronic journal "Concept". 2016. No 11. Pp. 2661-2665.
11. Chernogradskaya N. M., Babukhadia K. R., Grigoriev M. F., Grigorieva A. I. The use of local non-traditional feed additives in cattle breeding in Yakutia. Far East Agrarian Bulletin. 2020. No 1 (53). <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-mestnyh-netraditsionnyh-kormovyh-dobavok-v-skotovodstve-yakutii>
12. Nikanova L. A., Fomichev Yu. P. Bioprotective effect of dihydroquercetin and arabinogalactan in reducing the influence of extreme environmental factors on the human body. Collection of scientific papers of the Russian National Research Institute. 2016. No 2.
13. Dzhamalidinov A. Ch., Narizhny A. G. The influence of dihydroquercetin and phospholipids on the reproductive performance of boar producers. Scientific notes of the educational institution Vitebsk Order of the Badge of Honor State Academy of Veterinary Medicine. 2017. Vol. 53. No 2. Pp. 43-46.

14. Sharvadze R. L., Penzin A. A. The influence of dihydroquercetin on the growth and development of repair young laying hens. *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2022. V. 16. No 4. Pp. 84-92.
15. Nikanova L. A. The use of dihydroquercetin and arabinogalactan in the nutrition of weaning piglets. *Bulletin of the Agro-industrial complex of the Upper Volga region*. 2019. № 3 (47). Pp. 47-50.
16. Uglov V. A., Borodai E. V. The role of arabinogalactan and dihydroquercetin in the treatment of agricultural animals according to patent research data. *Innovations and food safety*. 2022. No 1 (35). Pp. 101-107.
17. Sharvadze R. L., Babukhadia K. R., Penzin A. A., Chen Yu. Comparative assessment of the effect of zeolites from different deposits on the metabolism and productivity of chickens. *Far-East Agrarian Bulletin*. 2021. No 4 (60). Pp.157-164.
18. Zampiga M., Calini F., Sirri F. Importance of feed efficiency for sustainable intensification of chicken meat production: implications and role for amino acids, feed enzymes and organic trace minerals. *Worlds Poult. Sci. J.* 2021. No 77. Pp. 639-659.

Информация об авторах

Шарвадзе Роини Леванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор ФГБОУ ВО Дальневосточный государственный аграрный университет (Российская Федерация, 675005 Дальневосточный федеральный округ, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86), e-mail: roiny64@mail.ru

Чехранова Светлана Викторовна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: schekhranova@mail.ru

Швецов Николай Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ имени В. Я. Горина (Российская Федерация, 308503, Белгородская область, Белгородский район, пос. Майский, ул. Вавилова, 24), e-mail: vladimirnik50@yandex.ru

Курков Юрий Борисович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор ФГБОУ ВО Дальневосточный государственный аграрный университет (Российская Федерация, 675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86), e-mail: roiny64@mail.ru

Бурмага Андрей Владимирович, доктор технических наук, доцент ФГБОУ ВО Дальневосточный государственный аграрный университет (Российская Федерация, 675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86), e-mail: roiny64@mail.ru

Пензин Андрей Андреевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ ФНЦ Всероссийский научно-исследовательский институт сои (Russian Federation, 675028, Амурская область, г. Благовещенск, Игнатьевское шоссе, 19), e-mail: penzin9898@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

Sharvadze Roini Levanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Far Eastern State Agrarian University (Russian Federation, 675005, Far Eastern Federal District, Amur Region, Blagoveshchensk, Politekhnikeskaya Str., 86), e-mail: roiny64@mail.ru

Chehranova Svetlana Viktorovna, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: schekhranova@mail.ru

Shvetsov Nikolai Nikolaevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Department of General and Private Animal Science, Belgorod State Agricultural University named after V. Ya. Gorin (Russian Federation, 308503, Belgorod Region, Belgorod District, Maysky Settlement, Vavilov Str., 24), e-mail: vladimirnik50@yandex.ru

Kurkov Yuri Borisovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Far Eastern State Agrarian University (Russian Federation, 675005, Far Eastern Federal District, Amur Region, region, Blagoveshchensk, Politekhnikeskaya str. 86), e-mail: roiny64@mail.ru

Burmaga Andrey Vladimirovich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Far Eastern State Agrarian University (Russian Federation, 675005, Far Eastern Federal District, Amur Region, Blagoveshchensk, Politekhnikeskaya Str. 86), e-mail: roiny64@mail.ru

Penzin Andrey Andreevich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, All-Russian Research Institute of Soybeans (Russian Federation, 675028, Far Eastern Federal District, Amur Region, Blagoveshchensk, Ignatyevskoye Shosse, 19), e-mail: penzin9898@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: 10.32786/2071-9485-2025-06-40

THE USE OF A BALANCING FEED ADDITIVE IN THE REARING OF YOUNG ANIMALS IN DAIRY CATTLE BREEDING¹Varakin A. T., ¹Stepurina M. A., ¹Fligelman B. A., ¹Salomatin V. V., ²Simonov G. A.¹*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*²*Vologda State Dairy Farming Academy named after N. V. Vereshchagin
Vologda, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: varakinat58@mail.ru

Received 12.11.2025

Submitted 02.12.2025

Abstract

Introduction. Achieving planned animal productivity indicators is achieved by balancing diets in terms of energy and all necessary nutrients, according to detailed feeding standards, and in particular the content of mineral elements. For cattle, in particular for calves in the growing period, the mineral nutritional value of the feed consumed is very important. Therefore, the introduction of mineral balancing feed additives into

diets is relevant and has scientific and practical significance. **Materials and methods.** The scientific and economic experiment was carried out on calves during the milk growing period. For the research, groups of experimental heifers of the Holstein breed were formed, with fifteen animals included in each group. The formation of calves into groups was carried out according to the principle of pairs-analogues. The peculiarities of feeding the experimental calves were that the control group was fed the main (ОР), and the experimental group received the same ОР, only with the additional introduction of a feed mineral supplement – sulfur for livestock. **Results and conclusion.** When introducing the tested balancing feed additive into the diet of replacement young dairy cattle in the experimental group, an advantage in the nutritional value of the average daily diet was established, compared to the control, in terms of the content of the vital (biogenic, biotic) macro element – sulfur. Research has shown that the use of this mineral supplement contributed to an increase in weight gain in calves during the lactation period. Application of the developed technological technique with the introduction of a balancing feed additive into the calf diet: sulfur for livestock, allows to improve the economic efficiency indicators in raising replacement young stock in dairy cattle farming.

Keywords: dairy cattle breeding, young cattle, feeding of young cattle, diets of young cattle, mineral feed additives.

Citation. Varakin A. T., Stepurina M. A., Fligelman B. A., Salomatin V. V., Simonov G. A. The use of a balancing feed additive in the rearing of young animals in dairy cattle breeding. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 356-365 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-40.

Authors' contribution. All authors of the study were directly involved in the planning, conducting or analyzing this work. The authors of this article are familiar with the submitted final version and approved it.

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

УДК 636.2.033.087

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАЛАНСИРУЮЩЕЙ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ РЕМОНТНОГО МОЛОДНЯКА В МОЛОЧНОМ СКОТОВОДСТВЕ

¹Варакин А. Т., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Степурина М. А., кандидат сельскохозяйственных наук

¹Флигельман Б. А., соискатель

¹Саломатин В. В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

²Симонов Г. А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия
имени Н. В. Верещагина»

г. Вологда, Российская Федерация

Актуальность. Достижение запланированных продуктивных показателей животных осуществляется путём балансирования рационов по энергии и всем необходимым питательным веществам, согласно детализированным нормам кормления, и, в частности, по содержанию минеральных элементов. Для крупного рогатого скота, в частности, телят молочного периода выращивания очень важна минеральная питательность потребляемого корма. Поэтому введение в состав рационов минеральных балансирующих кормовых добавок является актуальным, имеет научное и практическое значение. **Материалы и методы.** Проведение научно-хозяйственного опыта организовали на телятах молочного периода выращивания. Для исследований сформировали группы подопытных тёлочек голштинской породы, с включением в каждую группу по пятнадцать животных. Формирование телят в группы выполнили по принципу пар-аналогов. Особенности кормления подопытных телят заключались в том, что контрольной группе скармливали основной (ОР), а опытная группа получала такой же ОР, только с дополнительным введением в него кормовой минеральной добавки – серы для животноводства. **Результаты и выводы.** При введении в состав рационов ремонтного молодняка молочного скота испытываемой балансирующей кормовой добавки в опытной группе установлено преимущество по питательности среднего суточного рациона, сравнительно с контролем, по содержанию жизненно необходимого (биогенного, биотического) макроэлемента – серы. Исследованиями выявлено, что использование данной минеральной добавки способствовало увеличению весового роста у телят молочного периода выращивания. Применение разработанного технологического приёма с введением в состав рациона для телят балансирующей кормовой добавки: серы для животноводства, позволяет улучшить показатели экономической эффективности при выращивании ремонтного молодняка в молочном скотоводстве.

Ключевые слова: молочное скотоводство, молодняк КРС, кормление молодняка КРС, рационы молодняка КРС, минеральные кормовые добавки.

Цитирование. Варакин А. Т., Степурина М. А., Флигельман Б. А., Саломатин В. В., Симонов Г. А. Использование балансирующей кормовой добавки при выращивании ремонтного молодняка в молочном скотоводстве. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 356-365. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-40.

Авторский вклад. Все авторы проведенного исследования принимали непосредственное участие в планировании, проведении или анализе данной работы. Авторы настоящей статьи ознакомлены с представленным окончательным её вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Все авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Биологическая полноценность кормления в значительной степени оказывает влияние на уровень реализации продуктивного потенциала сельскохозяйственных животных разных видов и половозрастных групп, что убедительно подтверждается результатами ряда научно-исследовательских работ [1-12].

Достижение запланированных продуктивных показателей животных осуществляется путём балансирования рационов по энергии и всем необходимым питательным веществам, согласно детализированным нормам кормления, и, в частности, по содержанию минеральных элементов. Также необходимо отметить, что минеральные вещества не обладают свойствами энергетической ценности, однако их роль в обмене веществ в организме чрезвычайно велика.

В связи с этим, введение до нормы кормления в рационы кормовых балансирующих добавок минеральных веществ улучшает минеральное питание в животноводстве, что находит положительное отражение при использовании для маточного поголовья [13, 14], на продуктивных показателях у разных видов животных и качестве произведённой продукции [15, 16].

Данные научных литературных источников также свидетельствуют о том, что включение в рационы кормовых минеральных добавок положительно воздействует на обменные процессы в организме животных, показатели состава их крови [17-19].

Следует отметить, что в практике ведения животноводства особое значение придаётся выращиванию здорового ремонтного молодняка, обладающего необходимыми продуктивными качествами. Поэтому в научных исследованиях, проводимых на телятах, выполняется поиск эффективных кормовых средств, что расширяет их ассортимент при введении в состав рационов, и позволяет более рационально использовать корма, способствует получению запланированных продуктивных показателей выращиваемого молодняка [20, 21].

Условия рыночной экономики диктуют необходимость организации ведения животноводства, рационально используя ресурсы кормовых средств. Для крупного рогатого скота, в частности телят молочного периода выращивания, очень важна минеральная питательность потребляемого корма. Поэтому, введение в состав рационов минеральных балансирующих кормовых добавок имеет научное и практическое значение.

Значительный интерес у научных работников и специалистов животноводства вызывает использование кормовых добавок жизненно важного (биогенного, биотического) макроэлемента – серы в рационы животных, способствующих оптимизации их минерального питания, повышению продуктивности и экономических показателей.

Необходимо также отметить важность и актуальность проведения исследований продуктивности телят, и в частности их весового роста, при введении в рационы кормовой добавки в виде серы для повышения эффективности выращивания ремонтного молодняка в молочном скотоводстве.

Целью наших исследований являлось изучение продуктивных и физиологических показателей у телят молочного периода выращивания с использованием в составе рационов балансирующей минеральной добавки – серы для животноводства.

Материалы и методы. Для достижения намеченной цели были выполнены научные исследования в условиях сельскохозяйственного производства в ПХ АО «Труд» Ленинградской области.

Проведение научно-хозяйственного опыта организовали на телятах молочного периода выращивания. Для исследований сформировали группы подопытных тёлочек голштинской породы, с включением в каждую группу по пятнадцать животных. Формирование телят в группы выполнили по принципу пар-аналогов.

Исследования на телятах сравниваемых групп в научно-хозяйственном опыте были проведены согласно схеме, приведённой в таблице 1.

Таблица 1 – Схема научно-хозяйственного опыта
Table 1 – Scheme of scientific and economic experience

Период / Period	Группа / Group	Количество, голов / Livestock numbers	Продолжительность, дни / Duration, days	Особенности кормления / Features feeding
Предварительный (уравнительный) / Preliminary (equalizing)	Контрольная, опытная / Control, experimental	30	10	Основной рацион (ОР) / Basic ration (BR)
Переходный / Transition	Контрольная / Control	15	5	ОР / BR
	Опытная / Experimental	15	5	ОР + сера для животноводства – приучение / BR + sulfur for livestock – training
Главный (учётный) / Chief (accounting)	Контрольная / Control	15	122	ОР / BR
	Опытная / Experimental	15	122	ОР + сера для животноводства / BR + sulfur for livestock
Заключительный / Final	Контрольная, опытная / Control, experimental	30	30	ОР / BR

Рационы подопытным животным были разработаны при достижении среднесуточных приростов живой массы 800-900 г, с использованием норм кормления РАСХН. При этом корректировка рационов, учитывая возраст и массу тёлочек, выполнялась ежемесячно.

В ходе эксперимента взвешивали телят ежемесячно, утром до кормления. Исследования по определению гематологических показателей крови у данного ремонтного молодняка провели на 5-ти головах из каждой группы. У этих животных, утром до кормления, из яремной вены была взята кровь, анализ которой был выполнен по общепринятым методикам.

Переваримость органических веществ в организме телят, а также усвоение ими азота и минеральных элементов изучались в обменном опыте на трёх животных из каждой группы, при достижении ими четырёхмесячного возраста.

Во время проведения экспериментальной работы за телятами обеих сравниваемых групп был организован одинаковый уход, они содержались в одинаковых условиях.

Цифровой материал, полученный в исследованиях, обработали с использованием метода вариационной статистики.

По завершении научно-хозяйственного опыта изучили экономическую эффективность выращивания ремонтного молодняка, пользуясь в расчётах методикой ВАСХНИЛ (1980).

Результаты и обсуждение. Особенность кормления подопытных телят в научно-хозяйственном опыте заключалась в том, что контрольной группе скармливали ОР, а опытная группа получала такой же ОР, только с дополнительным введением в него кормовой минеральной добавки – серы для животноводства.

Нашими исследованиями был выявлен недостаток в потребляемых телятами рационах макроэлемента – серы до нормы кормления, который восполнили введением в них кормовой балансирующей минеральной добавкой – серой для животноводства.

Данные состава среднесуточного рациона телят сравниваемых групп по количеству заданных кормов и используемых минеральных добавок в главном периоде научно-хозяйственного опыта представлены в таблице 2.

При этом (таблица 2), приведённый суточный рацион в сравнительном аспекте по группам подопытных телят, в среднем за главный период опыта, показал, что по количеству используемых кормов и кормовых минеральных средств, кроме испытываемой серы для животноводства, он был одинаковым. Однако ремонтному молодняку опытной группы, в отличие от контроля, его состав оптимизировали за счёт балансирования включением кормовой минеральной добавки – серы для животноводства.

Таблица 2 – Количество кормовых средств в составе среднесуточного рациона для телят, кг
Table 2 – Amount of feed in the average daily ration for calves, kg

Корма и добавки / Feed and additives	Группа / Group	
	контрольная / control	опытная / experimental
ЗЦМ (восстановленный) / whole milk substitute (reconditioned)	3,0	3,0
Комбикорм / Compound feed	1,23	1,23
Сенаж / Haylage	2,49	2,49
Дерть кукурузы / Pull corn	0,17	0,17
Шрот соевый / Soybean meal	0,07	0,07
Сера для животноводства, г / sulfur for livestock, g	-	3,25
Монокальцийфосфат, г / Monocalcium phosphate, g	16,4	16,4
Мел, г / Chalk, g	3,2	3,2
Соль поваренная, г / Table salt, g	16,8	16,8

В дополнение к этому, полученные экспериментальные данные по общей питательности среднесуточного рациона телят, а именно по содержанию в нём энергетических кормовых единиц – ЭКЕ в главном периоде научно-хозяйственного опыта показаны на рисунке 1.

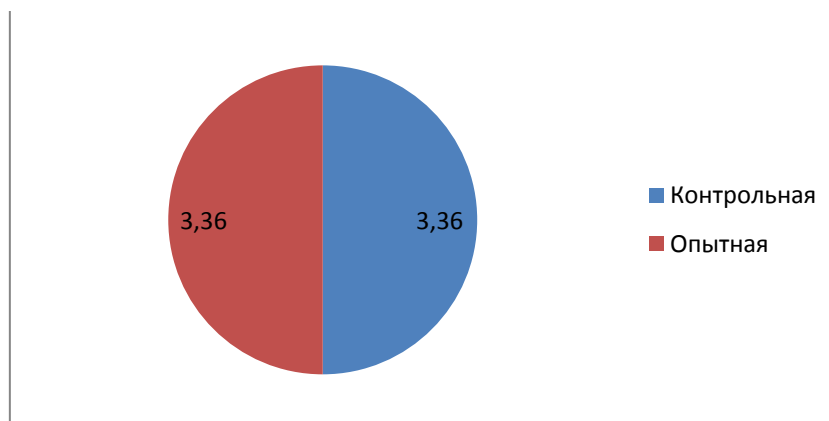


Рисунок 1 – Содержание ЭКЕ в среднесуточном рационе тёлочек
Figure 1 – Content of ECU in the average daily diet of heifers

Так (рисунок 1), согласно результатам исследования, содержание энергетических кормовых единиц в сравниваемых среднесуточных рационах тёлочек составило – 3,36.

Полученные экспериментальные данные других показателей, свидетельствующих о питательной ценности среднесуточного рациона у тёлочек в обеих группах, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Другие основные нормируемые показатели питательности среднего суточного рациона телят в главном периоде опыта, г
Table 3 – Other main standardized nutritional indicators of the average daily diet of calves in the main period of the experiment, g

Питательность / Nutritional value	Группа / Group	
	контрольная / control	опытная / experimental
ОЭ, МДж / ME, MJ	33,6	33,6
СВ / DM	2820,0	2820,0
СП / CP	536,2	536,2
ПП / DP	444,1	444,1
СК / CF	451,4	451,4
СЖ / CF	197,0	197,0

Примечание: ОЭ – обменная энергия, СВ – сухое вещество, СП – сырой протеин, ПП – переваримый протеин, СК – сырая клетчатка, СЖ – сырой жир.

Note: ME – metabolic energy, DM – dry matter, CP – crude protein, DP – digestible protein, CF – crude fiber, CF – crude fat.

Согласно экспериментальным данным (таблица 3), суточные рационы тёлочек, в среднем за главный период опыта, по величине содержащихся в них ОЭ, СВ, СП, ПП, СК и СЖ, не различались.

Представляет также интерес в среднесуточном рационе телят содержание БЭВ – безазотистых экстрактивных веществ, учитывая, что к ним относятся такие нормируемые показатели как сахара и крахмал. Результаты исследования данного важного показателя показаны на рисунке 2.

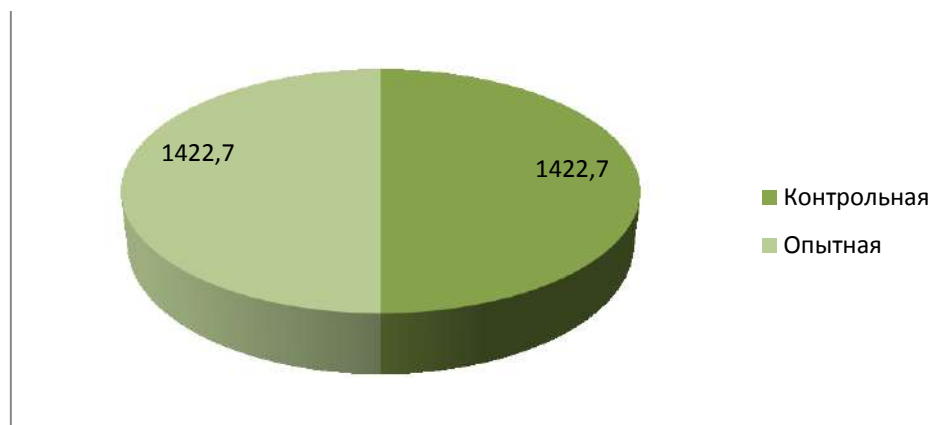


Рисунок 2 – Содержание БЭВ в среднесуточном рационе телят, г
Figure 2 – Contents BEV in the average daily diet of calves, g

Так (рисунок 2), полученные данные исследования свидетельствуют о том, что величина БЭВ в рационах тёлочек, в среднем за сутки, в главном периоде эксперимента, составила – 1422,7 г.

В исследовательской и практической работе придаётся большое значение оценке биологической полноценности кормления в животноводстве, связанной с минеральным питанием, в частности разработке рационов с учётом содержания в них нормируемых макроэлементов.

Установленное в наших исследованиях содержание макроэлементов в среднем суточном рационе подопытного ремонтного молодняка за главный период научно-хозяйственного опыта приведено в таблице 4.

Таблица 4 – Показатели макроминеральной питательности среднего суточного рациона телят в главном периоде эксперимента, г

Table 4 – Macro mineral nutritional values of the average daily diet of calves in the main period of the experiment, g

Макроэлементы / Macro nutrients	Группа / Group	
	контрольная / control	опытная / experimental
Ca	28,79	28,79
P	19,24	19,24
Mg	3,66	3,66
K	35,55	35,55
S	6,02	9,25

Экспериментальные данные, представленные в таблице 4, свидетельствуют о том, что у тёлочек сравниваемых групп в суточном рационе, в среднем за главный период опыта, содержалось одинаковое количество кальция, фосфора, магния, калия. В то же время, по содержанию серы среднесуточный рацион в опытной группе превышал контроль – на 3,23 г, что связано с использованием балансирующей кормовой добавки – серы для животноводства.

По макроминеральной питательности средний суточный рацион у телят обеих групп, в главном периоде научно-хозяйственного опыта, не отличался.

Введение в состав рациона минеральной добавки – серы для животноводства нашло положительное отражение на энергии роста телят опытной группы, по сравнению с контролем. Результаты исследования продуктивности животных сравниваемых групп по показателю живой массы в главном периоде эксперимента приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Живая масса и её прирост у телят ($M \pm m$), ($n=15$)
Table 5 – Live weight and its gain in calves ($M \pm m$), ($n=15$)

Группа / Group	Продолжительность главного периода опыта, дней / Duration of the main period of the experiment, days	Живая масса, кг / Live weight, kg		Прирост живой массы / Live weight gain	
		в начале главного периода опыта / at the beginning of the main period of experience	в конце главного периода опыта / at the end of the main period of experience	общий, кг / total, kg	% к контролю / % to control
Контрольная / Control	122	59,7 $\pm$ 0,40	159,0 $\pm$ 1,22	99,3	100
Опытная / Experimental	122	59,2 $\pm$ 0,38	163,9 $\pm$ 1,28	104,7	105,44

Согласно полученным данным (таблица 5), в начале главного периода опыта молодняк сравниваемых групп по живой массе существенно не различался. Однако в конце главного периода эксперимента, сравнительно с контролем, у тёлочек опытной группы установлено преимущество по данному показателю на 4,9 кг, или 3,08 % при $P > 0,95$.

При этом за главный период опыта (122 дня) в возрасте 5 месяцев молодняк контрольной группы имел абсолютный прирост живой массы на одну голову в среднем – 99,3 кг, а в опытной группе величина этого показателя была больше – на 5,4 кг, или 5,44 % при $P > 0,99$, чем в контроле. Следовательно, телята опытной группы имели более высокую интенсивность роста.

Использование эффективных кормовых средств, повышение биологической ценности рационов за счёт перспективных источников минеральных веществ является научно обоснованным подходом, в итоге показывающим улучшение показателей переваримости и усвоения питательных веществ корма в организме животных, с ростом их продуктивности и повышения эффективности производства.

Так, улучшение биологической ценности кормления находит положительное отражение на потреблении, переваримости питательных веществ и обмене азота у телят [22], обмене веществ в организме телят-молочников [23], обмене веществ у ремонтных свинок [24], использовании кальция и фосфора телятами из рациона [25].

В наших исследованиях введение в состав рациона балансирующей кормовой добавки – серы для животноводства, позволило активизировать обмен веществ в организме тёлочек, что нашло отражение на получении более высоких показателей переваримости и использования питательных веществ потреблённого корма, а также продуктивности у телят молочного периода выращивания, которые имели более высокую энергию роста.

Проводимые зоотехнические исследования зачастую сопровождаются изучением физиологического состояния животных, и в частности определением гематологических показателей крови. Данные наших исследований показали соответствие морфологических и биохимических показателей крови подопытного ремонтного молодняка из сравниваемых групп физиологической норме.

Изучение показателей экономической эффективности проведённых исследований при включении в состав рационов испытуемой минеральной добавки – серы для животноводства, свидетельствовало о целесообразности её использования при выращивании телят молочного периода.

Выводы. Таким образом, при введении в состав рационов ремонтному молодняку молочного скота испытуемой балансирующей кормовой добавки в опытной группе установлено преимущество по питательности среднего суточного рациона, сравнительно с контролем, по содержанию жизненно необходимого (биогенного, биотического) макроэлемента – серы. Исследованиями выявлено, что использование данной минеральной добавки способствовало увеличению весового роста у телят молочного периода выращивания. Применение разработанного

технологического приёма с введением в состав рациона для телят балансирующей кормовой добавки: серы для животноводства, позволяет улучшить показатели экономической эффективности при выращивании ремонтного молодняка в молочном скотоводстве.

Conclusions. Thus, when introducing the tested balancing feed additive into the diet of replacement young dairy cattle in the experimental group, an advantage in the nutritional value of the average daily diet was established, compared to the control group, by the content of the vital (biogenic, biotic) macro element – sulfur. Research has shown that the use of this mineral supplement contributed to an increase in weight gain in calves during the growing period. Application of the developed technological technique with the introduction of a balancing feed additive into the calf diet: sulfur for livestock, allows to improve the economic efficiency indicators in raising replacement young stock in dairy cattle farming.

Библиографический список

1. Дуборезов В. Кормление молочных коров по детализированным нормам. Молочное и мясное скотоводство. 2020. № 4. С. 52-55.
2. Варакин А. Т. и др. Влияние новой кормовой добавки на продуктивность и физиологические показатели молочных коров. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1 (61). С. 222-231.
3. Степурина М. А. и др. Кормовые добавки для повышения питательной ценности рационов и продуктивности лактирующих коров. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 4 (56). С. 170-179.
4. Симонов Г. А. и др. Биологическая ценность комплексной минеральной добавки для лактирующих коров. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 2 (66). С. 238-247.
5. Varakin A. T., et al. Milk productivity and quality depending on the composition of the diet. Agrarian innovation 2021. IOP Publishing. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 965.
6. Гайирбегов Д. Ш. и др. Изменение состава молока свиноматок первого опороса во взаимосвязи с биологической ценностью рационов. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 3 (75). С. 217-223.
7. Zoteev V. S., et al. False flax cake in mixed feed for the fattening of lactating cows and dairy stores. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. No 9 (5). Pp. 1422-1428.
8. Варакин А. Т., Кулик Д. К., Саломатин В. В. Использование рыжикового жмыха для производства баранины. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. Вып. 3. С. 39-43.
9. Андреев И. В., Дуборезов В. М. Плющенное зерно в рационе бычков при откорме. Комбикорма. 2021. № 4. С. 28-30.
10. Гайирбегов Д. Ш. и др. Химический состав и энергетическая ценность мяса бычков в зависимости от типа кормления. Проблемы развития АПК региона. 2017. Т. 29. № 1 (29). С. 71-74.
11. Зотеев В. С., Кириченко Н. В. Эффективность использования рыжикового жмыха в комбикормах для лактирующих коз. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. Вып. 1. С. 111-114.
12. Varakin A. T., et al. Productivity and blood composition indicators of ram lambs during fattening with the use of oil-plant seeds in diets. Development of the agro-industrial complex in the context of robotization and digitalization of production in Russia and abroad (DAIC 2020): International Scientific and Practical Conference. E3S Web of Conf. 22 December 2020. V. 222. Pp. 1-8.
13. Зотеев В. С. и др. Оптимизация уровня меди в рационе холостых овцематок. Овцы, козы, шерстяное дело. 2018. № 2. С. 31-34.
14. Тяпугин Е. А. и др. Потребность суягных овцематок в меди в условиях аридной зоны России. Российская сельскохозяйственная наука. 2018. № 2. С. 50-54.
15. Варакин А. Т. и др. Оптимизация минерального питания откармливаемых баранчиков в условиях естественных пастбищ. Овцы, козы, шерстяное дело. 2020. № 3. С. 39-42.
16. Степурина М. А. и др. Продуктивные качества дойных коров при оптимизации минеральной обеспеченности рационов. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 4 (60). С. 269-280.
17. Симонов Г. А. и др. Влияние минеральной добавки на уровень общего белка и его фракций в сыворотке крови коров. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 1. С. 73-79.
18. Varakin A. T., et al. Hematological parameters of boars-producers at use of a natural mineral additive in a diet. International Journal of Innovative. Technology and Exploring Engineering. 2019. V. 9. I. 1. Pp. 3837-3841.
19. Батанов С. Д., Березкина Г. Ю., Килин В. В. Влияние минеральной добавки «Стимул» на биохимические показатели крови. Учёные записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины имени Н. Э. Баумана. 2014. Т. 220. С. 38-42.
20. Радчиков В. Ф. и др. Рапсовый жмых в составе комбикорма для телят. Зоотехническая наука Беларуси. 2014. Т. 49. № 2. С. 139-147.
21. Овчинников А. А. и др. Выращивание телят молочного периода с адаптированным уровнем минерального питания и добавкой фермента. Вестник Курганской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 1 (41). С. 46-52.
22. Мокроусов В. Е., Гайирбегов Д. Ш., Алигазиева П. А. Потребление, переваримость питательных веществ и обмен азота у 3-х месячных телят в зависимости от уровня содержания крезацина в рационах. Проблемы развития АПК региона. 2024. № 1. С. 118-123.
23. Варакин А. Т. и др. Обмен веществ у телят-молочников в зависимости от уровня крезацина в рационах. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 2 (74). С. 170-178.

24. Варакин А. Т. и др. Влияние кормовой добавки «Крезацин» на обмен веществ у ремонтных свинок. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1 (69). С. 332-338.

25. Мокроусов В. Е. и др. Использование кальция и фосфора телятами из рациона под действием кормовой добавки «Крезацин» в конце молочного периода. Известия Дагестанского ГАУ. 2024. № 4 (24). С. 197-201.

References

1. Duborezov V. Feeding dairy cows according to detailed standards. Dairy and beef cattle breeding. 2020. No 4. Pp. 52-55.

2. Varakin A. T., et al. The influence of a new feed additive on productivity and physiological parameters of dairy cows. Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher professional education. 2021. No 1 (61). Pp. 222-231.

3. Stepurina M. A., et al. Feed additives to increase the nutritional value of diets and the productivity of lactating cows. Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher professional education. 2019. No 4 (56). Pp. 170-179.

4. Simonov G. A., et al. Biological value of a complex mineral supplement for lactating cows. Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher professional education. 2022. No 2 (66). Pp. 238-247.

5. Varakin A. T., et al. Milk productivity and quality depending on the composition of the diet. Agroinnovation 2021. IOP Publishing. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. V. 965.

6. Gayirbegov D. Sh., et al. Changes in the composition of milk of sows of the first farrowing in relation to the biological value of diets. Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher professional education. 2024. No 3 (75). Pp. 217-223.

7. Zoteev V. S., et al. False flax cake in mixed feed for the fattening of lactating cows and dairy stores. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. No 9 (5). Pp. 1422-1428.

8. Varakin A. T., Kulik D. K., Salomatin V. V. Use of camelina cake for the production of lamb. Bulletin Samara State Agricultural Academy. 2018. No 3. Pp. 39-43.

9. Andreev I. V., Duborezov V. M. Flattened grain in the diet of fattening bulls. Combined feed. 2021. No 4. Pp. 28-30.

10. Gairbegov D. Sh., et al. Chemical composition and energy value of bull meat depending on the type of feeding. Problems of development of the regional agro-industrial complex. 2017. Vol. 29. No 1 (29). Pp. 71-74.

11. Zoteev V. S., Kirichenko N. V. Efficiency of using camelina cake in compound feed for lactating goats. Bulletin of the Samara State Agricultural Academy. 2014. No 1. Pp. 111-114.

12. Varakin A. T., et al. Productivity and blood composition indicators of ram lambs during fattening with the use of oil-plant seeds in diets. Development of the agro-industrial complex in the context of robotization and digitalization of production in Russia and abroad (DAIC 2020): International Scientific and Practical Conference. E3S Web of Conf. 22 December 2020. V. 222. Pp. 1-8.

13. Zoteev V. S., et al. Optimization of copper levels in the diet of barren ewes. Sheep, goats, wool business. 2018. No 2. Pp. 31-34.

14. Tyapugin E. A., et al. Copper requirements of pregnant ewes in the arid zone of Russia. Russian Agricultural Science. 2018. No 2. Pp. 50-54.

15. Varakin A. T., et al. Optimization of mineral nutrition of fattening rams in natural pastures. Sheep, goats, woolen business. 2020. No 3. Pp. 39-42.

16. Stepurina M. A., et al. Productive qualities of dairy cows while optimizing the mineral supply of rations. Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher professional education. 2020. No 4 (60). Pp. 269-280.

17. Simonov G. A., et al. The influence of mineral supplements on the level of total protein and its fractions in the blood serum of cows. Bulletin Samara State Agricultural Academy. 2022. No 1. Pp. 73-79.

18. Varakin A. T., et al. Hematological parameters of boars-producers at use of a natural mineral additive in a diet. International Journal of Innovative. Technology and Exploring Engineering. 2019. V. 9. I. 1. Pp. 3837-3841.

19. Batanov S. D., Berezkina G. Yu., Kilin V. V. Influence of mineral additive "Stimulus" on blood biochemical parameters. Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman. 2014. V. 220. Pp. 38-42.

20. Radchikov V. F., et al. Rapeseed cake in the composition of compound feed for calves. Zootechnical science of Belarus. 2014. V. 49. No 2. Pp. 139-147.

21. Ovchinnikov A. A. et al. Growing of milk-fed calves with an adapted level of mineral nutrition and enzyme supplementation. Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy. 2022. No 1 (41). Pp. 46-52.

22. Mokrousov V. E., Gayirbegov D. Sh., Aligazieva P. A. Consumption, digestibility of nutrients and nitrogen metabolism in 3-month-old calves depending on the level of crezacin content in diets. Problems of development of the regional agro-industrial complex. 2024. No 1. Pp. 118-123.

23. Varakin A. T., et al. Metabolism in dairy calves depending on the level of crezacin in diets. Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher professional education. 2024. No 2 (74). Pp. 170-178.

24. Varakin A. T., et al. The influence of the feed additive "Krezacin" on the metabolism of replacement pigs. Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher professional education. 2023. No 1 (69). Pp. 332-338.

25. Mokrousov V. E., et al. Use of calcium and phosphorus by calves from the diet under the influence of the feed additive "Krezacin" at the end of the milk period. Dagestan GAU Proceedings. 2024. No 4 (24). Pp. 197-201.

Информация об авторах

Варакин Александр Тихонович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), ORCID 0000-0003-0375-7108, e-mail: varakinat58@mail.ru

Степурина Мария Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: marinaserov@yandex.ru

Флигельман Борис Александрович, соискатель, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: mddfn1@gmail.com

Саломатин Виктор Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), ORCID 0000-0001-6663-1663, e-mail: viktor.salomatin@internet.ru

Симонов Геннадий Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина» (Российская Федерация, 160555, г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4559-233X>, e-mail: gennadiy0007@mail.ru

Authors' Information

Varakin Aleksandr Tikhonovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID 0000-0003-0375-7108, e-mail: varakinat58@mail.ru

Stepurina Maria Aleksandrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: marinaserov@yandex.ru

Fligelman Boris Aleksandrovich, applicant, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: mddfn1@gmail.com

Salomatin Viktor Vasilievich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID 0000-0001-6663-1663, e-mail: viktor.salomatin@internet.ru

Simonov Gennady Aleksandrovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Vologda State Dairy Academy named after N. V. Vereshchagin (Russian Federation, 160555, Vologda, village Molochnoe, Shmidt Str., 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4559-233X>, e-mail: gennadiy0007@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-41

THE GENETIC POTENTIAL REALIZATION AND THE DAIRY HERD BREED COMPOSITION FEATURES IN THE SOUTHERN FEDERAL DISTRICT

¹Anisimova E. Yu., ^{1,3}Gorlov I. F., ¹Mosolov A. A., ¹Vorontsova E. S., ^{1,3}Mosolova E. A.,
²Shakhbazova O. P., ²Radzhabov R. G.

¹*Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production
Volgograd, Russian Federation*

²*Don State Agrarian University
Persianovsky settlement, Rostov region, Russian Federation*

³*Volgograd State Technical University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author: niimmp@mail.ru

Received 01.10.2025

Submitted 13.11.2025

The research was carried out within the Grant RSF № 22-16-00041-P, NIIMMP.

Abstract

Introduction. Dairy farming is a strategically important industry for ensuring Russia's food security. In the context of import substitution and growing domestic demand, the efficient use of the genetic potential of dairy herds becomes a key factor for competitiveness. The Southern Federal District, possessing a significant population, demonstrates extreme heterogeneity in productivity between regions, indicating incomplete utilization of available resources. Official statistics indicate the dominance of the Holstein breed; however, a comprehensive analysis linking breed composition, the development of breeding infrastructure, and final productivity indicators across the subjects of the Southern Federal District has not been previously conducted. Such an analysis is necessary for formulating targeted regional development programs and optimizing breeding work. Thus, this research aims to fill this gap and provides scientifically grounded conclusions for practical application in the agro-industrial complex. **Object.** The object of the study was the population of dairy cows in breeding farms (breeding farms and breeding multipliers) of key subjects of the Southern Federal District: Krasnodar region, Volgograd and Rostov regions, and the Republic of Crimea. **Materials and Methods.** The study is based on data from the official statistical collection "Yearbook on Breeding Work in Dairy Cattle Breeding in Farms of the Russian Federation (2024)". Aggregated indicators on population size, productivity, and grading data were used. The methodological basis included comparative and statistical analysis to identify regional differences and establish dependencies between the development of breeding infrastructure and productivity. **Results and Conclusions.** It was established that the breed structure of the Southern Federal District is characterized by a super-concentration on the Holstein breed (over 75 % of the population), which provides the highest milk yields. A direct dependence of regional productivity on the level of development of breeding infrastructure was revealed. The absolute leader is Krasnodar Krai, which concentrates the largest number of breeding farms, with an average milk yield reaching 10,371 kg per cow. In contrast, regions without breeding farms (Rostov region, Republic of Crimea) demonstrate more modest results. A significant gap was recorded in Volgograd region between highly productive breeding farms (milk yield of 9,292 kg) and low productivity in the non-breeding sector. The main conclusion is that the strategic direction for the industry's development and reducing interregional differentiation is the targeted formation of

a network of breeding farms as centers of genetic progress. The obtained results identify target regions for investment in breeding infrastructure and can be used by agricultural authorities to develop targeted state support programs.

Keywords: *development of dairy cattle breeding, dairy cattle breeds, breeding plants, genetic potential of dairy cattle.*

Citation. Anisimova E. Yu., Gorlov I. F., Mosolov A. A., Vorontsova E. S., Mosolova E. A., Shakhbazova O. P., Radzhabov R. G. The genetic potential realization and the dairy herd breed composition features in the Southern Federal district. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 365-380 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-41.

Authors' contribution. All authors took part in the preparation and conduct of the study and analysis of its results. The presented version of the article was agreed with all authors.

Conflict of interest. All authors declared no conflicts of interest.

УДК 636.082+636.2.034

РЕАЛИЗАЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА И ОСОБЕННОСТИ ПОРОДНОГО СОСТАВА МОЛОЧНОГО СТАДА В ЮЖНОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ

¹**Анисимова Е. Ю.**, кандидат биологических наук

^{1,3}**Горлов И.Ф.**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН

¹**Мосолов А. А.**, доктор биологических наук

¹**Воронцова Е. С.**, кандидат биологических наук

^{1,3}**Мосолова Е. А.**, студент

²**Шахбазова О. П.**, доктор биологических наук, доцент

²**Раджабов Р. Г.**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

¹ ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства
и переработки мясомолочной продукции»
г. Волгоград, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет»
пос. Персиановский, Российская Федерация

³ ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования выполнены в рамках гранта РНФ № 22-16-00041-П, ГНУ НИИММП.

Актуальность. Молочное скотоводство является стратегически важной отраслью для обеспечения продовольственной безопасности России. В условиях импортозамещения и растущего внутреннего спроса эффективное использование генетического потенциала молочного стада становится ключевым фактором конкурентоспособности. Южный федеральный округ (ЮФО), обладая значительным поголовьем, демонстрирует крайнюю неоднородность продуктивности между регионами, что свидетельствует о неполном использовании имеющихся ресурсов. Ведомственная статистика указывает на доминирование голштинской породы, однако комплексный анализ, связывающий породный состав, развитие племенной инфраструктуры и итоговые показатели продуктивности в разрезе субъектов ЮФО, ранее не проводился. Такой анализ необходим для формирования адресных региональных программ развития и оптимизации селекционной работы. Таким образом, данное исследование направлено на заполнение этого пробела и предоставляет научно обоснованные выводы для практического применения в агропромышленном комплексе. **Объект.** Объектом исследования выступило поголовье молочных коров в племенных хозяйствах (племязаводах и племрепродукторах) ключевых субъектов Южного федерального округа: Краснодарского края, Волгоградской и Ростовской областей, а также Республики Крым. **Материалы и методы.** Исследование основано на данных официального статистического сборника «Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2024 год)». Использовались агрегированные показатели по численности поголовья, продуктивности и данным бонитировки. Методологическая основа включала сравнительный и статистический анализ для выявления региональных различий и установления зависимости между развитием племенной инфраструктуры и продуктивностью. **Результаты и выводы.** Установлено, что породная структура ЮФО характеризуется сверхконцентрацией на голштинской породе (более 75 % поголовья), обеспечивающей наивысшие удои. Выявлена прямая зависимость продуктивности регионов от уровня развития племенной инфраструктуры. Абсолютным лидером является Краснодарский край, где сосредоточено наибольшее количество племязаводов, а средний удой достигает 10371 кг на корову. В отличие от него, регионы без племязаводов (Ростовская область, Республика Крым) демонстрируют более скромные результаты. В Волгоградской области зафиксирован значительный разрыв между высокопродуктивными племязаводами (удой 9292 кг) и низкой продуктивностью в неплеменном секторе. Основной вывод заключается в том, что стратегическим направлением для развития отрасли и сокращения межрегиональной дифференциации является целена-

правленное формирование сети племенных заводов как центров генетического прогресса. Полученные результаты определяют целевые регионы для инвестиций в селекционную инфраструктуру и могут быть использованы органами АПК для разработки адресных программ государственной поддержки.

Ключевые слова: развитие молочного скотоводства, породы молочного скота, племенные заводы, генетический потенциал молочного скота.

Цитирование. Анисимова Е. Ю., Горлов И. Ф., Мосолов А. А., Воронцова Е. С., Мосолова Е. А., Шахбазова О. П., Раджабов Р. Г., Реализация генетического потенциала и особенности породного состава молочного стада в Южном федеральном округе. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 365-380. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-41.

Авторский вклад. Все авторы принимали участие в подготовке, проведении исследования и анализе его результатов. Представленный вариант статьи согласован со всеми авторами.

Конфликт интересов. Все авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Молочное животноводство является одной из ключевых отраслей мирового агропромышленного комплекса, внося существенный вклад в обеспечение продовольственной безопасности и экономическое развитие сельских территорий. Общее поголовье дойных коров в странах Европейского Союза в 2023 году достигало 19,7 млн голов [11], что подчеркивает масштабы отрасли. В условиях растущего глобального спроса на животный белок и молочные продукты особую актуальность приобретает эффективное использование генетического потенциала скота, что напрямую определяет конкурентоспособность и устойчивость отрасли.

Современное состояние молочного скотоводства в мире характеризуется интенсивной концентрацией на высокопродуктивных породах, прежде всего голштинской. Это позволяет ведущим хозяйствам достигать рекордных показателей: средний надой на одну корову в странах Европейского Союза в 2023 году составил 7543 кг [1], а в США этот показатель традиционно превышал 10000 кг [2]. Многочисленные исследования показывают, что именно целенаправленная генетическая селекция в течение последних десятилетий позволила сформировать высокопродуктивные молочные популяции, доминирующие в современном мировом животноводстве [3].

Наряду с этой тенденцией к унификации породного состава наблюдается и противоположный тренд, связанный с растущей ценностью региональных и специализированных пород (таких как айрширская, симментальская, монбельярдская). Эти породы обеспечивают производство молока с уникальными технологическими свойствами, в частности, повышенной жирностью и содержанием белка, что востребовано для нишевых рынков, таких как сыроварение [1]. Селекция на качественный состав молока становится ключевым направлением для увеличения прибыльности и удовлетворения технологических требований переработчиков [10]. Экономическая целесообразность сохранения породного разнообразия, позволяющая диверсифицировать производство и адаптироваться к изменениям рыночной конъюнктуры, подтверждается результатами моделирования, выполненного, в частности, для условий Финляндии [4].

В Российской Федерации также наблюдается положительная динамика, связанная с интенсификацией отрасли. По данным официальной статистики, поголовье коров в хозяйствах всех категорий стабилизировалось [7], а средний надой на корову в сельскохозяйственных организациях в 2024 году превысил 8200 кг [5]. Несмотря на это, ключевой проблемой остается значительная внутренняя дифференциация. Разрыв в продуктивности между передовыми племенными заводами и обычными хозяйствами, а также между регионами-лидерами и аутсайдерами, измеряется тысячами килограммов молока на корову в год [5-7]. Как показывают исследования, данная проблема носит системный характер и во многом обусловлена комплексными проблемами управления крупномасштабной селекцией в российском скотоводстве, среди которых отмечается несбалансированное развитие племенной инфраструктуры и слабая интеграция между ее звеньями [8]. Эта «двухскоростная» модель развития напрямую связана с крайне неравномерным распределением племенной инфраструктуры – основного драйвера генетического прогресса.

Ярким примером такой внутренней контрастности является Южный федеральный округ (ЮФО). Регион концентрирует значительную часть поголовья страны [7] и обладает высоким аграрным потенциалом. Однако, как и в ЕС, где показатели продуктивности сильно варьируются от страны к стране [1], в ЮФО наблюдается огромный разброс: от рекордных удоев в Краснодарском крае, сопоставимых с уровнем европейских лидеров, до значи-

тельно более низких показателей в других субъектах. При этом современные генетические исследования подтверждают, что российские популяции специализированных пород, таких как айрширская, обладают уникальным генетическим разнообразием, определяющим их ценные продуктивные качества [9].

Таким образом, актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью детального анализа причин этой дифференциации, в частности, оценки влияния породного состава и племенной инфраструктуры на реализацию генетического потенциала в одном из ключевых аграрных регионов России.

Целью исследования является анализ продуктивности коров различных пород в субъектах Южного федерального округа и выявление закономерностей, отражающих влияние породного состава и племенной инфраструктуры на эффективность молочного скотоводства региона.

Материалы и методы. Объект исследования: поголовье молочных коров в племенных хозяйствах (племенных заводах и племрепродукторах) субъектов Южного федерального округа (Краснодарский край, Волгоградская область, Ростовская область, Республика Крым).

Материалы исследования: Основой для работы послужили данные официального статистического сборника «Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2024 год)» [12]. В исследовании использовались агрегированные показатели по субъектам Южного федерального округа: численность поголовья крупного рогатого скота и коров с распределением по породам, показатели продуктивности (удой, содержание жира и белка в молоке), данные бонитировки и живая масса животных.

Методологическая основа включала сравнительный и статистический анализ для выявления региональных различий и установления зависимостей между развитием племенной инфраструктуры (наличием племзаводов и племрепродукторов) и уровнем продуктивности молочного стада. На основе данных ежегодника были сформированы сводные таблицы для проведения сравнительной оценки между регионами ЮФО и типами племенных хозяйств.

Результаты исследований. Результаты проведенных исследований позволяют комплексно оценить породный состав молочного скота и уровень его продуктивности в разрезе субъектов Южного федерального округа. Представленные данные отражают не только количественные характеристики стада, но и качественные показатели молочной продуктивности, включая удой, содержание жира и белка, что даёт возможность выявить сильные и слабые стороны каждого региона и определить направления селекционной работы.

Анализ таблицы 1, отражающей поголовье крупного рогатого скота, прошедшего бонитировку в хозяйствах всех категорий Южного федерального округа, демонстрирует распределение генетически оцененных животных по регионам. В целом по округу из 2211,42 тыс. голов КРС и 1099,43 тыс. коров бонитировку прошли 176,14 тыс. КРС и 105,92 тыс. коров, что составляет около 8 % и 9,6 % соответственно. Следовательно, охват бонитировки относительно невысокий, что указывает на необходимость дальнейшего расширения оценки качества животных в округе.

Примечательно, что Краснодарский край лидирует по количеству животных, прошедших бонитировку в рамках всех категорий хозяйств: 138,78 тыс. КРС и 83,85 тыс. коров. При этом в племрепродукторах и племзаводах сосредоточено значительное количество генетически проверенных животных, что подчеркивает системность селекционной работы и важность региона для воспроизводства элитного стада.

Волгоградская область характеризуется меньшими масштабами бонитировки: всего 14,76 тыс. КРС и 8,63 тыс. коров в племзаводах, тогда как в племрепродукторах показатели составляют 7,58 тыс. КРС и 4,79 тыс. коров. Таким образом, в регионе наблюдается дисбаланс между категориями хозяйств: более активна работа по поддержанию репродукторов, чем по оценке поголовья в племзаводах, что, вероятно, связано с ограниченной инфраструктурой селекционных учреждений.

Ростовская область демонстрирует концентрацию бонитированных животных преимущественно в племрепродукторах – 8,99 тыс. КРС и 5,81 тыс. коров, а данные по племзаводам отсутствуют. Это указывает на специфику региональной селекционной системы, где основная масса оцененных животных сосредоточена в репродукторах.

Таблица 1 – Поголовье и охват бонитировки крупного рогатого скота и коров в племенных предприятиях Южного федерального округа и его субъектах

Table 1 – Herd Size and Coverage of Cattle and Cow Grading in Breeding Enterprises of the Southern Federal District and its Subjects

Регион / Region	Поголовье в целом / Population		Все категории хозяйств / All Farm Categories		Племзаводы / Breeding Farms		Племрепродукторы / Breeding Multipliers	
	КРС, тыс. гол. / Cattle, thsd heads	Коров, тыс. гол. / Cows thsd heads	Всего пробонитировано КРС, тыс. гол. / Total Cattle Graded, thsd heads	Всего пробонитировано коров, тыс. гол. / Total Cows Graded, thsd heads	Всего пробонитировано КРС, тыс. гол. / Total Cattle Graded, thsd heads	Всего пробонитировано коров, тыс. гол. / Total Cows graded, thsd heads	Всего пробони- ровано КРС, тыс. гол. / Total Cattle Graded, thsd heads	Всего пробони- ровано коров, тыс. гол. / Total Cows Graded, thsd heads
Южный феде- ральный округ / Southern Federal District	2211,42	1099,43	176,14	105,92	68,91	43,73	53,82	30,90
Красно- дарский край / Krasnodar region	548,08	207,37	138,78	83,85	61,33	38,94	27,05	15,29
Волго- градская область / Volgograd region	349,5	183,39	14,76	8,63	7,58	4,79	6,12	3,20
Ростов- ская об- ласть / Rostov region	597,5	289,69	8,99	5,81	-	-	8,99	5,81
Респуб- лика Крым / Republic of Crimea	84,19	40,38	13,05	7,32	-	-	11,10	6,29

Республика Крым показывает более сбалансированное распределение между категориями хозяйств: 13,05 тыс. КРС и 7,32 тыс. коров в племзаводах и 11,10 тыс. КРС и 6,29 тыс. коров в племрепродукторах. Следовательно, в этом регионе поддерживается равномерная работа по улучшению качества поголовья, что способствует стабильности генетического фонда.

В целом можно сделать вывод, что бонитировка в Южном федеральном округе крайне неоднородна: лидером по охвату остаётся Краснодарский край, а другие регионы демонстрируют значительно меньшие показатели. Вероятно, такое распределение связано с экономической мощностью регионов, уровнем инфраструктуры селекционных учреждений и исторической специализацией на молочном или мясном направлении животноводства.

Можно предположить несколько причин такой картины. Высокий охват в Краснодарском крае и в некоторой степени в Крыму, вероятно, связан с исторически сложившейся специализацией на племенной и интенсивной молочной/мясной продукции, крупной концентрацией племенных заводов и репродукторов, а также с доступностью сервисов селекционно-генетической работы и инвестиций в племенные программы. Напротив, низкие показатели в Ростовской и Волгоградской областях могут объясняться большей долей мелких и средних хозяйств, у которых меньше экономической мотивации или возможностей для формальной племенной регистрации и бонитировки; при этом часть племенной работы

может проходить неформально или быть сконцентрирована на небольшом числе предприятий. Следовательно, имеющаяся структура указывает на концентрацию генетического ресурса в отдельных субъектах и на потенциал для расширения племенной работы в других регионах при условии целенаправленной политики и инвестиций.

В целом можно заключить, что структура бонитировки КРС в ЮФО крайне неоднородна: лидирующие позиции занимает Краснодарский край, тогда как другие регионы ограничены в масштабах селекционной работы. Такое распределение может быть обусловлено как экономическими и инфраструктурными факторами, так и исторически сложившейся специализацией регионов на молочном или мясном направлении производства.

Таблица 2 – Продуктивность коров по субъектам Южного федерального округа
Table 2 – Productivity by Subjects of the Southern Federal District

Субъекты ЮФО / Subjects of the Southern FD	Все категории хозяйств / All Farm Categories				Племзаводы / Breeding Farms				Племрепродукторы / Breeding Multipliers			
	всего кор., тыс. гол. / total cows, thsd heads	удой, кг / milk yield, kg	% жира / fat, %	% белка / protein %	всего кор., тыс. гол. / total cows, heads	удой, кг / milk yield, kg	% жира / fat, %	% белка / protein, %	всего кор., тыс. гол. / total cows, heads	удой, кг / milk yield, kg	% жира / fat, %	% белка / protein, %
Южный федеральный округ / Southern Federal district	71,23	9986	3,78	3,27	29605	10698	3,75	3,28	21221	9391	3,88	3,27
Краснодарский край / Krasnodar region	54,81	10371	3,75	3,27	26269	10877	3,72	3,28	9468	10309	3,85	3,28
Волгоградская область / Volgograd region	6,25	7870	3,94	3,30	3336	9292	3,96	3,32	2360	6140	3,89	3,31
Ростовская область / Rostov region	4,65	8852	3,89	3,26	-	-	-	-	4648	8852	3,89	3,26
Республика Крым / Republic of Crimea	5,28	9744	3,89	3,25	-	-	-	-	4505	9973	3,90	3,24

Анализ таблицы 2, отражающей продуктивность коров по субъектам Южного федерального округа, позволяет выявить как сильные, так и проблемные позиции в молочном животноводстве региона. В целом по округу средний удой коров в хозяйствах всех категорий составил 9986 кг, при содержании жира 3,78 % и белка 3,27 %, а средняя живая масса коров достигла 577 кг. Примечательно, что показатель удоя племзаводов превышает средний по округу и составляет 10698 кг, тогда как в племрепродукторах он ниже – 9391 кг, однако здесь отмечается более высокий процент жира в молоке (3,88 %), что может указывать на использование пород с повышенной молочной жирностью. Следовательно, племенные хозяйства вносят значительный вклад в повышение качественных показателей молока, несмотря на меньшую численность животных по сравнению с общим поголовьем.

Краснодарский край демонстрирует наилучшие показатели по удою в целом – 10371 кг на корову, при этом содержание жира и белка составляет 3,75 % и 3,27 % соответственно, а средняя живая масса коров равна 582 кг. В племзаводах региона удой достигает 10877 кг, а

у племрепродукторов – 10309 кг, при этом процент жира в молоке у племрепродукторов выше (3,85 %), а средняя масса коров достигает 602 кг, что говорит о хорошем генетическом потенциале и эффективной селекционной работе.

При этом Волгоградская область демонстрирует значительный потенциал племенного стада, где в племзаводах достигается удой в 9292 кг – один из лучших показателей в округе. Однако общий средний удой по всем категориям хозяйств оказывается существенно ниже (7870 кг), что указывает на наличие большого количества неплеменных хозяйств с низкой продуктивностью, нивелирующих высокие результаты племенных заводов. При этом регион стабильно выделяется повышенным содержанием жира (3,94 %) и белка (3,30 %) в молоке, что подчеркивает целенаправленную селекцию на качество продукции.

Ростовская область демонстрирует интересную структуру: общий удой по всем категориям хозяйств – 8852 кг, содержание жира 3,89 % и белка 3,26 %, средняя масса 586 кг. Племязаводов нет, а все племенные коровы сосредоточены в племрепродукторах с аналогичными показателями удоя и живой массы, что подчеркивает специфику организации селекционной работы в регионе, где основная часть генетически проверенных животных сконцентрирована в репродукторах.

Республика Крым демонстрирует высокий удой в племрепродукторах – 9973 кг на корову, что выше среднего по округу, при этом жирность 3,90 % и белок 3,24 %. Средняя живая масса коров составляет 551 кг, что несколько ниже показателей Краснодарского края. Общий удой по всем категориям хозяйств – 9744 кг, что подтверждает, что регион удерживает продуктивность на достаточно высоком уровне, несмотря на ограниченное поголовье.

Таблица 3 – Продуктивность коров по породам по Южному федеральному округу в целом
Table 3 – Cow Productivity by Breeds in the Southern Federal District Overall

Порода / Breed	Все категории хозяйств / All Farm Categories					Племзаводы / Breeding Farms					Племрепродукторы / Breeding Multipliers				
	всего кор., тыс. гол. / total cows, thsd heads	удой, кг / milk yield, kg	% жира / fat, %	% белка / protein, %	жив. масса, кг / live weight, kg	всего кор., гол / total cows, heads	удой, кг / milk yield, kg	% жира / fat, %	% белка / protein, %	жив. масса, кг / live weight, kg	всего кор., гол / total cows, heads	удой, кг / milk yield, kg	% жира / fat, %	% белка / protein, %	жив. масса, кг / live weight, kg
Айршир- ская / Ayrshire	4,76	7093	3,98	3,28	524	2094	7230	3,96	3,32	490	2495	7077	4,00	3,26	550
Голштин- ская / Holstein	53,40	10610	3,75	3,27	586	27371	10985	3,73	3,28	587	13731	10833	3,82	3,27	596
Красная степная / Red Steppe	4,34	6648	3,88	3,24	548	-	-	-	-	-	2615	6098	4,00	3,23	547
Красно- пестрая / Red-and- White	0,35	6162	3,89	3,19	562	140	6471	3,88	3,22	580	115	5588	3,83	3,12	528
Монбель- ярдская / Montbéliarde	0,09	7409	3,88	3,34	676	-	-	-	-	-	85	7409	3,88	3,34	676
Симмен- тальская / Simmental	1,55	6989	4,00	3,32	554	-	-	-	-	-	1366	7375	3,98	3,33	561
Черно- пестрая / Black-and- White	6,74	10161	3,76	3,24	568	-	-	-	-	-	814	6880	3,87	3,30	550

В целом структура продуктивности по округу показывает, что наиболее высокий удой и оптимальные показатели молочной составляющей сосредоточены в Краснодарском крае, а также в племенных хозяйствах Волгоградской области и Крыма. Негативным моментом является меньшая продуктивность племрепродукторов в Волгоградской области, что снижает общий средний показатель округа. Следовательно, для повышения эффективности молочного животноводства необходима концентрация усилий на улучшении продуктивности мелких регионов и расширении селекционной работы в племрепродукторах.

В целом, Южный федеральный округ демонстрирует высокую продуктивность коров, с лидирующими показателями по удою и качеству молока в Краснодарском крае и племенных хозяйствах отдельных регионов. Однако наблюдается значительная дифференциация между племзаводами и племрепродукторами, а также между субъектами округа, что требует целенаправленной селекционной и хозяйственной работы для выравнивания показателей.

Анализ таблицы 3, посвящённой продуктивности коров по породам в Южном федеральном округе, позволяет выявить существенные различия в удоях, составе молока и живой массе животных в зависимости от породы и типа хозяйства. В целом по всем категориям хозяйств лидирует голштинская порода с удоем 10610 кг, содержанием жира 3,75 % и белка 3,27 %, а средняя живая масса коров достигает 586 кг. Следовательно, эта порода является основным источником молока в округе и обеспечивает высокий общий вклад в продуктивность.

Айрширская порода, несмотря на относительно небольшое количество коров (4,76 тыс.), демонстрирует высокий процент жира в молоке (3,98 %) и среднюю массу 524 кг, что указывает на её ценность для производства высокожирного молока. Примечательно, что в племзаводах удой айрширских коров выше среднего по округу – 7230 кг, тогда как живая масса несколько ниже (490 кг), что отражает генетический потенциал и возрастную структуру стада.

Красная степная и красно-пестрая породы имеют меньшие показатели по удою, 6648 и 6162 кг соответственно, однако их молоко отличается высокой жирностью – 3,88-3,89 %. В племрепродукторах этих пород удой достигает 6098-5588 кг, а живая масса колеблется от 528 до 547 кг, что демонстрирует стабильность качественных характеристик при относительно низкой продуктивности.

Монбельярдская и симментальская породы представлены крайне ограниченно, при этом их удой находится на уровне 6989-7409 кг, а содержание жира 3,88-4,00 %, что положительно сказывается на молочном составе. Однако малое поголовье делает их вклад в общую продуктивность округа незначительным.

Черно-пестрая порода демонстрирует умеренные показатели: удой 10161 кг, жирность 3,76 %, белок 3,24 % и средняя живая масса 568 кг, при этом в племрепродукторах удой снижен до 6880 кг. Это свидетельствует о том, что часть стада имеет меньший генетический потенциал, а концентрация продуктивных животных может быть низкой.

В целом можно заключить, что структура породного состава ЮФО ориентирована на продуктивные молочные породы, прежде всего голштинскую и айрширскую, что обеспечивает высокий удой и стабильное качество молока. Негативным аспектом является малое количество животных редких пород, таких как монбельярдская, симментальская и красная степная, что ограничивает генетическое разнообразие и потенциал для селекционного улучшения. Следовательно, для повышения общей продуктивности округа необходимо поддерживать не только массовые молочные породы, но и работу с менее распространёнными, перспективными породами, чтобы расширять генетическую базу.

Анализ таблицы 4, посвящённой продуктивности коров Краснодарского края по породам, показывает, что регион ориентирован на высокопродуктивные молочные породы, с доминированием голштинской и айрширской. В целом по всем категориям хозяйств голштинские коровы дают 10712 кг молока при содержании жира 3,73 % и белка 3,27 %, средняя живая масса составляет 589 кг, что делает их основным источником молока в регионе. Примечательно, что в племзаводах удой голштинских коров достигает 11168 кг, что выше среднего по региону, а в племрепродукторах удой несколько ниже – 10844 кг, но средняя живая масса здесь выше (610 кг), что указывает на качественный генетический потенциал стада.

Таблица 4 – Продуктивность коров Краснодарского края по породам
Table 4 – Cow Productivity by Breeds in Krasnodar region

Порода / Breed	Все категории хозяйств / All Farm Categories					Племзаводы / Breeding Farms					Племрепродукторы / Breeding Multipliers				
	всего кор., тыс. гол. / total cows, thsd heads	удой, кг / milk yield, kg	% жира / fat, %	% белка / protein, %	жив. масса, кг / live weight, kg	всего кор., гол / total cows, heads	удой, кг / milk yield, kg	% жира / fat, %	% белка / protein, %	жив. масса, кг / live weight, kg	всего кор., гол / total cows, heads	удой, кг / milk yield, kg	% жира / fat, %	% белка / protein, %	жив. масса, кг / live weight, kg
Айрширская / Ayrshire	3,46	7169	3,97	3,33	521	1830	6998	3,94	3,33	492	1455	7563	4,02	3,34	555
Голштинская / Holstein	43,61	10712	3,73	3,27	589	24439	11168	3,70	3,27	589	7928	10844	3,82	3,27	610
Красная степная / Red Steppe	1,73	7480	3,70	3,25	550	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Монбель- ярдская / Montbéliarde	0,09	7409	3,88	3,34	676	-	-	-	-	-	85	7409	3,88	3,34	676
Черно- пестрая / Black-and- White	5,93	10611	3,75	3,23	570	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Айрширская порода, представленная в меньшем количестве – 3,46 тыс. коров, демонстрирует высокий процент жира в молоке – 3,97 % и белка 3,33 %, а средняя живая масса 521 кг. В племрепродукторах удой айрширских коров достигает 7563 кг, при этом содержание жира выше среднего (4,02 %), а средняя масса 555 кг, что положительно отражается на молочной жирности и качестве продукции.

Красная степная и монбельярдская породы представлены крайне ограниченно. Красная степная учитывается только в общей категории хозяйств (1,73 тыс. коров) с удоём 7480 кг и средней живой массой 550 кг, а монбельярдская сосредоточена преимущественно в племрепродукторах (85 голов) с удоём 7409 кг и высокой живой массой 676 кг, что указывает на ценность этих пород для селекционной работы, несмотря на малое поголовье.

Черно-пестрая порода представлена только в общей категории хозяйств (5,93 тыс. голов), с удоём 10611 кг, жирностью 3,75 % и белком 3,23 %, при средней массе 570 кг. Отсутствие её в племенных хозяйствах ограничивает возможности по генетическому улучшению и селекционной работе с этой породой.

В целом продуктивность коров по породам Краснодарского края демонстрирует сильную концентрацию на голштинской и айрширской породах, что обеспечивает высокий удой и стабильное качество молока. Положительным моментом является высокая молочная жирность у айрширской породы в племрепродукторах. Негативным аспектом является малое представительство редких пород и отсутствие ряда пород в племенных хозяйствах, что ограничивает генетическое разнообразие и потенциал селекционного улучшения.

Краснодарский край сохраняет лидерство по молочной продуктивности за счёт концентрации голштинской и айрширской пород, при этом необходимо расширять работу с редкими породами для поддержания генетического разнообразия и повышения качества поголовья в племенных хозяйствах.

Таблица 5 – Продуктивность коров Волгоградской области по породам
Table 5 – Cow Productivity by Breeds in Volgograd region

Порода / Breed	Все категории хозяйств / All Farm Categories					Племзаводы / Breeding Farms					Племрепродукторы / Breeding Multipliers				
	всего кор., тыс. гол. / total cows, thsd heads	удой, кг / milk yield, kg	% жира / fat, %	% белка / protein, %	жив. масса, кг / live weight, kg	всего кор., гол / total cows, heads	удой, кг / milk yield, kg	% жира / fat, %	% белка / protein, %	жив. масса, кг / live weight, kg	всего кор., гол / total cows, heads	удой, кг / milk yield, kg	% жира / fat, %	% белка / protein, %	жив. масса, кг / live weight, kg
Айрширская / Ayrshire	0,26	8839	4,12	3,22	479	264	8839	4,12	3,22	479	-	-	-	-	-
Голштинская / Holstein	3,94	8987	3,94	3,31	564	2932	9467	3,95	3,33	568	636	7386	3,86	3,36	553
Красная степная / Red Steppe	0,61	3989	3,90	3,20	545	-	-	-	-	-	607	3989	3,90	3,20	545
Красно- пестрая / Red-and- White	0,14	6471	3,88	3,22	580	140	6471	3,88	3,22	580	-	-	-	-	-
Симмен- тальская / Simmental	0,49	5191	4,01	3,37	524	-	-	-	-	-	303	5847	3,96	3,45	540
Черно- пестрая / Black-and- White	0,81	6880	3,87	3,30	550	-	-	-	-	-	814	6880	3,87	3,30	550

Анализ таблицы 5, отражающей продуктивность коров по породам в Волгоградской области, демонстрирует значительные различия как по удою, так и по составу молока в зависимости от породы и типа хозяйства. В целом по всем категориям хозяйств голштинская порода преобладает по численности – 3,94 тыс. коров, с удоем 8987 кг, содержанием жира 3,94 % и белка 3,31 %, средняя живая масса составляет 564 кг. Примечательно, что в племязаводах голштинских коров удой достигает 9467 кг, при этом жирность и белок несколько выше среднего по региону, что подтверждает эффективность племенной работы и высокую генетическую ценность стада.

Айрширская порода, хотя и представлена всего 0,26 тыс. коров, демонстрирует высокий процент жира – 4,12 %, при удое 8839 кг и средней массе 479 кг, что положительно сказывается на молочной жирности. Однако племрепродукторов этой породы в регионе нет, что ограничивает возможности по селекционному использованию и расширению поголовья.

Красная степная порода, с численностью 0,61 тыс. голов, показывает наименьший удой – 3989 кг, при жирности 3,90 % и белке 3,20 %, а средняя живая масса составляет 545 кг. Племязаводов для этой породы не зарегистрировано, а все племенные коровы сконцентрированы в репродукторах, что отражает ограниченное распространение и слабую селекционную основу для повышения продуктивности.

Красно-пестрая порода представлена минимально – 0,14 тыс. голов, с удоем 6471 кг, жирностью 3,88 % и белком 3,22 %, средняя масса 580 кг, при этом племязаводы полностью покрывают численность животных. Симментальская порода демонстрирует умеренные показатели по удою (5191 кг) и высокую жирность (4,01 %), однако племенные коровы сосредоточены преимущественно в репродукторах с удоем 5847 кг и улучшенной белковой составляющей (3,45 %), что указывает на целенаправленную работу с генетически ценными животными.

Черно-пестрая порода, несмотря на сравнительно небольшое количество – 0,81 тыс. коров, показывает стабильный удой 6880 кг и высокую живую массу 550 кг. Все племенные животные сосредоточены в репродукторах, что подтверждает ограниченную селекционную базу для расширения этой породы.

В целом продуктивность коров Волгоградской области характеризуется концентрацией численности и удоя в голштинской породе, что обеспечивает стабильное молочное производство. Положительным моментом является высокий процент жира у айрширской и симментальской пород, а также качественные показатели племенных животных. Негативным аспектом остаётся слабое распространение менее массовых пород и отсутствие племенных заводов для ряда ценных пород, что ограничивает возможности селекционной работы и генетического улучшения поголовья.

В целом Волгоградская область демонстрирует относительно высокую молочную продуктивность за счёт голштинской породы и концентрации племенных животных в ключевых породах, однако для повышения общей эффективности необходимо расширять племенную работу с малочисленными, но перспективными породами.

Таблица 6 – Продуктивность коров Ростовской области по породам
Table 6 – Cow Productivity by Breeds in Rostov region

Порода / Breed	Все категории хозяйств / All Farm Categories					Племрепродукторы / Breeding Multipliers				
	всего кор., тыс. гол. / total cows, thsd heads	удой, кг / milk yield, kg	% жира / fat, %	% белка / protein, %	жив. масса, кг / live weight, kg	всего кор., гол / total cows, heads	удой, кг / milk yield, kg	% жира / fat, %	% белка / protein, %	жив. масса, кг / live weight, kg
Айрширская / Ayrshire	1,04	6398	3,96	3,15	542	1040	6398	3,96	3,15	542
Голштинская / Holstein	2,43	10512	3,83	3,31	616	2430	10512	3,83	3,31	616
Красно-пестрая / Red-and-White	0,12	5588	3,83	3,12	528	115	5588	3,83	3,12	528
Симментальская / Simmental	1,06	7811	3,99	3,30	568	1063	7811	3,99	3,30	568

Анализ таблицы 6, отражающей продуктивность коров Ростовской области по породам, демонстрирует чёткую концентрацию поголовья на голштинской и симментальской породах, при этом менее массовые породы представлены крайне ограниченно. В целом по всем категориям хозяйств голштинские коровы обеспечивают наибольший удой – 10512 кг при жирности 3,83 % и белке 3,31 %, средняя живая масса достигает 616 кг. Примечательно, что племенных хозяйств для голштинской породы в регионе не зарегистрировано, и все племенные животные сосредоточены в категории «племрепродукторы», что указывает на ограниченную селекционную инфраструктуру, но при этом высокий генетический потенциал сохранён.

Айрширская порода представлена 1,04 тыс. голов с удоем 6398 кг, жирностью 3,96 % и белком 3,15 %, при средней массе 542 кг. Племенных животных для этой породы в племенных заводах нет, все коровы сосредоточены в репродукторах, что отражает небольшую численность, но при этом стабильные качественные показатели молока.

Красно-пестрая порода с минимальным поголовьем 0,12 тыс. голов демонстрирует удой 5588 кг и относительно низкую жирность 3,83 % при белке 3,12 %, средняя живая масса 528 кг. Ситуация аналогична – племенные коровы сосредоточены только в репродукторах, что ограничивает возможности селекционной работы.

Симментальская порода, насчитывающая 1,06 тыс. голов, характеризуется удоём 7811 кг, высоким содержанием жира 3,99 % и белка 3,30 %, средняя масса коров 568 кг. Все племенные животные также относятся к репродукторам, что подтверждает концентрацию генетически ценных коров в специализированных хозяйствах.

В целом продуктивность коров Ростовской области демонстрирует высокий удой и оптимальные качественные показатели молока у голштинской и симментальской пород. Положительным моментом является стабильное качество молока у всех пород, включая малочисленные. Однако негативным аспектом остаётся отсутствие племенных заводов для большинства пород, что ограничивает возможности селекционного улучшения и расширения генетической базы.

Таким образом, Ростовская область характеризуется концентрацией продуктивного поголовья в голштинской и симментальской породах с высоким удоём, при этом необходимо развивать племенную инфраструктуру для более равномерного генетического улучшения всех пород и расширения числа племенных заводов.

Таблица 7 – Продуктивность коров по Республике Крым по породам
Table 7 – Cow Productivity by Breeds in the Republic of Crimea

Порода / Breed	Все категории хозяйств / All Farm Categories					Племрепродукторы / Breeding Multipliers				
	всего кор., тыс. гол. / total cows, thsd heads	удой, кг / milk yield, kg	% жира / fat, %	% белка / protein, %	жив. масса, кг / live weight, kg	всего кор., гол. / total cows, heads	удой, кг / milk yield, kg	% жира / fat, %	% белка / protein, %	жив. масса, кг / live weight, kg
Голштинская / Holstein	3,41	11248	3,81	3,25	552	2737	11884	3,81	3,24	550
Красная степная / Red Steppe	1,77	7015	4,04	3,24	554	1768	7015	4,04	3,24	554
Красно-пестрая / Red-and-White	0,09	6407	3,97	3,24	578	-	-	-	-	-

Анализ таблицы 7, посвящённой продуктивности коров по породам в Республике Крым, демонстрирует, что основное молочное поголовье сосредоточено в голштинской и красной степной породах, тогда как красно-пестрая порода представлена крайне ограниченно. В целом по всем категориям хозяйств голштинские коровы насчитывают 3,41 тыс. голов, дают удой 11248 кг с жирностью 3,81 % и белком 3,25 %, средняя живая масса составляет 552 кг. Примечательно, что племенных заводов для этих пород в регионе нет, а все племенные коровы сосредоточены в племенных заводах, что указывает на ограниченную селекционную инфраструктуру, но при этом высокий генетический потенциал поддерживается.

Красная степная порода с численностью 1,77 тыс. голов демонстрирует удой 7015 кг, жирность 4,04 % и белок 3,24 %, при средней массе 554 кг. Племенные животные также сосредоточены исключительно в репродукторах, что подтверждает малочисленность породы, но обеспечивает стабильное качество молока и высокую жирность.

Красно-пестрая порода представлена всего 0,09 тыс. голов, с удоём 6407 кг, жирностью 3,97 % и белком 3,24 %, средняя живая масса 578 кг. Отсутствие племенных хозяйств делает эту породу уязвимой в селекционном плане и ограничивает возможности по её расширению и улучшению поголовья.

В целом продуктивность коров в Республике Крым демонстрирует высокий удой у голштинской породы и наибольшую жирность у красной степной, что положительно влияет на качество молока в регионе. Негативным моментом остаётся слабое распространение малочисленных пород и отсутствие племенных заводов, что ограничивает селекционную работу и генетическое разнообразие.

Республика Крым поддерживает высокий уровень молочной продуктивности за счёт голштинской и красной степной пород, при этом для дальнейшего генетического улучшения необходимо развивать племенную инфраструктуру и расширять численность малочисленных пород.

Обсуждение результатов. Проведенный анализ выявил комплекс факторов, определяющих современное состояние молочного скотоводства Южного федерального округа. Ключевой тенденцией, подтвержденной полученными данными, является сверхконцентрация на голштинской породе. Рекордные удои голштинских коров в племзаводах Краснодарского края (свыше 10877 кг), выявленные в нашем исследовании, согласуются с выводами о том, что голштинская порода обладает значительным генетическим потенциалом для достижения рекордной молочной продуктивности в условиях интенсивного скотоводства [13]. Однако полученные результаты указывают и на существенный риск такой узкоспециализированной стратегии. Данный вывод находит подтверждение в исследованиях, демонстрирующих, что интенсивная селекция на продуктивность требует повышенного внимания к генетическим и паратипическим факторам для обеспечения продуктивного долголетия животных и устойчивости популяции [14].

Наиболее значимым выводом настоящей работы является установление прямой зависимости между уровнем развития племенной инфраструктуры и продуктивностью на региональном уровне. Выявленная резкая дифференциация в продуктивности между племенными и неплеменными хозяйствами, особенно ярко проявившаяся в Волгоградской области, является наглядным примером структурной проблемы, характерной для аграрного сектора России. Данная проблема, как показывают исследования, коренится в значительных внутрирегиональных различиях, которые напрямую влияют на экономическое развитие сельских территорий [16]. Это создает «двухскоростную» модель развития отрасли, где передовые предприятия «отрываются» от основной массы хозяйств, что согласуется с выводами исследований, посвященных экономическим проблемам племенного животноводства в контексте развития регионального АПК [15].

Наряду с доминированием голштинской породы, полученные данные подчеркивают ценность местных и специализированных пород для производства продукции с повышенной добавленной стоимостью. Эффективность работы с таким породным потенциалом, в частности, с айрширизированным красным степным скотом, доказана в условиях конкретных племенных хозяйств [17], где учет генетических и паратипических факторов позволяет существенно увеличить объемы производства молока. Такой подход, предполагающий дифференциацию селекционной стратегии в зависимости от целевых показателей продуктивности и рыночных ниш, способствует не только повышению экономической эффективности, но и сохранению ценного генетического разнообразия.

Выводы. Проведенное исследование позволило выявить ключевой фактор, определяющий эффективность молочного скотоводства в Южном федеральном округе. Установлено, что уровень развития племенной инфраструктуры, и в особенности наличие мощных племзаводов, является системным условием для достижения максимальной продуктивности и формирует резкое неравенство между регионами.

Ярким подтверждением этому служит абсолютное лидерство Краснодарского края, где сосредоточена основная часть племзаводов округа и достигаются наивысшие удои. В отличие от него, регионы без племзаводов (Ростовская область, Республика Крым), даже при наличии высокопродуктивных пород, демонстрируют значительно более скромные результаты, ограничиваясь потенциалом племрепродукторов. Отдельного внимания заслуживает ситуация в Волгоградской области, где племзаводы показывают одни из лучших в ЮФО показателей, но их эффект «растворяется» на общем фоне из-за низкой продуктивности в неплеменном секторе. Это доказывает, что точечное совершенствование генетики недостаточно без создания масштабируемой системы по воспроизводству и внедрению элитного генетического ресурса.

Таким образом, стратегическим направлением для развития молочного скотоводства ЮФО и сокращения межрегиональной дифференциации является целенаправленное формирование и поддержка сети племзаводов как центров генетического и технологического прогресса. Полученные результаты четко определяют целевые регионы для такой работы и могут быть использованы органами АПК для формирования адресных программ господдержки, инвестиций в селекционную инфраструктуру и передачи передовых технологий из регионов-лидеров в регионы с отставанием.

Conclusions. The conducted study identified the key factor determining the efficiency of dairy farming in the Southern Federal District. It was established that the level of development of breeding infrastructure, and in particular the presence of powerful breeding farms, is a systemic condition for achieving maximum productivity and creates sharp inequality between regions.

The absolute leadership of the Krasnodar region serves as a vivid confirmation of this, where the main part of the district's breeding farms is concentrated and the highest milk yields are achieved. In contrast, regions without breeding farms (Rostov region, the Republic of Crimea), even with the presence of highly productive breeds, demonstrate significantly more modest results, limited by the potential of breeding multipliers. The situation in the Volgograd region deserves special attention, where its breeding farms show some of the best performance in the Southern Federal District, but their effect is "dissolved" in the general background due to low productivity in the non-breeding sector. This proves that point improvement of genetics is insufficient without creating a scalable system for the reproduction and implementation of elite genetic resources.

Thus, the strategic direction for the development of dairy cattle breeding in the Southern Federal District and the reduction of interregional differentiation is the targeted formation and support of a network of breeding farms as centers of genetic and technological progress. The obtained results clearly define the target regions for such work and can be used by agricultural authorities to form targeted state support programs, invest in breeding infrastructure, and transfer advanced technologies from leading regions to lagging ones.

Библиографический список

1. Milk and milk product statistics. Eurostat. 2023. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Milk_and_milk_product_statistics.
2. Dairy industry statistics of the United States for 2022. U.S. Department of Agriculture. 2022. <https://www.progressivepublish.com/downloads/2023/general/2022-pd-stats-highres.pdf>.
3. Miglior F., Fleming A., Malchiodi F. A 100-Year Review: Identification and Genetic Selection of Animals in Dairy Cattle Populations. *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 100. № 12. Pp. 10251-10271.
4. Hietala P., Juga J., Ruokolainen M. Economic value of maintaining breed diversity in dairy cattle: A simulation study under Finnish conditions. *Livestock Science*. 2021. Vol. 247. P. 104475.
5. Надоено молока на 1 корову. Федеральная служба государственной статистики. <https://fedstat.ru/indicator/31223>.
6. Производство молока в хозяйствах всех категорий. Федеральная служба государственной статистики. <https://fedstat.ru/indicator/40694>.
7. Поголовье скота и птицы в хозяйствах всех категорий. Федеральная служба государственной статистики. <https://fedstat.ru/indicator/31325>.
8. Chinarov V. I., Bautina O. V., Chinarov A. V. et al. Problems of Managing Large-Scale Breeding in Russian Cattle Breeding. *Environmental Footprints and Eco-Design of Products and Processes*. 2022. Pp. 123-138.
9. Позовникова М. В., Тулинова О. В., Сермягин А. А. и др. Анализ генетического разнообразия айрширского скота в России (часть 1). *Экологическая генетика*. 2022. Т. 20. № 1. С. 5-12.
10. Berry D. P., Coyne J., McHugh N. Selection for Milk Composition: A Review. *Animal*. 2022. Vol. 16. № 4. P. 100493.
11. Dairy cattle numbers in the European Union in 2023. Eurostat. 2023. <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tag00014/default>.
12. Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2024 год). М.: ФГБНУ ВНИИплем, 2025. 274 с.
13. Лебедько Е. Я., Пилипенко Р. В. Генетический потенциал рекордной молочной продуктивности коров голштинской породы. *Эффективное животноводство*. 2020. № 1 (158). С. 10-13. <https://cyberleninka.ru/article/n/geneticheskiy-potentsial-rekordnoy-molochnoy-produktivnosti-korov-golshtinskoj-porody>.
14. Самбуров Н. В., Глебова И. В. Влияние генетических и паратипических факторов на продуктивное долголетие коров голштинской породы. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2023. № 6. С. 107-111. <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-geneticheskikh-i-paratipicheskikh-faktorov-na-produktivnoe-dolgoletie-korov-golshtinskoj-porody>.
15. Муртазаева Р. Н., Панов А. А., Панова Н. С., Гребнева Д. А., Захарова О. А., Журавский А. С. Влияние внутрирегиональных различий на экономическое развитие сельских территорий Волгоградской области. *IACJ*. 2020. № 1. С. 1-13. <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-vnutriregionalnyh-razlichiy-na-ekonomicheskoe-razvitie-selskih-territoriy-volgogradskoy-oblasti>.
16. Попова Л. В., Лата М. С., Мелихов П. А., Лазарева В. А. Экономические проблемы племенного животноводства в контексте развития регионального АПК. *ЕГИ*. 2022. № 6 (44). С. 251-255. <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskie-problemy-plemennogo-zhivotnovodstva-v-kontekste-razvitiya-regionalnogo-apk>.
17. Засемчук И. В., Овчинников Д. Д. Эффективность использования айрширизированного красного степного скота с учетом генетических и паратипических факторов для увеличения производства молока в условиях племенного хозяйства. *Молочнохозяйственный вестник*. 2020. № 4 (40). С. 20-30. <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-ispolzovaniya-ayrshirizirovannogo-krasnogo-stepnogo-skota-s-uchetom-geneticheskikh-i-paratipicheskikh-faktorov-dlya>.

References

1. Milk and milk product statistics. Eurostat. 2023. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Milk_and_milk_product_statistics.
2. Dairy industry statistics of the United States for 2022. U.S. Department of Agriculture. 2022. <https://www.progressivepublish.com/downloads/2023/general/2022-pd-stats-highres.pdf>

3. Miglior F., Fleming A., Malchiodi F. A 100-Year Review: Identification and Genetic Selection of Animals in Dairy Cattle Populations. *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 100. № 12. Pp. 10251-10271.
4. Hietala P., Juga J., Ruokolainen M. Economic value of maintaining breed diversity in dairy cattle: A simulation study under Finnish conditions. *Livestock Science*. 2021. Vol. 247. P. 104475.
5. Milk yield per cow. Federal State Statistics Service. <https://fedstat.ru/indicator/31223>
6. Milk production in farms of all categories. Federal State Statistics Service. <https://fedstat.ru/indicator/40694>
7. Livestock and poultry population in farms of all categories. Federal State Statistics Service. <https://fedstat.ru/indicator/31325>
8. Chinarov V. I., Bautina O. V., Chinarov A. V. et al. Problems of Managing Large-Scale Breeding in Russian Cattle Breeding. *Environmental Footprints and Eco-Design of Products and Processes*. 2022. Pp. 123-138.
9. Pozovnikova M. V., Tulinova O. V., Sermiyagin A. A., et al. Analysis of Genetic Diversity of Ayrshire Cattle in Russia (Part 1). *Ecological Genetics*. 2022. No 20 (1). Pp. 5-12.
10. Berry D. P., Coyne J., McHugh N. Selection for Milk Composition: A Review. *Animal*. 2022. Vol. 16. № 4. P. 100493.
11. Dairy cattle numbers in the European Union in 2023. Eurostat. 2023. <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tag00014/default>
12. Yearbook on Breeding Work in Dairy Cattle Breeding on Farms of the Russian Federation (2024). Moscow: FGBNU VNIImplem, 2025.
13. Lebedko E. Y., Pilipenko R. V. Genetic Potential of Record Dairy Productivity of Holstein Cows. *Effective Animal Husbandry*. 2020. No 1 (158). Pp. 10-13. <https://cyberleninka.ru/article/n/geneticheskiy-potentsial-rekordnoy-molochnoy-produktivnosti-korov-golshtinskoy-porody>
14. Samburov N. V., Glebova I. V. The Influence of Genetic and Paratypic Factors on the Productive Longevity of Holstein Cows. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2023. No 6. Pp. 107-111. <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-geneticheskikh-i-paratipicheskikh-faktorov-na-produktivnoe-dolgoletie-korov-golshtinskoy-porody>
15. Murtazaeva R. N., Panov A. A., Panova N. S., Grebneva D. A., Zakharova O. A., Zhuravsky A. S. The Impact of Intra-Regional Differences on the Economic Development of Rural Areas of the Volgograd Region. *IACJ*, 2020. No 1. Pp. 1-13. <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-vnutreregionalnykh-razlichiy-na-ekonomicheskoe-razvitiye-selskikh-territoriy-volgogradskoy-oblasti>
16. Popova L. V., Lata M. S., Melikhov P. A., Lazareva V. A. Economic Problems of Breeding Animal Husbandry in the Context of the Development of the Regional Agro-Industrial Complex. *EGL*. 2022. No 6 (44). Pp. 251-255. <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskie-problemy-plemennogo-zhivotnovodstva-v-kontekste-razvitiya-regionalnogo-apk>
17. Zasmuchuk I. V., Ovchinnikov D. D. (2020). Efficiency of Using Ayrshire-Red Steppe Cattle, Taking into Account Genetic and Paratypic Factors to Increase Milk Production in a Breeding Farm. *Dairy Industry Herald*. 2020. No 4 (40). Pp. 20–30. <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-ispolzovaniya-ayrshirizirovannogo-krasnogo-stepnogo-skota-s-uchetom-geneticheskikh-i-paratipicheskikh-faktorov-dlya>

Информация об авторах

Анисимова Елена Юрьевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID: 0000-0002-7508-3897, e-mail: elanis1009@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, д. 6); заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), ORCID: 0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru

Мосолов Александр Анатольевич, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. им. М. Рокоссовского, 6), ORCID: 0000-0002-4927-7065, e-mail: niimmp@mail.ru

Воронцова Елена Сергеевна, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. им. М. Рокоссовского, 6), ORCID: 0000-0002-0730-853X, e-mail: esvoronts@mail.ru

Мосолова Елизавета Александровна, студент, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28); лаборант-исследователь, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. им. М. Рокоссовского, 6), ORCID: 0009-0003-3898-4439, e-mail: niimmp@mail.ru

Шахбазова Ольга Павловна, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 346493, Ростовская область, Октябрьский район, пос. Персиановский, ул. Кривошлыкова, 24), ORCID: 0000-0001-9810-0162, e-mail: oldeler@yandex.ru

Раджабов Расим Гасанович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 346493, Ростовская область, Октябрьский район, пос. Персиановский, ул. Кривошлыкова, 24), ORCID: 0000-0001-8913-3501, e-mail: rasim.rg@yandex.ru

Authors' Information

Anisimova Elena Yurievna, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, M. Rokossovsky str., 6), ORCID: 0000-0002-7508-3897, e-mail: elanis1009@mail.ru

Gorlov Ivan Fedorovich, Doctor of Agricultural Sciences, 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, M. Rokossovsky str., 6); Head of the Department, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), ORCID: 0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru

Mosolov Aleksander Anatolievich, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, M. Rokossovsky str., 6), ORCID: 0000-0002-4927-7065, e-mail: niimmp@mail.ru

Vorontsova Elena Sergeevna, Candidate of Biological Sciences, Junior Researcher, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, M. Rokossovsky str., 6), ORCID: 0000-0002-0730-853X, e-mail: esvoronts@mail.ru

Mosolova Elizaveta Aleksandrovna, student, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, Lenin Avenue 28); Laboratory Assistant Researcher, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, M. Rokossovsky str., 6), ORCID: 0009-0003-3898-4439, e-mail: niimmp@mail.ru

Shakhbazova Olga Pavlovna, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Donskoy State Agrarian University (Russian Federation, 346493, Rostov region, Oktyabrsky district, village Persianovsky, St. Krivoshlykova, 24), ORCID: 0000-0001-9810-0162, e-mail: oldeler@yandex.ru

Radzhabov Rasim Gasanovich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Donskoy State Agrarian University (Russian Federation, 346493, Rostov region, Oktyabrsky district, village Persianovsky, St. Krivoshlykova, 24), ORCID: 0000-0001-8913-3501, e-mail: rasim.rg@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-42

THE INFLUENCE OF GENEALOGICAL AFFILIATION ON THE FATTENING AND MEAT QUALITIES OF LARGE WHITE PIGS IN THE CONDITIONS OF A BREEDING AND HYBRID CENTER

Breslavets Yu. P.

*All-Russian Research Institute for Animal Breeding
Lesnie Polyany, Moscow Region, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: Umat_05@mail.ru

Received 21.08.2025

Submitted 26.11.2025

The work was performed in accordance with the State Assignment No. 125052106296-5.

Summary

Introduction. The study presents the results of assessing the effect of genealogical structure on productive traits of Large White pigs raised under the conditions of the Selection and Hybridization Center of the Agricultural Production Cooperative “Kolkhoz imeni Gorina” (Belgorod district, Russia). The relevance of the research is determined by the need to increase the efficiency of using breeding resources in hybridization schemes while simultaneously controlling the level of inbreeding. The aim of the study was to identify differences between the main branches of the herd in terms of fattening and meat performance. The analysis included four groups of animals differing in origin, line and family affiliation. The evaluation was carried out for age at 100 kg live weight, feed conversion per unit of gain, backfat thickness at the standard point, depth of the longissimus dorsi muscle and live weight. In forming sow and boar groups, intra line mating with control of relatedness was used, and the obtained data were subjected to biometric analysis. It was found that genealogical affiliation has a statistically significant effect on age at target live weight, backfat thickness and average daily gain, reflecting differences in adaptive and productive potential between branches within the same breed. The results make it possible to substantiate the choice of mating combinations in hybridization systems and to refine selection directions within the herd. The practical significance of the study lies in the possibility of improving the complex of meat and fattening traits in Large White pigs without increasing the risk of inbreeding and reducing genetic diversity.

Abstract

Modern commercial pig production imposes stringent requirements on fattening and carcass traits, especially under intensified production. The Large White remains one of the most versatile and widely used breeds in hybridization programs. Owing to its high productive potential and adaptive capacity, it serves as a foundation within hybrid systems in pig breeding. To enhance the efficiency of hybridization, methods for selecting animals with due consideration of genealogical lineages and families require scientifically grounded analysis to fine-tune customized matings at the individual level. Studying the genealogical structure within the population makes it possible to identify intra-breed differences across a range of economically important traits and to form selection groups with predictable characteristics. In the Belgorod Region – one of Russia's leading areas for pork production – a substantial body of data has been accumulated on different lineages of the Large White breed. On this basis, it is possible to evaluate the effectiveness of intraline mating, determine inbreeding levels, and thereby develop more effective approaches to selection and mating when producing high-performing hybrids. The aim of the present study was to determine the effect of genealogical affiliation on the meat and fattening traits of Large White pigs within a single breeding center. The tasks included a comparative analysis of productivity across four lineages, the assessment of four fattening and carcass traits, and the substantiation of directions for further breeding work.

Keywords: pig breeding, pig breeds, large white breed of pigs, meat qualities of pigs, fattening qualities of pigs.

Citation. Breslavets Yu. P. The influence of genealogical affiliation on the fattening and meat qualities of large white pigs in the conditions of a breeding and hybrid center. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 380-384 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-42.

Authors' contribution. Breslavets Yu. P. performed the collection and statistical processing of the experimental data, as well as the preparation, scientific editing, and final version of the manuscript.

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

УДК 636.4.082

ВЛИЯНИЕ ГЕНЕАЛОГИЧЕСКОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ НА ОТКОРМОЧНЫЕ И МЯСНЫЕ КАЧЕСТВА СВИНЕЙ КРУПНОЙ БЕЛОЙ ПОРОДЫ В УСЛОВИЯХ СЕЛЕКЦИОННО-ГИБРИДНОГО ЦЕНТРА

Бреславец Ю. П., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела» (ВНИИплем)
Московская область, Российская Федерация

Работа выполнена в соответствии с Государственным заданием № 125052106296-5.

Актуальность. В работе представлены результаты изучения влияния генеалогической структуры на продуктивные качества свиней крупной белой породы, разводимых в условиях селекционно-гибридного центра СПК «Колхоз имени Горина» (Белгородский район). Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности использования племенных ресурсов в системах гибридизации при одновременном контроле уровня инбридинга. Целью исследования являлось выявление различий между основными ветвями стада по показателям откормочных и мясных качеств. В анализ были включены четыре группы животных, различающиеся происхождением, линейной и семейственной принадлежностью. Оценка проводилась по возрасту достижения живой массы 100 кг, затратам корма на единицу прироста, толщине шпика в контрольной точке, глубине длиннейшей мышцы спины и живой массе. При формировании маточных и хрячных групп применялись методы внутрилинейного подбора с контролем степени родства, полученные данные подвергались биометрической обработке. Установлено, что генеалогическая принадлежность оказывает статистически значимое влияние на возраст достижения контрольной массы, толщину шпика и величину среднесуточного прироста, что отражает различия в адаптивно-продуктивном потенциале ветвей внутри одной породы. Полученные результаты позволяют более обоснованно формировать парные комбинации в системе гибридизации и уточнять направление селекции внутри стада. Практическое значение работы заключается в возможности улучшения комплекса мясных и откормочных качеств свиней крупной белой породы без увеличения риска инбридинга и снижения генетического разнообразия.

Ключевые слова: свиноводство, породы свиней, крупная белая порода свиней, мясные качества свиней, откормочные качества свиней, селекция свиней.

Цитирование. Бреславец Ю. П. Влияние генеалогической принадлежности на откормочные и мясные качества свиней крупной белой породы в условиях селекционно-гибридного центра. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 380-384. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-42.

Авторский вклад. Бреславец Ю. П., осуществил сбор и статистическую обработку экспериментальных данных, а также подготовку, научное редактирование и окончательную версию текста статьи

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Современное промышленное свиноводство предъявляет высокие требования к откормочным и мясным качествам животных, особенно в условиях интенсификации производства. Одной из наиболее универсальных и широко распространённых пород, применяемых в гибридизационных программах, остаётся крупная белая. Благодаря высокому потенциалу продуктивности и адаптационным возможностям, она служит основой в системе гибридизации в свиноводстве. В целях повышения эффективности гибридизации методы подбора животных, с учётом генеалогических ветвей линий и семейств, требуют научно обоснованного анализа для корректировки заказных спариваний её индивидуально-уровня. Изучение генеалогической структуры в популяции позволяет выявить внутрипородные различия по ряду экономически значимых признаков и сформировать селекционные группы с прогнозируемыми характеристиками.

В условиях Белгородской области, являющейся одним из ведущих регионов по производству свинины, накоплен значительный массив данных по различным ветвям крупной белой породы. На их основе можно оценить эффективность внутрилинейного подбора, определить уровень инбридинга и на этой основе разработать более эффективные способы отбора и подбора животных при получении высокопродуктивных гибридов. Целью настоящей работы являлось выявление влияния генеалогической принадлежности на мясные и откормочные качества свиней крупной белой породы в рамках одного селекционного центра. Задачи включали сравнительный анализ продуктивности по четырем ветвям, оценку четырех откормочных мясных качеств и обоснование направлений дальнейшей селекционной работы.

Материалы и методы. Исследование проводилось на базе ведущего селекционно-гибридного центра Белгородской области. Объектом наблюдения выступили четыре генеалогические ветви свиней крупной белой породы, разводимые обособленно с применением внутрилинейного подбора, в рамках создаваемой средней по воспроизводительным качествам линии. Разведение осуществлялось в соответствии с утверждённой программой селекционного центра, с принятыми условиями содержания и кормления животных. Для оценки продуктивности и качества потомства были определены ключевые показатели: возраст достижения живой массы 100 кг (в днях); среднесуточный прирост (в граммах); затраты корма на 1 кг прироста (в килограммах); толщина шпика на уровне 6-7 грудных позвонков (в миллиметрах); глубина длиннейшей мышцы спины (в миллиметрах); сохранность поголовья (в процентах). Каждая выборка включала от 120 до 180 голов в зависимости от ветви, что обеспечивало статистическую достоверность полученных результатов. Биометрическая обработка материала проводилась с применением дисперсионного анализа (ANOVA), позволяющего выявить межгрупповые различия. Расчёты выполнялись с использованием программ Statistica 10.0 и Microsoft Excel, с определением уровня значимости различий ($p < 0,05$). Селекционная работа осуществлялась по единой методике, утверждённой в рамках "Методики племенной ценности свиней" (ЕЭК, 2020). В рамках данной программы особое внимание уделялось увеличению мясных качеств, снижению затрат кормов, а также контролю параметров воспроизводства. Подбор пар проводился с использованием принципа внутрилинейного подбора, при этом коэффициент инбридинга в популяции поддерживался на уровне, не превышающем 3 % [5]. Разработанный подход позволил объективно оценить влияние генеалогической принадлежности на продуктивные качества свиней крупной белой породы и обосновать их использование в системах гибридизации.

Результаты и обсуждение. В процессе работы изучили откормочные и мясные качества ремонтного молодняка, полученного в пределах каждой из четырех ветвей от свиноматок-первоопоросок, осеменённых молодыми хряками-производителями различной генеалогической принадлежности. Уровень родства по Райту составил по хрякам от трех до 4,5 % по свинкам в среднем 5-5,5 %. Всего проанализировано 568 гол., по 120-150 гол. в каждой группе. Данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные продуктивные показатели свиней крупной белой породы различных генеалогических ветвей

Table 1 – The main productive indicators of large white breed pigs of various genealogical branches

Ветвь / Branch	Кол-во голов / Number of cattle	Возраст достижения 100 кг, дней / Age of reaching 100 kg, days	Среднесуточный прирост на выращивании, г / Average daily increase in cultivation, g	Затраты корма, к.ед. / Feed costs, feeding units	Сохранность, % / Safety, %
A	140	144,3 ± 2,1	920	2,95	89,7
B	130	149,8 ± 1,8	890	3,10	91,2
C	148	153,6 ± 2,0	845	3,25	92,5
D	150	151,6 ± 2,3	880	3,05	90,3

Наиболее высокие темпы постнатального роста демонстрировала ветвь А, превосходя ветвь С по среднесуточному приросту на 75 г ($P < 0,01$) и характеризуясь минимальным возрастом достижения контрольной массы. Одновременно у данной ветви зафиксирован наименьший расход корма (3,95 кг/кг), что при прочих равных снижает себестоимость единицы продукции на 6-8 % по сравнению со средним значением по выборке. Ветвь С, несмотря на худшие показатели энерго-протеиновой конверсии, обладала наивысшей сохранностью молодняка (92,5 %), что может свидетельствовать о более выраженной устойчивости к стресс-факторам и лучшей адаптации при технологических перегруппировках. Исследования мясных качеств проводили по показателям толщина шпика, глубина длиннейшей мышцы спины и выход мяса в туше. Данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Мясные показатели свиней крупной белой породы различных генеалогических ветвей

Table 2 – Meat indicators of large white breed pigs of various genealogical branches

Ветвь / Branch	Количество гол. / Number of cattle	Толщина шпика, мм / The thickness of the bacon, mm	Глубина длиннейшей мышцы, мм / The depth of the longest muscle, mm	Выход мяса в туше, % / Meat yield in carcass, %
A	141	14,2	56,2	58
B	149	15,1	54,8	57
C	153	15,8	52,7	58
D	151	13,0	58,2	60

Разброс толщины шпика между крайними значениями (ветви В и С) составил 4,3 мм, что статистически достоверно при $p < 0,05$ и имеет прямое технологическое значение для перерабатывающих предприятий, ориентированных на производство бекона стандартизированной тощности. Минимальное отложение подкожного жира у ветви В сочетается с удовлетворительной глубиной мышцы (54,8 мм), формируя желаемое соотношение «мясо/жир» ($\geq 3,0$). В противоположность этому у ветви С из-за выраженных жировых отложения коэффициент «мясо/жир» снижен до 2,4, что ограничивает пригодность данных животных для получения диетических полуфабрикатов. Наибольшая глубина длиннейшей мышцы зарегистрирована у ветви D (58,2 мм), превосходя ветвь С на 5,5 мм ($P < 0,01$). Учитывая её средний уровень шпика (20,2 мм), данная ветвь может рассматриваться как перспективная для формирования отцовских линий комбинированного типа – с повышенной мясностью при сохранении достаточной энергоёмкости туши.

Выводы. Результаты проведённого исследования позволяют сделать обоснованные выводы о существенном влиянии генеалогической структуры на формирование продуктивных и мясных качеств свиней крупной белой породы, разводимых в условиях Белгородской области. Полученные данные свидетельствуют о наличии внутривидовой дифференциации, обусловленной принадлежностью животных к различным генеалогическим ветвям, что определяет значимые различия по скорости роста, уровню кормоэффективности, морфометрическим показателям туши и уровню сохранности поголовья.

Conclusions. The results of the study allow us to draw reasonable conclusions about the significant influence of the genealogical structure on the formation of productive and meat qualities of large white breed pigs bred in the Belgorod region. The data obtained indicate the presence of intra-breed differentiation due to the belonging of animals to different genealogical branches, which determines significant differences in growth rate, level of feed efficiency, morphometric parameters of carcasses and the level of livestock safety.

Библиографический список

1. Rothschild M. F. Methods to determine genetic diversity. Discovery Conference Proceedings. Nashville: TN, 1999.
2. Rothschild M. F. Advances in pig molecular genetics, gene mapping and genomics. Iowa State University, Ames, 2004.
3. Rothschild M. F. Genome mapping in livestock: a journey, not a destination. Proceedings of the Future Genetics for the Animal Industry. St. Louis: MO, 2004.
4. Shon T. N., Rothschild M. E. Southwood. Effect of the estrogen receptor locus on reproduction traits in four commercial pig lines. J. Anim. Sci. No 75. Pp. 3138-3142.
5. Методика оценки племенной ценности свиней (утверждена решением Коллегии Евразийской экономической комиссии от 24 ноября 2020 г. №149).
6. Козловский В. Г., Тонышев И. И. Теория и практика создания и использования гибридных свиней. Свиноводство. 1982. № 6. С. 10-12.
7. Суслина Е. Н. Выведение специализированных типов свиней. Зоотехния. 2008. № 9. С. 6-8.
8. Мысик А. Т., Походня Г. С., Малахова Т. А., Калинин А. Ю., Жернакова Н. И., Скоркина М. Ю. Повышение воспроизводительной функции хряков за счёт скармливания им кормовой добавки «Элевит». Зоотехния. 2020. № 3. С. 24-26.
9. Походня Г. С. Свиноводство. Воспроизводство и племенная работа. Белгород: Политекра, 2019. Т. 1. 768 с.
10. Кошаев А. Г., Новиков А. А., Походня Г. С., Мысик А. Т., Бреславец Ю. П., Бреславец А. П. Разработка способов ускоренной селекции при выведении новых пород свиней. Зоотехния. 2023. № 1. С. 2-5.
11. Походня Г. С., Перевозчиков Н. В., Бреславец Ю. П., Бреславец А. П., Бреславец В. М., Чусь Р. В., Гапоненко В. Н., Кошаев А. Г. Рост и развитие ремонтных свинок в зависимости от скармливания им кормовой добавки «Элевит». Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 102. С. 287-292.
12. Кошаев А. Г., Походня Г. С., Шевченко Н. П., Шевченко А. И., Бреславец Ю. П., Павличенко Т. С., Перевозчиков Н. В. Использование органических микроэлементов отечественного производства «ОМЭК-7М» в рационах свиней на откорме. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 97. С. 190-196.

References

1. Rothschild M. F. Methods to determine genetic diversity. Discovery Conference Proceedings. Nashville: TN, 1999.
2. Rothschild M. F. Advances in pig molecular genetics, gene mapping and genomics. Iowa State University. Ames, 2004.
3. Rothschild M. F. Genome mapping in livestock: a journey, not a destination. Proceedings of the Future Genetics for the Animal Industry, St. Louis: MO, 2004.
4. Shon T. N., Rothschild M. E. Southwood. Effect of the estrogen receptor locus on reproduction traits in four commercial pig lines. J. Anim. Sci. No 75. Pp. 3138-3142.
5. Methodology for assessing the breeding value of pigs (approved by the decision of the Board of the Eurasian Economic Commission, November 24, 2020, No.149).
6. Kozlovskiy V. G., Tonyshev I. I. Theory and practice of creation and use of hybrid pigs. Svinovodstvo. 1982. No 6. Pp. 10-12.
7. Suslina E. N. Breeding of specialized types of pigs. Zootekhnika. 2008. No 9. Pp. 6-8.

8. Mysik A. T., Pokhodnya G. S., Malakhova T. A., Kalinin A. Yu., Zhernakova N. I., Skorkina M. Yu. Improving the reproductive function of boars by feeding them the "Elevit" additive. *Zootechnia*. 2020. No 3. Pp. 24-26.
9. Pokhodnya G. S. Pig breeding. Reproduction and breeding work. Belgorod: Politeria, 2019. Vol. 1. 768 p.
10. Koshchaev A. G., Novikov A. A., Pokhodnya G. S., Mysik A. T., Breslavets Yu. P., Breslavets A. P. Development of accelerated selection methods for breeding new pig breeds. *Zootechnia*. 2023. No 1. Pp. 2-5.
11. Pokhodnya G. S., Perevozchikov N. V., Breslavets Yu. P., Breslavets A. P., Breslavets V. M., Chus R. V., Gaponenko V. N., Koshchaev A. G. Growth and development of replacement gilts depending on feeding the "Elevit" additive during rearing. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2022. No 102. Pp. 287-292.
12. Koshchaev A. G., Pokhodnya G. S., Shevchenko N. P., Shevchenko A. I., Breslavets Yu. P., Pavlichenko T. S., Perevozchikov N. V. Use of domestic organic microelements "OMEK-7M" in diets of fattening pigs. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2022. No 97. Pp. 190-196.

Информация об авторах

Бреславец Юрий Павлович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела» (ВНИИплем) (Российская Федерация, 142134, Московская область, поселок Лесные поляны, ул. Ленина, 13), e-mail: Umat_05@mail.ru

Authors' Information

Breslavets Yuri Pavlovich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of breeding (Russian Federation, 142134, Moscow region, Lesnye Polyany settlement, Lenin St.,13), e-mail: Umat_05@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-43

THE IDENTIFICATION OF THE EWE'S PLACENTA CELLULAR BIOMARKERS IN THE LAST STAGES OF GESTATION IN THE NORMAL AND PATHOLOGICAL CONDITIONS

¹Bulatov R. N., ²Plemyashov V. S., ¹Skrygunov K. I.

¹*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

²*St. Petersburg State University of Veterinary Medicine
St. Petersburg, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: bulatov.rinat1991@mail.ru

Received 08.09.2025

Submitted 28.11.2025

Abstract

Introduction. The current study presents for the first time the localization and distribution of matrix metalloproteinases and cytokeratins in sheep during pregnancy, which will make it possible in the future to develop test systems for predictive diagnosis of reproductive pathologies in animals. **Materials and methods.** Sheep placenta samples were subjected to standard histological procedures. Some of the samples were placed in a solution of neutral 10 % buffered formalin for fixation. The dewatering of the material was carried out in a battery of ascending alcohols – 70 %, 80 %, 90 % and 100 %, for 30 minutes each. Histological sections were made on a rotary microtome with a thickness of 4 microns, they were subsequently stained with hematoxylin Gilla-eosin, according to Mallory. At the final stage of the reaction, the sections were stained with Mayer's hematoxylin. Histopreparations were studied using a Micmed-5 LOMO light-optical microscope. Microphotography was performed using a Touptek Photonic FMA050 digital camera. **Results and conclusion.** In the studied placenta samples, a cell-specific localization in the uteroplacental structures of ewes in the last stages of pregnancy was established. It was found that in the sheep placenta before childbirth (148 days of pregnancy), the allantoic membrane was thick enough, permeated by an extensive network of blood vessels of different calibers, and the stromal part of the allantoic membrane and the membrane of the allantoic chorion was a dense network of collagen fibers of different diameters, between which fibroblasts and fibrocytes were located. A characteristic feature of the sheep placenta was the presence of a large number of binucleated trophoblast cells, which were intensively stained by the CHIC method modified by McManus. Most of the trophoblast is represented by cubic cells with a light core and depleted cytoplasm. An analysis of the glycosaminoglycan content in the placentoma of ewes suffering from eclampsia showed the following distribution: CHIC-positive components represented by neutral glycosaminoglycans formed an interstitial substance both in the uterine crypts and in the villous stroma. At the same time, acidic glycosaminoglycans were found exclusively in the areas of edema and swelling of individual villi, which indicates a pathological transformation of placental structures. The surface of the maternal crypts was formed by syncytial-type epithelium, which formed a continuous layer devoid of clear cellular boundaries, often containing multiple nuclei. The surface of the membranes of trophoblastic cells and the epithelium of uterine crypts was densely dotted with numerous microvilli, which, intertwined with each other, formed a complex network that significantly increased the contact area between the organisms of the mother and fetus. When analyzing the structural components of the extracellular matrix of the placenta, it was found that the connective tissue base of the villi of the sheep fetus was represented by strands of collagen fibers originating from the chorioallantoic membrane. In the stromal part of the caruncular septa, the collagen framework was weakly expressed, which indicated a prenatal transformation of placental structures.

Keywords: ewes, sheep placenta, sheep reproductive pathologies, diagnosis of sheep gynecological diseases.

Citation. Bulatov R. N., Plemyashov V. S., Skrygunov K. I. The identification of the ewe's placenta cellular biomarkers in the last stages of gestation in the normal and pathological conditions. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 384-391 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-43.

Authors' contribution. The authors who carried out the study agreed on this version of the article.

Conflict of interest. The authors who participated in the writing of this article have no objections to this variation of the presentation of the study.

УДК 619:618.3+636.32/.38

ИДЕНТИФИКАЦИЯ КЛЕТОЧНЫХ БИОМАРКЕРОВ ПЛАЦЕНТЫ ОВЦЕМАТОК НА ПОСЛЕДНИХ СРОКАХ ГЕСТАЦИИ В НОРМЕ И ПАТОЛОГИИ

¹Булатов Р. Н., кандидат ветеринарных наук

²Племяшов К. В., доктор ветеринарных наук, член-корреспондент РАН

¹Шкрыгунов К. И., кандидат сельскохозяйственных наук

¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

²Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В текущем исследовании впервые представлены локализация и распределение матриксных металлопротеиназ и цитокератинов у овец в период суягности, что позволит в будущем разработать тест-системы предиктивной диагностики репродуктивных патологий у животных. **Материалы и методы.** Образцы плаценты овец подвергали стандартным гистологическим процедурам. Часть образцов помещали в раствор нейтрального 10 % забуферного формалина для фиксации. Обезвоживание материала проводили в батарее восходящих спиртов – 70 %, 80 %, 90 % и 100 %, по 30 минут в каждом. Гистологические срезы изготавливали на ротационном микротоме толщиной 4 мкм, их впоследствии окрашивали гематоксилином Джилла-эозином, по Маллори. На заключительном этапе реакции срезы докрашивали гематоксилином Майера. Изучение гистопрепаратов проводили с использованием светооптического микроскопа Микмед-5 ЛОМО. Микрофотографирование выполняли при помощи цифровой камеры Touptek Photonic FMA050. **Результаты.** В исследованных образцах плаценты установлена клеточно-специфическая локализация в маточно-плацентарных структурах овцематок на последних сроках беременности. Установлено, что в овечьей плаценте перед родами (148 день суягности) аллантаисная оболочка достаточно толстая, пронизана разветвленной сетью кровеносных сосудов разного калибра, а стромальная часть аллантаисной оболочки и мембраны аллантаисного хориона представляла собой густую сеть коллагеновых волокон разного диаметра, между которыми располагались фибробласты и фиброциты. Характерной особенностью плаценты овец, являлось наличие большого количества двуядерных клеток трофобласта, интенсивно окрашивающихся ШИК-методом в модификации Мак-Мануса. Большая часть трофобласта представлена кубическими клетками со светлым ядром и обедненной цитоплазмой. Анализ содержания гликозамингликанов в плаценте овцематок, страдающей эклампсией, показал следующее распределение: ШИК-позитивные компоненты, представленные нейтральными гликозамингликанами, формировали межучточное вещество как в маточных криптах, так и в стромах ворсин. В то же время, кислые гликозамингликаны обнаруживались исключительно в зонах отека и набухания отдельных ворсин, что свидетельствует о патологической трансформации плацентарных структур. Поверхность материнских крипт была образована эпителием синцитиального типа, который формировал сплошной, лишенный четких клеточных границ пласт, часто содержащий множественные ядра. Поверхность мембран трофобластных клеток и эпителия маточных крипт была густо усеяна многочисленными микроворсинками, которые, переплетаясь между собой, формировали сложную сеть, существенно увеличивающую площадь контакта между организмами матери и плода. При анализе структурных компонентов внеклеточного матрикса плацентомы было обнаружено, что соединительно-тканная основа ворсин овечьего плода была представлена тяжами коллагеновых волокон, берущих свое начало от хориоаллантаисной мембраны. В стромальной части карункулярных перегородок коллагеновый каркас был слабо выражен, что указывало на предродовую трансформацию плацентарных структур.

Ключевые слова: овцематки, плацента овец, репродуктивные патологии овец, диагностика гинекологических болезней овец.

Цитирование. Булатов Р. Н., Племяшов К. В., Шкрыгунов К. И. Идентификация клеточных биомаркеров плаценты овцематок на последних сроках гестации в норме и патологии. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 384-391. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-43.

Авторский вклад. Авторы, осуществившие исследование, согласовали данную версию статьи.

Конфликт интересов. Авторы, участвовавшие в написании данной статьи, не имеют возражений в данной вариации изложения исследования.

Введение. Плацента у разных видов млекопитающих устроена по-разному, но у всех видов плацентарные трофобласты тесно взаимодействуют с эндометрием матки, обеспечивая перенос питательных веществ от матери к эмбриону/плоду через тесно прилегающие друг к другу микроциркуляторные системы матки и плаценты [1]. У жвачных животных клетки плацентарного трофобласта проникают в ткань эндометрия матки, но считается, что инвазия ограничивается просветом эндометрия [2]. Ключевыми особенностями плацентации у жвачных животных являются многоэтапный каскад взаимодействий с участием различных молекул адгезии, в том числе интегрин-опосредованное закрепление трофобласта в эндометрии [3, 4]. Другой важной характеристикой служит синцитиализация плаценты – процесс, продолжающийся на протяжении всей беременности, но понимание которого в настоящее время ограничено [5]. Важным этапом является также формирование плацентом, определяющих ход имплантации и образование котиледонов у овец, обеспечивающих гемотрофную поддержку внутриутробного развития плода [6, 7].

Эти вопросы обладают существенной практической значимостью и остаются недостаточно изученными в существующих научных трудах [8, 9, 10]. Отсутствуют фундаментальные исследования, посвященные анализу взаимозависимостей и причинно-следственных связей между различными физиологическими процессами [11]. Проведение подобных изысканий представляется чрезвычайно важным, поскольку они подтверждают, что преобразования в организме матери в течение репродуктивного цикла обусловлены не только законами сопряженной изменчивости плаценты, но и генетической совместимостью родителей, что в совокупности создает оптимальные условия для успешного развития плода.

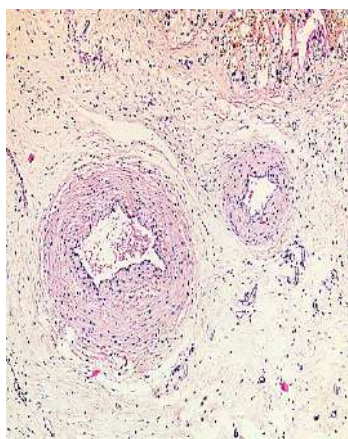
Цель исследования. Выявить молекулярные клеточные биомаркеры в плаценте овцематок в норме и при патологии.

Материалы и методы. Для патоморфологического исследования образцы тканей овечьего плацентома помещали в 10 % нейтральный забуферный формалин. Время пребывания в фиксаторе составляло 4-5 суток при 4 °С. Затем образцы обезживали в батаре спиртов восходящей крепости, просветляли в хлороформе с использованием гистопроцессора Cytadel 2000 (Shendon) и заключали в парафиновую среду Histomix (Биовитрум). Парафиновые блоки резали на ротационном микротоме (MICROM HM340E), получали срезы толщиной 5 мкм и монтировали их на предметные стекла. Для обзорного исследования срезы окрашивали гематоксилином и эозин-флоксин по общепринятой методике [12]. Для изучения распределения внеклеточного матрикса в тканях плаценты применяли окраску парафиновых срезов по Masson. Для изучения кислых и нейтральных гликозамингликанов в образцах плаценты срезы подвергались двойному окрашиванию: альциановым синим (рН=3,0) по Сиддмену (слабокислые сульфатированные мукоидные вещества, гиалуроновые кислоты и сиаломуцины окрашивались в темно-синий цвет) и ШИК-реакции в модификации Мак-Мануса (ШИК-позитивные мукопротеины, содержащие гексозу, приобретали ярко-малиновый цвет). Ядра докрашивались гематоксилином Майера. На препаратах почек выполнялась только ШИК-реакция в модификации Мак-Мануса.

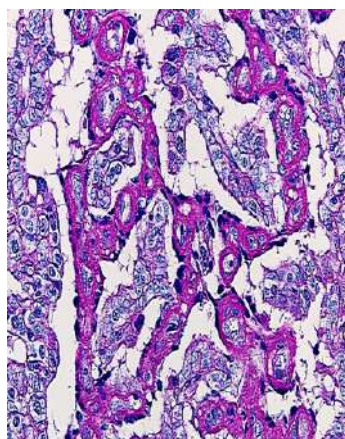
Исследование микропрепаратов проводилось с использованием микроскопа AxioScope.A1 компании ZEISS, оснащённого цифровой камерой AxioCam MRc5, обеспечивающей высокое разрешение изображения. Полученные микрофотографии в дальнейшем обрабатывались программным обеспечением ZENpro 2012 от того же производителя.

Результаты. Морфологический анализ плаценты овцы позволил установить, что её функциональной единицей служит комплекс, образованный котиледоном (плодная часть) и карункулом (материнская часть). Плацентома у данного вида животных характеризуется вогнутой формой. Аллантаисная оболочка отличается значительной толщиной и содержит разветвленную сеть кровеносных сосудов, представленных как крупными артериями и венами, так и мелкими капиллярами (рисунок 1).

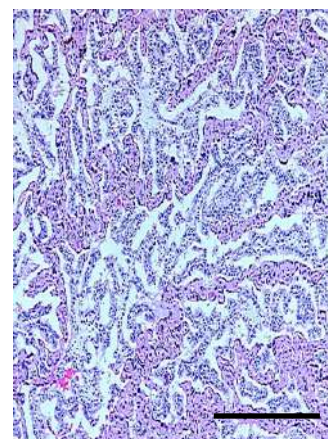
Аллантаисная оболочка и хориоаллантаисная мембрана имели строму, представленную плотным переплетением коллагеновых волокон разного калибра, с расположенными в межволоконном пространстве фибробластами и фиброцитами. От данной мембраны отходили ворсинки, формирующие котиледоны.



1 – Окраска
гематоксилин-эозином /
1 – Staining with
hematoxylin-eosin



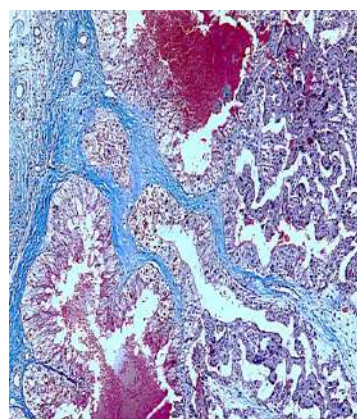
2 – Комбинированная окраска
альциановым синим и
ШИК-реакция по Мак-Манусу.
Докраска гематоксилином
Майера) / 2 – Combined staining
with alcian blue and CHIC
reaction according to McManus.
Staining with Mayr's hematoxylin)



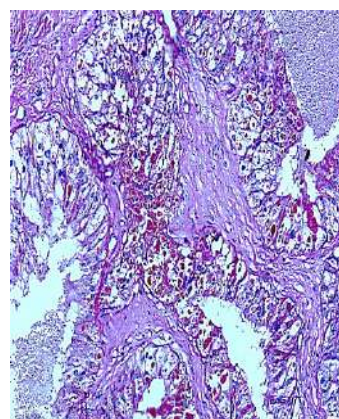
3 – Окраска
гематоксилин-эозином /
3 – Staining with
hematoxylin-eosin

Рисунок 1 – Продольный срез овечьего плацентома. Общее увеличение 100

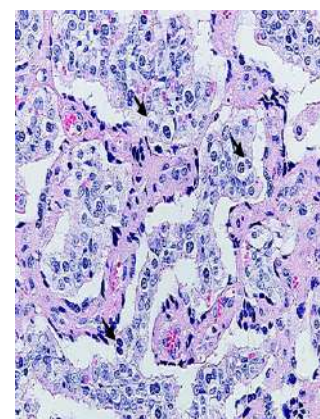
(1. Аллантаическая оболочка с разветвленной сосудистой сетью. 2. Наличие многочисленных выростов на клетках трофобласта и маточном эпителии. Гипертрофированные капилляры в материнских септах. 3. Взаимное переплетение ворсинок хориона с материнскими септами)
Figure 1 – Longitudinal section of the sheep placentome. Total magnification 100 (1. Allantoic membrane with a branched vascular network. 2. The presence of numerous outgrowths on trophoblast cells and uterine epithelium. Hypertrophied capillaries in maternal septa. 3. Mutual interweaving of chorionic villi with maternal septa)



1 – Трихромная окраска по
Masson Коллагеновые волокна
в стромальной части ворсин /
1 – Trichromatic staining according
to Masson Collagen fibers in the
stromal part of the villi



2 – Комбинированная окраска
альциановым синим и
ШИК-реакция по Мак-Манусу.
Докраска гематоксилином
Майера / 2 – Combined staining
with alcian blue and CHIC
reaction according to McManus.
Staining with Mayr's hematoxylin



3 – Окраска
гематоксилин-эозином /
3 – Staining with
hematoxylin-eosin

Рисунок 2 – Поперечный срез овечьего плацентома. Общее увеличение: 400

(1. Гранулы пигмента утероферрина окрашены в ярко-малиновые цвета тяжи темно-розового цвета. 2. Наличие в основании ворсин геморрагий и присутствие бурого пигмента в цитоплазме клеток ареолярной трофэктодермы. 3. Наличие двуядерных клеток трофобласта, которые локализованы в непосредственной близости от эпителия карункулярных стенок)

Figure 2 – Transverse section of the sheep placentome. Total Magnification: 400

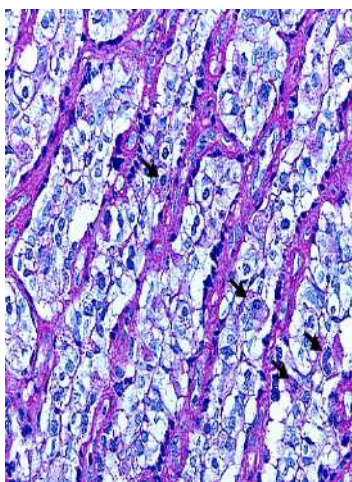
(1. Uteroferrin pigment granules are colored bright crimson, strands of dark pink color. 2. The presence of hemorrhages at the base of the villi and the presence of brown pigment in the cytoplasm of the areolar trophoctoderm cells. 3 The presence of binucleated trophoblast cells, which are localized in the immediate vicinity of the epithelium of the caruncular walls)

В прикорневой зоне ворсинок наблюдались специализированные углубления – ареолы, в которых были выявлены субхориальные гематомы. Клетки ареолярной трофэктодермы, представленные высокими столбчатыми трофобластами, характеризовались наличием в цитоплазме обильных включений бурого пигмента – утероферрина. При проведении гистохимической реакции с двойным окрашиванием на гликозаминогликаны данный пигмент проявлялся интенсивным малиновым окрашиванием, что иллюстрирует рисунок 2.

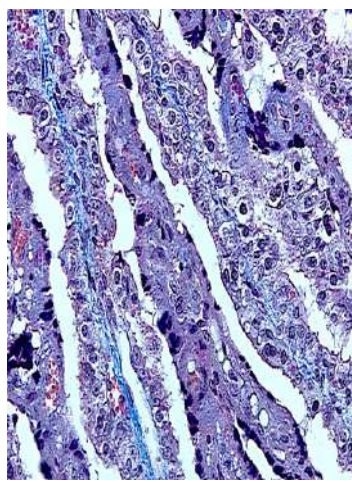
Складки хориона образовывали разветвленные ворсинчатые выступы (хориоаллантоисные ворсинки), которые соединялись с карункулярной стенкой, образуя перегородки.

Карункулярные перегородки образовывали разветвленные выступы, которые, разрастаясь в обратном направлении, создавали сложную сеть плодовых ворсинок, заключенных внутри материнских крипт. Характерной особенностью плаценты овец, являлось наличие большого количества двуядерных клеток трофобласта, интенсивно окрашивающихся ШИК-методом в модификации Мак-Мануса.

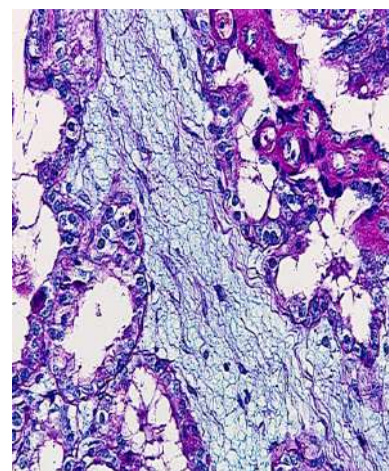
Большая часть трофобласта представлена кубическими клетками со светлым ядром и обедненной цитоплазмой. Считается, что их основная задача – обмен питательными веществами между плодом и материнским организмом, рисунок 3.



1 – Комбинированная окраска альциановым синим и ШИК-реакция по Мак-Манусу. Докраска гематоксилином Майера / 1 – Combined staining with alcian blue and CHIC reaction according to McManus. Staining with Mayr's hematoxylin



2 – Трихромная окраска по Masson / 2 – Trichrome coloring according to Masson



3 – Комбинированная окраска альциановым синим и ШИК-реакция по Мак-Манусу. Докраска гематоксилином Майера / 3 – Combined staining with alcian blue and CHIC reaction according to McManus. Staining with Mayr's hematoxylin

Рисунок 3 – Продольный срез овечьего плацентома. Общее увеличение 400

- (1 – ШИК-позитивные двуядерные клетки трофобласта, синтезирующие лактоген и прогестерон, показано стрелками. Основная масса трофобласта – это клетки с обедненной цитоплазмой.
2 – Коллагеновые волокна в стромальной части ворсин и отсутствие коллагенового каркаса в материнских септах. Стромальная часть аллантоисной оболочки представлена коллагеновым каркасом
3 – Кислые гликозамингликаны в строме отекающей ворсины, связанной с предродовой трансформацией плаценты)

Figure 3 – Longitudinal section of the sheep placentome. Total magnification 400

- (1 – CHIC-positive binucleated trophoblast cells synthesizing lactogen and progesterone are shown by arrows. The bulk of the trophoblast is cells with depleted cytoplasm. 2 – Collagen fibers in the stromal part of the villi and the absence of a collagen framework in the maternal septa. The stromal part of the allantoic membrane is represented by a collagen framework. 3 – Acidic glycosamine glycans in the stroma of the swollen villi associated with prenatal transformation of the placenta)

Поверхность материнских крипт была образована эпителием синцитиального типа, который формировал сплошной, лишенный четких клеточных границ пласт, часто содержащий множественные ядра. Поверхность мембран трофобластных клеток и эпителия маточных крипт была густо усеяна многочисленными микроворсинками, которые, переплетаясь между собой, формировали сложную сеть, существенно увеличивающую площадь контакта между организмами матери и плода.

В субэпителиальной зоне карункулярных стенок регистрировали многочисленные материнские капилляры, эндотелиальные стенки которых были заметно гипертрофированы, рисунок 4. На представленном продольном срезе овечьего плацента при общем увеличении в 400 раз, окрашенном по методу Ван-Гизона, визуализируется ряд патологических изменений. Среди них отмечаются отёк тела и эпителия ворсин, активация фиброза с разрастанием и коллагенизацией соединительной ткани, а также миграция полиморфно-ядерных лейкоцитов. Со стороны сосудистого русла наблюдается тромбообразование в просвете вен и выход гемосидерина. Эпителий ворсин хориона демонстрирует признаки вакуольной дистрофии и формирует конгломераты спущенных клеток.

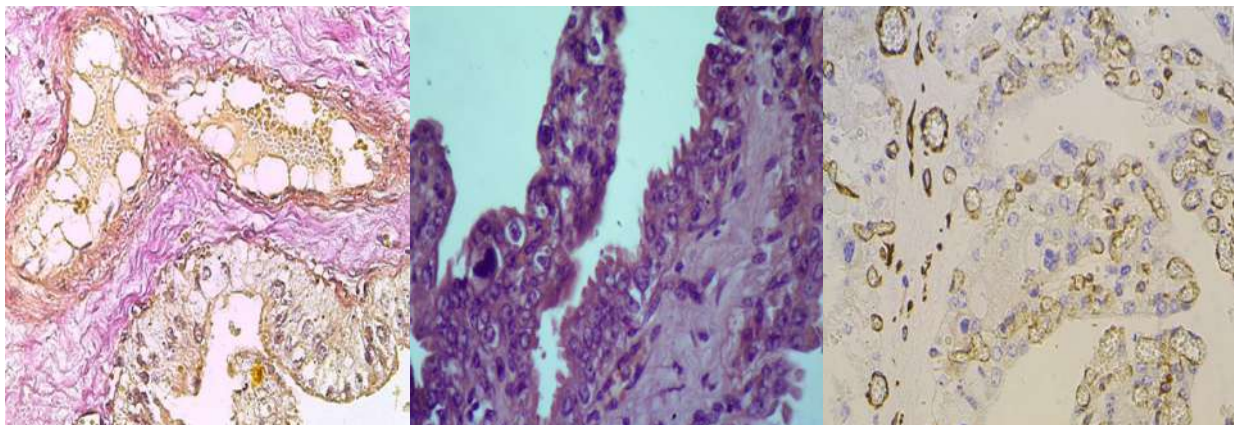


Рисунок 4 – Продольный срез овечьего плацента
Figure 4 – Longitudinal section of the sheep placenta

На последних сроках суягности при проявлении симптомов типичной эклампсии, в просвете капилляров содержались многочисленные эритроциты и нейтрофилы. В стромальной части карункулярных перегородок коллагеновый каркас был слабо выражен. Анализ содержания гликозамингликанов в плаценте овцематок, страдающих эклампсией, показал следующее распределение: ШИК-позитивные компоненты, представленные нейтральными гликозамингликанами, формировали межуточное вещество как в маточных криптах, так и в строме ворсин. В то же время, кислые гликозамингликаны обнаруживались исключительно в зонах отека и набухания отдельных ворсин, что свидетельствует о патологической трансформации плацентарных структур.

Обсуждение. Клеточный матрикс служит фундаментальным элементом плаценты, обеспечивая адгезию трофобласта к эндометрию. Этот процесс запускает клеточную дифференцировку, одновременно выполняя роль депо для факторов роста. Данные механизмы, являющиеся физиологической нормой, убедительно демонстрируются методами гистохимического анализа плацентарных структур.

При анализе структурных компонентов клеточного матрикса плацента у овцематок на последних сроках гестации при осложнении суягности эклампсией было обнаружено, что соединительнотканная основа ворсин овечьего плода была представлена тяжами коллагеновых волокон, берущих свое начало от хориоаллантаоисной мембраны. Взаимодействие трофобласта с эндометрием играет решающую роль в процессах развития плаценты у жвачных животных [13]. Прикрепление эпителия матки к клеткам трофобласта, носит эпителиальный характер, требует перехода от эпителия к мезенхиме, когда трофобласты плода вступают в контакт с материнскими эпителиальными клетками, не проникая полностью в материнские ткани [14]. Понимание процессов эмбрионального морфогенеза у жвачных животных в ранний период развития имеет основополагающее значение для повышения фертильности за счёт предотвращения прерывания беременности на ранних сроках и улучшения общей репродуктивной эффективности животноводства [15]. Недавние исследования показали, что метаболизм мезенхимальных стромальных клеток играет решающую роль в иммуномодуляции, обеспечивая не только энергию и строительные блоки для синтеза макромолекул, но и участвуя в регуляции сигнальных путей [16]. В период имплантации в плаценте овцы образуются многоядерные синцитии. На протяжении более 20 лет учёные [17], были единодушны во мнении, что во время синцитиализации тро-

фобласта у овец двуядерные гигантские клетки трофобласта дифференцируются из моноядерных клеток трофобласта и сливаются с клетками просветного эпителия эндометрия, образуя трёхуровневые клетки.

Заключение. Проведенное гистологическое изучение данной овечьей плаценты позволило установить нарушения маточно-плацентарного кровообращения в виде массивных кровоизлияний и ишемических инфарктов плаценты, а также склероз стромы или фибриноидной альтерации ворсин хориона. Согласно полученным нами данным, овечья плацента на последних сроках гестации относится к синэпителиохориоаллантоисному типу, т.е. хорион плода непосредственно контактирует с эпителием матки, поскольку при эклампсии происходит процесс ремоделирования маточной части плаценты и связано это с изменением морфоструктуры ворсин хориоаллантоиса в котиледонах. Выводы из этого исследования показывают активацию металлопептидаз, цитокератинов и филаментов и, очевидно, иммуносупрессия была достоверно обнаружена в течение 24 ч. Для адекватного развития беременности критически важна достаточная сбалансированность ферментов и их противодействий. Избыточная работа металлопротеиназ способствует разрушению внеклеточного матрикса, что может привести к неконтролируемому отделению плаценты и инициировать досрочный процесс родов. Когда наблюдается пониженная экспрессия данных ферментов, это связано с недостающим уровнем внедрения трофобласта, что влечет за собой дисфункцию обмена веществ между матерью и плодом и формирование состояния эклампсии. Обнаружение высвобождения MMPs и цитокератинов в плаценте методом быстрого ИФА является надежным и чувствительным анализом для иммуномодуляции клеточных структур в овечьей плаценте, особенно для предиктивной диагностики репродуктивной патологии и заболеваемости новорожденных ягнят.

Conclusion. The histological examination of this sheep placenta made it possible to establish violations of uteroplacental circulation in the form of massive hemorrhages and ischemic placental infarcts, as well as sclerosis of the stroma or fibrinoid alteration of chorionic villi. According to our data, the sheep placenta in the last stages of gestation belongs to the synepitheliochorioallantosis type, i.e. The fetal chorion is in direct contact with the uterine epithelium, since eclampsia causes the process of remodeling of the uterine part of the placenta and this is due to a change in the morphostructure of chorioallantois villi in the cotyledons. The findings from this study show activation of metalloproteinases, cytokeratins, and filaments, and apparently immunosuppression was reliably detected within 24 hours. A sufficient balance of enzymes and their counteractions is critically important for the adequate development of pregnancy. Excessive metalloproteinase activity contributes to the destruction of the extracellular matrix, which can lead to uncontrolled separation of the placenta and initiate early labor. When there is a decreased expression of these enzymes, this is due to a missing level of trophoblast implantation, which leads to metabolic dysfunction between mother and fetus and the formation of eclampsia. Detection of the release of MMPs and cytokeratins in the placenta by rapid ELISA is a reliable and sensitive assay for immunomodulation of cellular structures in sheep placenta, especially for predictive diagnosis of reproductive pathology and morbidity of newborn lambs.

Библиографический список

1. Johnson G. A., Pohler Ky. G. et al. Understanding placentation in ruminants: a review focusing on cows and sheep. *Reprod Fertil Dev.* 2023. No 36 (2). Pp. 93-111.
2. Li H., Dai H., Li J. Immunomodulatory properties of mesenchymal stromal/stemcells: The link with metabolism. *J Adv Res.* 2023. No 45. Pp. 15-29.
3. Johnson G. A. et al. Understanding placentation in ruminants: a review focusing on cows and sheep. *Reprod Fertil Dev.* 2023. No 36 (2). Pp. 93-111.
4. Tavares Farias S. F. S., Barbosa H. T. S., Xavier Júnior F. A. F., Monteiro Evangelista J. S. A., Machado da Silva L. D. Macro and microscopic characteristics of the placenta and its relationship with the weight and the Apgar score of canine neonates. *Theriogenology.* 2023. No 202. Pp. 21-27.
5. Castro C., Diessler M., Barbeito C., Merks C. Caracterización del vascular y estudio de la angiogenesis en la placenta de la gata. *Investigación Joven.* 2020. No 7 (2). Pp. 453-454. <https://revistas.unlp.edu.ar/InvJov/article/view/11624>
6. Sarli G., Castagnetti C., Bianco C., Ballotta G., Tura G., Caporaletti M., Zambelli D. Canine placenta histological findings and microvascular density: the histological basis of a negative neonatal outcome? *Animals.* 2021. No 11 (5). 1418.
7. Limmanont C., Ponglowhapan S., Tienthai P., Lertwatcharasarakul P., Sathaphonkunlathat T., Sirinarumit K. Proliferation and apoptosis studies of interplacental areas after aglepristone treatment for planned cesarean section in pregnant bitches. *Vet World.* 2024. No 17 (5). Pp. 956-962.
8. Davenport K. M., Ortega M. S., Johnson G. A., Seo H., Spencer T. E. Review: Implantation and placentation in ruminants *Animal. Theriogenology,* 2023. No 1. Pp. 783-796.
9. Seo H., Bazer F. W., Burghardt R. C., Johnson G. A. Immunohistochemical Examination of Trophoblast Syncytialization during Early Placentation in Sheep. *Int J Mol Sci.* 2019. V. 13. No 20 (18). 4530.
10. Gomes M. T. et al. Phosphatidylserine externalization by apoptotic cells is dispensable for specific recognition leading to innate apoptotic immune responses. *J Biol Chem.* 2022. No 298 (7). 102034.

11. Galderisi U., Peluso G., Di Bernardo G. Clinical trials based on mesenchymalstromal cells are exponentially increasing: where are we in recent years? *Stem Cell Rev Rep.* 2022. No 18 (1). Pp. 23-36.
12. Микроскопическая техника: руководство. М.: Медицина, 1996. 544 с.
13. Valencia J. et al. Improving the therapeutic profile of MSCs: Cytokine priming reduces donor-dependent heterogeneity and enhances their immunomodulatory capacity. *Front Immunol.* 2025. No 16. 1473788.
14. Mebarki M., Moine-Picard C., Enjaume-Rauch R., Laurent-Puig A., Suissa A., Feyants V., Larghero J., Cras A. Pooling umbilical cord-mesenchymal stromal cells derived from selected multiple donors reduces donor-dependent variability and improves their immunomodulatory properties. *Stem Cell Res Ther.* 2025. No 16 (1). 252.
15. Seo H., Baser F. W., Johnson G. A. Revision of early syncytialization of placenta in sheep. The results of vary. *Probl Cell.* 2024. No 71. Pp. 127-142.
16. Bazer F. W., Johnson G. A. Early Embryonic Development in Agriculturally Important Species. *Animals (Basel).* 2024. No 14 (13). 1882.
17. Hussein A. R. M., Hameed M. S., Jalil W. I., Al-Ezzy A. I. A. Evaluation of factors affecting the physiological levels of copper and iron in sheep and cattle in some areas of Diyala Governorate, Iraq. *Open Vet J.* 2025. No 15 (1). Pp. 261-269.

References

1. Johnson G. A., Pohler Ky. G. et al. Understanding placentation in ruminants: a review focusing on cows and sheep. *Reprod Fertil Dev.* 2023. No 36 (2). Pp. 93-111.
2. Li H., Dai H., Li J. Immunomodulatory properties of mesenchymal stromal/stemcells: The link with metabolism. *J Adv Res.* 2023. No 45. Pp. 15-29.
3. Johnson G. A. et al. Understanding placentation in ruminants: a review focusing on cows and sheep. *Reprod Fertil Dev.* 2023. No 36 (2). Pp. 93-111.
4. Tavares Farias S. F. S., Barbosa H. T. S., Xavier Júnior F. A. F., Monteiro Evangelista J. S. A., Machado da Silva L. D. Macro and microscopic characteristics of the placenta and its relationship with the weight and the Apgar score of canine neonates. *Theriogenology.* 2023. No 202. Pp. 21-27.
5. Castro C., Diessler M., Barbeito C., Merkis C. Caracterización del vascular y estudio de la angiogenesis en la placenta de la gata. *Investigación Joven.* 2020. No 7 (2). Pp. 453-454. <https://revistas.unlp.edu.ar/InvJov/article/view/11624>
6. Sarli G., Castagnetti C., Bianco C., Ballotta G., Tura G., Caporaletti M., Zambelli D. Canine placenta histological findings and microvascular density: the histological basis of a negative neonatal outcome? *Animals.* 2021. No 11 (5). 1418.
7. Limmanont C., Ponglowhapan S., Tienthai P., Lertwatcharasarakul P., Sathaphonkunlathat T., Sirinarumitr K. Proliferation and apoptosis studies of interplacental areas after aglepristone treatment for planned cesarean section in pregnant bitches. *Vet World.* 2024. No 17 (5). Pp. 956-962.
8. Davenport K. M., Ortega M. S., Johnson G. A., Seo H., Spencer T. E. Review: Implantation and placentation in ruminants *Animal. Theriogenology.* 2023. No 1. Pp. 783-796.
9. Seo H., Bazer F. W., Burghardt R. C., Johnson G. A. Immunohistochemical Examination of Trophoblast Syncytialization during Early Placentation in Sheep. *Int J Mol Sci.* 2019. No 20 (18). 4530.
10. Gomes M. T. et al. Phosphatidylserine externalization by apoptotic cells is dispensable for specific recognition leading to innate apoptotic immune responses. *J Biol Chem.* 2022. No 298 (7). 102034.
11. Galderisi U., Peluso G., Di Bernardo G. Clinical trials based on mesenchymalstromal cells are exponentially increasing: where are we in recent years? *Stem Cell Rev Rep.* 2022. No 18 (1). Pp. 23-36.
12. Microscopic Technique: A Guide. Moscow: Meditsina Publ., 1996. 544 p.
13. Valencia J. et al. Improving the therapeutic profile of MSCs: Cytokine priming reduces donor-dependent heterogeneity and enhances their immunomodulatory capacity. *Front Immunol.* 2025. No 16. 1473788.
14. Mebarki M., Moine-Picard C., Enjaume-Rauch R., Laurent-Puig A., Suissa A., Feyants V., Larghero J., Cras A. Pooling umbilical cord-mesenchymal stromal cells derived from selected multiple donors reduces donor-dependent variability and improves their immunomodulatory properties. *Stem Cell Res Ther.* 2025. No 16 (1). 252.
15. Seo H., Baser F. W., Johnson G. A. Revision of early syncytialization of placenta in sheep. The results of vary. *Probl Cell.* 2024. No 71. Pp. 127-142.
16. Bazer F. W., Johnson G. A. Early Embryonic Development in Agriculturally Important Species. *Animals (Basel).* 2024. No 14 (13). 1882.
17. Hussein A. R. M., Hameed M. S., Jalil W. I., Al-Ezzy A. I. A. Evaluation of factors affecting the physiological levels of copper and iron in sheep and cattle in some areas of Diyala Governorate, Iraq. *Open Vet J.* 2025. No 15 (1). Pp. 261-269.

Информация об авторах

Булатов Ринат Нигметович, кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26).

Племяшов Кирилл Владимирович, доктор ветеринарных наук, член-корреспондент РАН, профессор, заведующий кафедрой, ректор, Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины (Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Черниговская, 5).

Шкрыгунов Константин Игоревич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26).

Authors' Information

Bulatov Rinat Nigmatovich, Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26).

Plemyashov Kirill Vladimirovich, Doctor of Veterinary Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor, Head of the Department, Rector, St. Petersburg State University of Veterinary Medicine (Russian Federation, St. Petersburg, Chernigovskaya St., 5).

Shkrygunov Konstantin Igorevich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26).

THE DYNAMICS OF BREEDING VOLGOGRADSKAYA SHEEP

¹Grigoryan L. N., ²Zlepkin V. A., ¹Ravicheva A. V., ¹Stepanova N. G.,
¹Khmelevskaya G. N., ¹Ponomarev V. V.

¹All-Russian Scientific Research Institute of Breeding
Pushkino, Moscow region, Russian Federation

²Volgograd State Agricultural University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: import@vniiplem.ru

Received 13.08.2025

Submitted 07.11.2025

*The research was conducted within the framework of the state assignment No. 082-00240-25-00.
Reg. No. NIOKTR 125052106292-7. FSBSI VNIIPlem.*

Abstract

Introduction. Sheep farming is an important branch of the agro-industrial complex of Russia. In agricultural organizations, a significant part of sheep (57.9 % of the number of animals in this category of farms) is represented by fine-wool breeds of different productivity directions, among which the Volgograd breed currently ranks third in terms of the number of animals. Specific gravity of the Volgograd breed among fine-wool breeds has increased by 3.4 % compared to 2000 (from 3.7 to 7.1 %). Since the Volgograd breed of sheep currently occupies a leading place among fine-wool breeds, it became necessary to analyze the trends in its breeding in our country. **Object.** Volgograd breed sheep of various age and sex groups. **Material and methods.** The research was carried out using an analytical method. An analysis was made of yearbooks on breeding work in sheep and goat breeding in farms of the Russian Federation for 2000, 2010, 2015, 2020, 2023 and 2024 (by the number of sheep, the yield of washed wool, the yield of lambs at weaning and the sale of breeding young animals per 100 ewes in breeding farms, as well as by indicators of economically useful traits of sheep in different age periods). **Results.** The number of Volgograd sheep in agricultural organizations as of December 31, 2024 was 109.1 thousand heads. Compared to 2000, this figure has decreased by 19.1 % with a general decrease in the number of fine-wool sheep by 2.3 times. The number of breeding Volgograd sheep over the analyzed period increased by 2.1 times, including ewes – by 2.8 times. Breeding Volgograd sheep were characterized by fairly high productivity rates in different years: at the age of 12 months, the live weight of rams was 60-68 kg, ewes – 39-45 kg; wool yield – 2.6-4.3 kg and 1.8-2.4 kg, respectively. The live weight of stud rams was 96-103 kg, ewes – 55-58 kg; washed wool yield – 5.5-6.3 kg and 2.0-2.7 kg. The average live weight of rams at weaning from ewes was within the range from 28.5 to 30.4 kg, ewes – from 27.4 to 29.9 kg. In general, Volgograd breed sheep in breeding farms during the observed period met the requirements imposed on them by regulatory acts.

Keywords: sheep breeding, sheep breeds, Volgograd sheep breed, fine-fleeced sheep breeds, breeding of Volgogradskaya sheep.

Citation. Grigoryan L. N., Zlepkin V. A., Ravicheva A. V., Stepanova N. G., Khmelevskaya G. N., Ponomarev V. V. The dynamics of breeding Volgogradskaya sheep. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 392-402 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-44.

Authors' contribution. All authors participated in the preparation, conduct of the study and analysis of its results. The presented version of the article has been agreed upon by all authors.

Conflict of interest. All authors declared no conflicts of interest.

УДК 636.32/38.082

ДИНАМИКА РАЗВЕДЕНИЯ ОВЕЦ ВОЛГОГРАДСКОЙ ПОРОДЫ

¹Григорян Л. Н., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

²Злепкин В. А., доктор сельскохозяйственных наук, доцент

¹Равичева А. В., научный сотрудник

¹Степанова Н. Г., научный сотрудник

¹Хмелевская Г. Н., кандидат сельскохозяйственных наук

¹Пономарев В. В., кандидат сельскохозяйственных наук

¹ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела»

г. Пушкино, Московская область, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

*Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания № 082-00240-25-00.
Рег. № НИОКТР 125052106292-7. ФГБУ ВНИИПлем.*

Актуальность. Овцеводство – важная отрасль агропромышленного комплекса России. В сельскохозяйственных организациях значительная часть овец (57,9 % от численности животных в этой категории хозяйств) представлена тонкорунными породами разного направления продуктивно-

сти, среди которых по численности животных волгоградская порода в настоящее время занимает третье место. Удельный вес волгоградской породы среди тонкорунных пород по сравнению с 2000 годом увеличился на 3,4 % (с 3,7 до 7,1 %). Так как волгоградская порода овец в настоящее время занимает ведущее место среди тонкорунных пород, возникла необходимость анализа тенденций ее разведения на территории нашей страны. **Объект.** Овцы волгоградской породы различных половозрастных групп. **Материал и методы.** Исследования выполнены аналитическим методом. Проведен анализ ежегодников по племенной работе в овцеводстве и козоводстве в хозяйствах Российской Федерации за 2000, 2010, 2015, 2020, 2023 и 2024 гг. (по численности овец, настригу мытой шерсти, выходу ягнят к отъему и реализации племенного молодняка в расчете на 100 маток в племенных хозяйствах, а также по показателям хозяйственно-полезных признаков овец в различные возрастные периоды). **Результаты.** Численность овец волгоградской породы в сельскохозяйственных организациях по состоянию на 31.12.2024 г. равнялась 109,1 тыс. гол. По сравнению с 2000 г. этот показатель уменьшился на 19,1 % при общем сокращении численности тонкорунных овец в 2,3 раза. Численность племенных овец волгоградской породы за анализируемый период увеличилась в 2,1 раза, в том числе маток – в 2,8 раза. Племенные овцы волгоградской породы характеризовались достаточно высокими показателями продуктивности в различные годы: в возрасте 12 мес. живая масса баранов составила 60-68 кг, ярок – 39-45 кг; настриг шерсти – 2,6-4,3 кг и 1,8-2,4 кг, соответственно. Живая масса баранов-производителей равнялась 96-103 кг, маток – 55-58 кг; настриг мытой шерсти – 5,5-6,3 кг и 2,0-2,7 кг. Средняя живая масса баранчиков при отъеме от маток находилась в пределах от 28,5 до 30,4 кг, ярок – от 27,4 до 29,9 кг. В целом овцы волгоградской породы в племенных хозяйствах на протяжении наблюдаемого периода соответствовали требованиям, предъявляемым к ним нормативными актами.

Ключевые слова: овцеводство, породы овец, волгоградская порода овец, тонкорунные породы овец, разведение волгоградской породы овец.

Цитирование. Григорян Л. Н., Злепкин В. А., Равичева А. В., Степанова Н. Г., Хмелевская Г. Н., Пономарев В. В. Динамика разведения овец волгоградской породы. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 392-402. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-44.

Авторский вклад. Все авторы принимали участие в подготовке, проведении исследования и анализе его результатов. Представленный вариант статьи согласован со всеми авторами.

Конфликт интересов. Все авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Овцеводство – важная отрасль агропромышленного комплекса России. В сельскохозяйственных организациях до настоящего времени значительная часть овец (57,9 % от численности овец в этой категории хозяйств) представлена тонкорунными породами разного направления продуктивности, среди которых волгоградская порода является третьей по численности от общего поголовья тонкорунных овец и второй по этому показателю среди овец мясо-шерстных пород.

На ведущее положение волгоградской породы среди тонкорунных пород овец мясо-шерстного направления продуктивности указывали Филатов А. С. и др. [1].

В последние годы численность овец волгоградской породы в сельскохозяйственных организациях стабилизировалась, а ее доля от общего поголовья тонкорунных овец в этой категории хозяйств постоянно увеличивается за счет сокращения поголовья тонкорунных овец шерстного и шерстно-мясного направлений продуктивности. Это дает основание предположить, что в перспективе возможно дальнейшее увеличение поголовья овец волгоградской породы и расширение зоны ее разведения.

Волгоградская порода тонкорунных овец мясо-шерстного направления продуктивности создана (1932-1978 гг.) путем сложного воспроизводительного скрещивания грубошерстных курдючных маток с тонкорунными баранами породы прекос (тип суассонэ), в дальнейшем для повышения настрига и качества шерсти – с баранами кавказской и грозненской пород с последующим отбором и разведением «в себе» животных желательного типа. Работа по выведению породы проводилась на базе совхоза «Ромашковский» Волгоградской области. Авторами волгоградской породы являются: Антоненко В. Т., Камнев В. Н., Коцаренко Н. В., Пригарин П. И., Селиверстов В. Д., Трофимов Н. В., Цырендондоков Н. Д., Чубенко Н. С. [2]. Овцы волгоградской породы обладают высокими показателями мясной и шерстной продуктивности, воспроизводительных качеств, устойчивостью к заболеваниям и приспособленностью к разведению в суровых природно-климатических условиях Заволжья Волгоградской области. Матки имеют высокую плодовитость и молочность.

Многие ученые [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8] посвятили свои работы совершенствованию хозяйственно-полезных и селекционных признаков волгоградской породы, изучению ее состояния и перспектив развития в Волгоградской области.

Целью наших исследований являлся анализ разведения овец волгоградской породы и ее племенных ресурсов в регионах Российской Федерации за период 2000-2024 гг.

Материал и методы исследований. Исследования выполнены аналитическим методом. Проведен анализ ежегодников по племенной работе в овцеводстве и козоводстве в хозяйствах Российской Федерации за 2000 [9], 2010 [10], 2015 [11], 2020 [12], 2023 [13] и 2024 [14] гг. (по численности овец, настригу мытой шерсти, выходу ягнят к отъему и реализации племенного молодняка от 100 маток в племенных хозяйствах; по показателям хозяйственно-полезных признаков овец в различные возрастные периоды), подготовленных и изданных ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела» на основании сбора, обработки и анализа отчетов племенных хозяйств о результатах бонитировки племенных овец.

Живая масса ягнят при отъеме от маток изучена на основании свода, обработки и анализа данных, представленных в материалах отчетов о результатах бонитировки овец за период 2010-2024 гг. Среднесуточный прирост живой массы ягнят получен расчетным путем, при котором принята средняя живая масса при рождении: баранчиков – 3,5 кг, ярок – 3,2 кг.

Результаты и обсуждение. Общая численность овец волгоградской породы в сельскохозяйственных организациях по состоянию на 31.12.2024 г. равнялась 109,1 тыс. гол. или 7,1 % от общего количества тонкорунных овец, разводимых в стране (таблица 1).

В настоящее время овцы волгоградской породы разводятся в сельскохозяйственных организациях 4 регионов Российской Федерации. Основное поголовье овец данной породы сосредоточено в сельскохозяйственных организациях Волгоградской области (70,4 тыс. гол. или 64,5 % от общего поголовья овец данной породы и 80,8 % от численности овец в сельскохозяйственных организациях области).

Таблица 1 – Численность овец волгоградской породы в сельскохозяйственных организациях регионов (на конец года), тыс. гол.

Table 1 – Number of Volgograd breed sheep in agricultural organizations of the Regions (at the end of the year), thousand heads

Регионы / Regions	Ед. измер. / Unit	Годы / Years					
		2000 [9]	2010 [10]	2015 [11]	2020 [12]	2023 [13]	2024 [14]
Российская Федерация / Russian Federation	тыс. гол. / thousands of cattle	134,8	123,6	106,3	111,9	108,1	109,1
	%*	3,7	4,8	4,5	6,7	6,4	7,1
Центральный ФО / The Central Federal District	тыс. гол. / thousands of cattle	-	2,1	5,7	5,5	4,5	-
	%*	-	17,9	74,0	52,9	77,6	-
Южный ФО / Southern Federal District	тыс. гол. / thousands of cattle	134,8	99,7	95,0	96,3	93,4	93,9
	%*	14,2	14,7	16,2	24,4	29,7	31,8
Волгоградская обл. / Volgograd region	тыс. гол. / thousands of cattle	134,8	95,4	95,0	91,5	78,7	70,4
	%*	72,5	87,1	100	100	100	100
Ростовская обл. / Rostov region	тыс. гол. / thousands of cattle	-	-	-	4,8	14,7	23,5
	%*	-	-	-	11,3	22,3	34,9
Приволжский ФО / Volga Federal District	тыс. гол. / thousands of cattle	-	21,8	5,6	8,9	10,2	15,2
	%*	-	20,0	16,6	34,8	66,2	66,1
Республика Башкортостан / Republic of Bashkortostan	тыс. гол. / thousands of cattle	-	-	5,6	8,9	9,0	12,6
	%*	-	-	47,1	88,1	88,2	91,3

*удельный вес волгоградской породы от численности тонкорунных овец в сельскохозяйственных организациях (страны, округа, региона), %.

*the share of the Volgograd breed in the number of fine-fleeced sheep in agricultural organizations (country, district, region), %.

В последние два года волгоградская порода овец получила распространение в Ростовской области, где ее численность на конец 2024 года составила 23,5 тыс. гол. (29,3 % от численности тонкорунных овец в регионе). В Республике Башкортостан насчитывалось 12,6 тыс. гол. (91,3 % от поголовья тонкорунных овец в регионе), в Саратовской области – 2,4 тыс. овец (26,7 %, соответственно).

За анализируемый период (2000-2024 гг.) в сельскохозяйственных организациях численность овец волгоградской породы уменьшилась на 19,1 % (при сокращении поголовья тонкорунных овец в этой категории хозяйств в 2,3 раза), в сельскохозяйственных организациях Волгоградской области – на 47,8 %. Удельный вес овец волгоградской породы от общего поголовья тонкорунных овец в стране увеличился на 3,4 % (с 3,7 до 7,1 %), в Волгоградской области – на 27,5 % (с 72,5 до 100 %), ее зона разведения расширилась с 1 до 4 регионов.

Племенная база овец волгоградской породы по состоянию на 31.12.2024 г. представлена 6 племенными хозяйствами, в которых насчитывалось 70,9 тыс. овец, из них – 48,2 тыс. маток (таблица 2). В Волгоградской области в 3 племенных заводах поголовье овец составило 43,9 тыс. гол. (61,9 % от численности племенных животных данной породы), маток – 31,2 тыс. гол. (64,7 % от их численности в породе); в 1 племенном репродукторе – 8,3 и 4,8 тыс. гол., соответственно. Доля племенных овец волгоградской породы от их общей численности в регионе составила 74,1 %.

В племенном репродукторе Ростовской области насчитывалось 8,3 тыс. овец (35,3 % от численности овец данной породы в области), в том числе маток – 6,1 тыс. гол., в племенном репродукторе Республики Башкортостан – 10,4 и 6,1 тыс. гол., соответственно.

За двадцатичетырехлетний период произошли изменения в племенной базе по волгоградской породе овец. Численность племенных овец в 2024 году по сравнению с 2000 годом увеличилась в 2,1 раза, в том числе маток – в 2,8 раза. Дополнительно появились 2 региона с племенными репродукторами. Настриг мытой шерсти с 1 овцы (имевшейся на начало года и остриженной) был ниже на 0,2 и 0,1 кг; показатели выхода ягнят к отбивке и их реализации в племенных целях от 100 маток выше на 11 и 15,3 гол., соответственно.

Таблица 2 – Динамика племенной базы овец волгоградской породы

Table 2 – Dynamics of the breeding base of Volgograd sheep

Вид хозяйства, регион / Type of farm, region	Кол-во ПХ / number of breeding farms	Всего овец, тыс. гол. / total sheep, thousand	В т. ч. маток, тыс. гол. / including queens, thousand	Настриг мытой шерсти с 1 гол., кг / Shearing of washed wool from 1 head, kg		Отнято / Lambs taken away	Реали- зовано / Impleme nted
				на начало года / at the begin- ning of the year	остри- женной / shorn wool		
1	2	3	4	5	6	7	
2000 год [9]							
Племзаводы / Breeding plants	2	26302	14102	2,1	2,4	100	1,9
Племрепродукторы / Reproductive plants	1	7284	3264	1,7	2,1	61	-
По породе (в Волгоградской обл.) / By breed (in the Volgograd region)	3	33586	17366	2,0	2,3	92	1,4
2010 год [10]							
Племзаводы / Breeding plants	3	43601	26756	1,8	2,1	98	3,7
Волгоградская обл. / Volgograd region	2	34510	20356	1,9	2,1	106	4,6
Саратовская обл. / Saratov region	1	9091	6400	1,5	1,9	73	0,9
Племрепродукторы / Reproductive plants	3	17398	10650	1,8	2,2	90	5,2

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	1
Р-ка Марий Эл / Republic of Mari El	1	1987	1550	2,7	2,7	96	18,8
Астраханская обл. / Astrakhan region	1	4314	1300	1,6	2,6	103	-
Волгоградская обл. / Volgograd region	1	11097	7800	1,8	2,0	84	5,1
По породе / By breed	6	60999	37406	1,8	2,1	95	5,5
2015 год [11]							
Племзаводы / Breeding plants	3	44076	28908	1,9	2,1	102	16,0
Волгоградская обл. / Volgograd region	3	44076	28908	1,9	2,1	102	16,0
Племотрепродукторы / Reproductive plants	5	23896	16019	1,9	2,1	99	14,7
Р-ка Башкортостан / Republic of Bashkortostan	1	5593	2199	2,4	2,1	99	12,0
Волгоградская обл. / Volgograd region	4	18303	13820	1,8	2,2	99	15,0
По породе / By breed	8	67972	44927	1,9	2,1	101	15,6
2023 год [13]							
Племзаводы / Breeding plants	3	48287	31216	2,5	3,0	123	26,7
Волгоградская обл. / Volgograd region	3	48287	31216	2,5	3,0	123	26,7
Племотрепродукторы / Reproductive plants	3	25957	16394	2,2	2,1	84	8,7
Р-ка Башкортостан / Republic of Bashkortostan	1	8995	5523	1,8	1,7	92	-
Волгоградская обл. / Volgograd region	1	7819	4795	1,8	2,0	84	19,5
Ростовская обл. / Rostov region	1	9143	6076	3,0	3,0	79	7,5
По породе / By breed	6	74244	47610	2,4	2,7	110	20,6
2024 год [14]							
Племзаводы / Breeding plants	3	43858	31216	2,0	2,2	110	20,1
Волгоградская обл. / Volgograd region	3	43858	31216	2,0	2,2	110	20,1
Племотрепродукторы / Reproductive plants	3	27002	17017	1,5	2,0	90	10,0
Р-ка Башкортостан / Republic of Bashkortostan	1	10427	6075	1,5	1,8	95	-
Волгоградская обл. / Volgograd region	1	8289	4795	1,4	1,9	83	15,0
Ростовская обл. / Rostov region	1	8286	6147	1,6	2,3	91	15,2
По породе / By breed	6	70860	48233	1,8	2,2	103	16,7

В племенных хозяйствах выход ягнят к отбивке и реализация молодняка в племенных целях от 100 маток в период 2015-2024 гг. находились на уровне 101-110 гол. и 15,6-20,6 гол., соответственно, что значительно выше требований нормативных актов, предъявляемых к данной категории хозяйств [15]. В анализируемые годы (за исключением 2024 года) средний настриг мытой шерсти с 1 головы, имевшейся на начало года, был выше по сравнению с племенными хозяйствами по всем породам мясо-шерстного направления продуктивности на 5,6-20,0 %; с 1 остриженной овцы – на 5,0-23,8 % (таблица 3). Наиболее высокие настриги мытой шерсти с 1 овцы, имевшейся на начало года и остриженной (2,4 и 2,4 кг, 2,6 и 2,7 кг, соответственно), были в 2020 и 2023 гг.

Таблица 3 – Динамика продуктивности племенных овец
Table 3 – Dynamics of productivity of breeding sheep

Породы / показатели / Breeds/indicators	Годы / Years					
	2000 [9]	2010 [10]	2015 [11]	2020 [12]	2023 [13]	2024 [14]
Настриг мытой шерсти с 1 гол., имевшейся на начало года, кг / Shearing of washed wool from 1 head, available at the beginning of the year, kg						
тонкорунные / fine – fleeced	2,3	2,0	2,1	2,2	2,2	2,1
мясо-шерстные / meat and wool	1,7	1,7	1,8	2,0	2,1	1,9
волгоградская / Volgogradskaya	2,0	1,8	1,9	2,4	2,4	1,8
в том числе в ПЗ* / including *BP	2,1	1,8	1,9	2,7	2,5	2,0
Настриг мытой шерсти с 1 гол., остриженной, кг / Shearing of washed wool from 1 head, shorn, kg						
тонкорунные / fine – fleeced	2,6	2,1	2,3	2,4	2,4	2,3
мясо-шерстные / meat and wool	1,9	1,9	2,0	2,1	2,2	2,1
волгоградская / Volgogradskaya	2,3	2,1	2,1	2,6	2,7	2,2
в том числе в ПЗ* / including *BP	2,4	2,1	2,1	2,7	3,0	2,2
Живая масса ярок/ баранов в 12 мес., кг /						
тонкорунные / fine – fleeced	38/ 58	39/ 57	39/ 51	39/ 51	39/ 52	39/ 52
мясо-шерстные / meat and wool	41/ 63	39/ 51	39/ 48	40/ 50	39/ 51	39/ 52
волгоградская / Volgogradskaya	44/ 62	41/ 60	44/ 59	44/ 68	40/ 58	39/ 59
в том числе в ПЗ* / including *BP	46/ 62	41/ 60	45/ 68	45/ 68	40/ 58	39/ 60
Настриг мытой шерсти с ярок/ баранов в 12 мес., кг / Live weight of young sheep m/f at 12 months, kg						
тонкорунные / fine – fleeced	2,3/ 3,1	2,0/ 3,1	2,1/ 2,5	2,1/ 2,7	2,0/ 2,7	2,0/ 2,7
мясо-шерстные / meat and wool	1,9/ 2,8	1,6/ 2,3	1,7/ 2,0	1,8/ 2,3	1,9/ 2,4	1,8/ 2,4
волгоградская / Volgogradskaya	2,4/ 3,2	1,6/ 3,6	1,9/ 2,6	2,4/ -	2,7/ 3,4	1,8/ 4,3
в том числе в ПЗ* / including *BP	2,4/ 3,2	1,6/ 3,6	2,0/ 2,6	2,5/ -	2,7/ 4,2	1,8/ 4,5
Живая масса маток/баранов, кг / Live weight of queens/rams, kg						
тонкорунные / fine – fleeced	53/ 93	50/ 97	50/ 97	50/ 95	51/ 94	51/ 96
мясо-шерстные / meat and wool	53/ 95	51/ 85	49/ 90	51/ 89	51/ 92	52/ 93
волгоградская / Volgogradskaya	58/ 98	56/ 99	56/ 96	56/ 98	55/ 98	57/ 103
в том числе в ПЗ* / including *BP	59/ 105	56/ 104	56/ 104	57/ 102	57/ 105	57/ 106
Настриг мытой шерсти с маток/баранов, кг / Shearing of washed wool from queens / rams, kg						
тонкорунные / fine – fleeced	2,7/ 5,7	2,4/ 6,0	2,4/ 6,1	2,4/ 6,2	2,4/ 6,1	2,4/ 6,2
мясо-шерстные / meat and wool	1,9/ 4,6	2,0/ 4,3	2,0/ 4,9	2,0/ 5,0	2,2/ 5,7	2,1/ 5,6
волгоградская / Volgogradskaya	1,9/ 4,8	2,1/ 5,5	2,1/ 5,7	2,5/ 5,8	2,7/ 6,3	2,0/ 5,8
в том числе в ПЗ* / including *BP	1,9/ 6,2	2,1/ 6,0	2,0/ 5,8	2,5/ 6,4	3,0/ 6,9	2,1/ 7,4

*ПЗ – племенные заводы

*BP – breeding plants

Средняя живая масса баранов волгоградской породы в возрасте 12 мес. в разные годы находилась в пределах от 59 до 68 кг (требования к данным животным класса элита, разводимым в условиях стойлово-пастбищного содержания – 55 кг и более; круглогодного пастбищного содержания – 50 кг и более), ярок-годовиков – 39-44 кг (требования к животным класса элита – 42 кг и более, 38 кг и более, соответственно; к животным первого класса – 38-41 кг и 34-37 кг) [16].

Настриг мытой шерсти с баранов-годовиков в разные годы равнялся 2,6-3,6 кг, с ярок-годовиков – 1,8-2,7 кг (ниже был только в 2010 году). Требования к баранам класса элита при стойлово-пастбищном содержании – 2,5 кг и более, при пастбищном – 2,3 кг и более; к яркам класса элита – 1,9 кг и более, 1,7 кг и более, соответственно, первого класса – 1,7-1,8 кг и 1,5-1,6 кг. Таким образом, бараны и ярки в годовалом возрасте по живой массе и настригу мытой шерсти не только соответствовали, но и превосходили требования, предъявляемые к животным класса элита нормативными актами.

Бараны-производители как по живой массе, так и по настригу мытой шерсти, во все наблюдаемые годы значительно превышали требования, предъявляемые к животным класса элита нормативными актами. Матки по живой массе соответствовали минимальным требованиям для животных класса элита и превосходили их; по настригу шерсти в 2020 и 2023 гг. соответствовали требованиям, предъявляемым к животным класса элита, в другие годы – требованиям к овцам первого класса.

В большинстве наблюдаемых лет в племенных заводах показатели настрига мытой шерсти и живой массы овец различных половозрастных групп были выше по сравнению с племенными репродукторами.

Таблица 4 – Живая масса ягнят волгоградской породы при отбивке в 4 месяца и ее среднесуточный прирост (скороспелость)

Table 4 – Live weight of Volgograd breed lambs at weaning at 4 months and its average daily gain (earliness)

Вид племенных хозяйств / Type of breeding farms	Баранчики / young sheep/m		Ярки / young sheep/f	
	живая масса, кг / live weight, kg	среднесуточный прирост, г / average daily increase, g	живая масса, кг / live weight, kg	среднесуточный прирост, г / average daily increase, g
2010 год [10]				
Племенные заводы / Breeding plants	28,3	203	27,8	202
Племенные репродукторы / Reproductive plants	29,1	210	26,5	191
Все племенные хозяйства / All breeding farms	28,5	205	27,4	198
2015 год [11]				
Племенные заводы / Breeding plants	31,5	230	31,3	230
Племенные репродукторы / Reproductive plants	28,8	207	27,7	201
Все племенные хозяйства / All breeding farms	30,4	220	29,9	219
2020 год [12]				
Племенные заводы / Breeding plants	30,5	220	28,8	207
Племенные репродукторы / Reproductive plants	25,3	177	22,7	157
Все племенные хозяйства / All breeding farms	29,4	211	27,6	198
2023 год [13]				
Племенные заводы / Breeding plants	30,1	218	29,3	214
Племенные репродукторы / Reproductive plants	26,1	185	24,3	173
Все племенные хозяйства / All breeding farms	29,0	209	28,1	204
2024 год [14]				
Племенные заводы / Breeding plants	31,7	231	30,8	226
Племенные репродукторы / Reproductive plants	25,8	183	23,2	164
Все племенные хозяйства / All breeding farms	29,9	216	28,6	208

Первая оценка ягнят тонкорунных пород проводится при их отъеме от маток в возрасте 4 месяцев. Установлено, что баранчики и ярки в племенных хозяйствах при отъеме от маток обладали высокой живой массой и ее с приростом (таблица 4).

Средняя живая масса баранчиков, выращенных в племенных заводах, составляла в разные годы 28,3-31,7 кг (при требовании для их оценки в 5 баллов при стойлово-пастбищной системе разведения – 28 кг и более, при круглогодичном пастбищном содержании – 25 кг и более). В племенных репродукторах этот показатель находился в пределах от 25,3 кг до 29,1 кг. Средние показатели по племенным хозяйствам по баранчикам равнялись в разные годы 28,5-30,4 кг.

Живая масса ярок в 4-месячном возрасте несколько ниже, чем у баранчиков, но значительной разницы не установлено. Ярки в различные годы при отъеме от маток имели среднюю живую массу в племенных хозяйствах 27,4-29,9 кг, в том числе в племенных заводах – 27,8-31,3 кг, в племенных репродукторах – 22,7-27,7 кг. В племенных заводах в наблюдаемые годы средняя живая масса ярок была выше требований для оценки животных в 5 баллов при стойлово-пастбищном содержании на 11,2-25,2 %. В племенных репродукторах этот показатель был выше в 2010 и 2015 гг., в остальные годы соответствовал требованиям для оценки в 4 балла.

По скороспелости баранчики и ярки в племенных заводах соответствовали требованиям в 5 баллов к животным стойлово-пастбищного содержания. Среднесуточный прирост живой массы баранчиков от рождения до отъема от маток в разные годы составлял 203-231 г., ярки – 202-230 г (при требовании к этому показателю для оценки животного в 5 баллов 200 и 180 г, соответственно), то есть был выше требований (на 1,5-15,5 и 12,2-27,8 %, соответственно). В племенных репродукторах этот показатель был несколько ниже, однако соответствовал требованиям для оценки животных в 5 и 4 балла (за исключением 2020 года).

На высокую скорость роста чистопородного молодняка овец волгоградской породы указывали Н. Д. Цырендондоков и др. [7], И. А. Сазонова [8] и др.

Анализируя состояние волгоградской породы овец в Волгоградской области, Филатов А. С. и др. [3, 4, 5], указывали на высокую мясную и шерстную продуктивность овец волгоградской породы, их хорошую приспособленность к экстремальному климату Заволжья Волгоградской области. Авторы указывали на то, что баранчики и ярки данной породы при отъеме от маток достигают живой массы 40 и 50 %, соответственно, от массы взрослых животных.

На основании сопоставления живой массы ягнят при отъеме с живой массой взрослых животных в племенных хозяйствах установлено, что средняя живая масса баранчиков при отъеме от маток в разные годы составляла от 28,8 до 31,7 % от средней живой массы основных баранов, ярки – от 48,9 до 53,4 % от средней живой массы маток. Ниже процент достижения живой массы от взрослых животных у баранчиков вызван тем, что проведено сопоставление средних показателей всех отнятых баранчиков с показателями взрослых лучших животных (основных баранов).

Лучшее поголовье племенных овец волгоградской породы сосредоточено в племенных заводах: СПК ПЗ «Ромашковский» (численность овец на 31.12.2024 г. составила 17228 гол., в том числе маток – 11430 гол.; настриг мытой шерсти с 1 гол., имевшейся на начало года, составил 2,2 кг, с остриженной – 2,4 кг; от 100 маток отнят 121 ягненок, реализовано в племенных целях – 15,7 гол.), СПК ПЗ «Палласовский» (10151 и 9208 гол., 1,9 и 2,3 кг, 103 и 28,8 гол., соответственно) и СПК «Красный Октябрь» (16479 и 10578 гол., 2,0 и 2,0 кг, 105 и 17,8 гол.).

В целом овцы волгоградской породы в племенных хозяйствах в наблюдаемый период 2000-2024 гг. характеризовались достаточно высокими показателями продуктивности. Закономерных различий по показателям хозяйственно-полезных и селекционируемых признаков в различные годы не выявлено. Некоторое снижение продуктивности в отдельные годы было вызвано неблагоприятными природно-климатическими условиями, которые оказывали отрицательное влияние на кормовую базу овцеводства в племенных хозяйствах.

Заключение. За двадцатичетырехлетний период произошло незначительное уменьшение общей численности овец волгоградской породы в сельскохозяйственных организациях (на 19,4 %) при общем снижении поголовья тонкорунных овец в 2,3 раза. Доля овец волгоградской породы от общего поголовья тонкорунных овец в целом по стране увеличилась на 3,4 % (с 3,7 до 7,1 %), в Волгоградской области – на 27,5 % (с 72,5 до 100 %). Зона разведения мясо-шерстных овец волгоградской породы расширилась с 1 до 4 регионов. Среди тонкорунных пород овец волгоградская порода в настоящее время занимает третье место по численности.

Племенная база овец волгоградской породы по состоянию на 31.12.2024 г. представлена 6 племенными хозяйствами, в которых насчитывалось 70,9 тыс. овец, из них – 48,2 тыс. маток, что по сравнению с 2000 годом выше в 2,1 и 2,8 раза, соответственно. Настриг мытой шерсти с 1 овцы на начало года и остриженной равнялся в разные годы от 1,8 до 2,4 кг и от 2,2 до 2,7 кг, соответственно. В 2024 году настриг мытой шерсти по сравнению с 2000 годом был ниже на 0,2 и 0,1 кг, а показатели выхода ягнят к отбивке и их реализации в племенных целях от 100 маток выше на 11 и 15,3 гол. В племенных хозяйствах наиболее высокие показатели численности овец и их продуктивности были в 2023 году.

В наблюдаемый период баранчики и ярки в годовалом возрасте по живой массе и настригу мытой шерсти не только соответствовали, но и превосходили требования, предъявляемые к животным класса элита нормативными актами; бараны-производители значительно превышали их. Матки по живой массе соответствовали минимальным требованиям для животных класса элита и превосходили их; по настригу шерсти в 2020 и 2023 гг. соответствовали требованиям, предъявляемым к животным класса элита, в другие годы – требованиям к овцам первого класса.

Баранчики и ярки в племенных хозяйствах при отъеме от маток обладали достаточно высокой живой массой и ее среднесуточным приростом. Средняя живая масса баранчиков в этом возрасте составляла в разные годы от 28,8 до 31,7 % от живой массы основных производителей, ярки – от 48,9 до 53,4 % от средней живой массы маток, что свидетельствует о высокой скороспелости молодняка волгоградской породы.

В целом овцы волгоградской породы в племенных хозяйствах на протяжении наблюдаемого периода характеризовались достаточно высокими показателями продуктивности. Закономерных различий по показателям хозяйственно-полезных признаков в различные годы не выявлено. Некоторое снижение продуктивности в отдельные годы было вызвано, прежде всего, неблагоприятными природно-климатическими условиями.

Conclusion. Over a twenty-four-year period, there was a slight decrease in the total number of Volgograd sheep in agricultural organizations (by 19.4 %) with a general decrease in the number of fine-wool sheep by 2.3 times. The share of Volgograd sheep in the total number of fine-wool sheep in the country as a whole increased by 3.4 % (from 3.7 to 7.1 %), in the Volgograd region – by 27.5 % (from 72.5 to 100 %). The breeding zone for meat and wool sheep of the Volgograd breed expanded from 1 to 4 regions. Among the fine-wool sheep breeds, the Volgograd breed currently ranks third in numbers. The breeding base of Volgograd sheep as of 31.12.2024 is represented by 6 breeding farms, which numbered 70.9 thousand sheep, including 48.2 thousand ewes, which is 2.1 and 2.8 times higher than in 2000, respectively. The shearing of washed wool from 1 sheep at the beginning of the year and shorn wool was equal in different years from 1.8 to 2.4 kg and from 2.2 to 2.7 kg, respectively. In 2024, the shearing of washed wool was lower by 0.2 and 0.1 kg compared to 2000, and the indicators of the output of lambs for weaning and their sale for breeding purposes from 100 ewes were higher by 11 and 15.3 heads. In breeding farms, the highest indicators of the number of sheep and their productivity were in 2023. During the observed period, yearling rams and ewes not only met but also exceeded the requirements for elite class animals by regulatory acts in terms of live weight and washed wool yield; stud rams significantly exceeded them. Ewes met and exceeded the minimum requirements for elite class animals in terms of live weight; in terms of wool yield in 2020 and 2023, they met the requirements for elite class animals, and in other years, the requirements for first class sheep.

Rams and ewes on breeding farms had a fairly high live weight and average daily gain when weaned from ewes. The average live weight of rams at this age ranged from 28.8 to 31.7 % of the live weight of the main producers in different years, and ewes from 48.9 to 53.4 % of the average live weight of ewes, which indicates the high precocity of young animals of the Volgograd breed.

In general, Volgograd breed sheep in breeding farms were characterized by fairly high productivity indicators during the observed period. No regular differences in indicators of economically useful traits in different years were revealed. Some decrease in productivity in certain years was caused, first of all, by unfavorable natural and climatic conditions.

Библиографический список

1. Филатов А. С., Чамурлиев Н. Г., Мельников А. Г., Мельникова Е. А. Оценка селекционных признаков овец волгоградской породы в племенных хозяйствах. Аграрно-пищевые инновации. 2020. № 3 (11). С. 34-44.
2. Фейзуллаев Ф. Р., Шайдуллин И. Н., Аноприенко В. Н., Аноприенко С. В., Лепехина Т. В. Волгоградской тонкорунной мясо-шерстной породе овец – 40 лет. Зоотехния. 2018. № 5. С. 31-32.
3. Филатов А. С., Чамурлиев Н. Г., Ковзалов Н. И. Состояние и перспективы развития племенного овцеводства в Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование. 2014. № 2 (34). С. 105-110.
4. Филатов А. С. Современное состояние и инновационные направления развития овцеводства в Волгоградской области. Аграрно-пищевые инновации. 2018. Т. 1. № 1. С. 39-41.
5. Филатов А. С., Сивков А. И., Чамурлиев Н. Г., Аноприенко В. Н. Состояние и перспективы овцеводства в Волгоградской области. Овцы, козы, шерстяное дело. 2017. № 4. С. 10-12.

6. Филатов А. С., Чамурлиев Н. Г., Мельников А. Г., Мельникова Е. А. Племенные и продуктивные качества овец волгоградской породы и их дальнейшее совершенствование. Аграрно-пищевые инновации. 2020. Т. 1. № 9. С. 17-24.
7. Цырендондоков Н. Д., Фейзуллаев Ф. Р. Динамика роста молодняка овец волгоградской породы при чистопородном разведении и скрещивании. Овцы, козы, шерстяное дело. 2001. № 2. С. 25-27.
8. Сазонова И. А. Динамика роста ягнят овец, волгоградской, цыгайской и эдильбаевской пород в зоне Среднего Поволжья. Овцы, козы, шерстяное дело. 2019. № 4. С. 27-28.
9. Данкверт С. А. и др. Ежегодник по племенной работе в овцеводстве и козоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2000 год). М.: изд. ГНУ ВНИИплем, 2001. С. 20-25, 94-99, 169-178, 195-199.
10. Дунин И. М. и др. Ежегодник по племенной работе в овцеводстве и козоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2010 год). М.: изд. ФГНУ ВНИИплем, 2011. С. 17-20, 34-41, 194-196, 213-216, 225-228, 242.
11. Дунин И. М. и др. Ежегодник по племенной работе в овцеводстве и козоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2015 год). М.: изд. ФГБНУ ВНИИплем, 2016. С. 19-22, 36-38, 180-182, 294, 304-313, 318.
12. Тяпугин С. Е. и др. Ежегодник по племенной работе в овцеводстве и козоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2020 год). М.: изд. ФГБНУ ВНИИплем, 2021. С. 18-21, 35-36, 42, 160-162, 167-169, 256-257, 266, 281-282, 299-319.
13. Сафина Г. Ф. и др. Ежегодник по племенной работе в овцеводстве и козоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2023 год). М.: изд. ФГБНУ ВНИИплем. 2024. С. 20-23, 40-41, 47, 166-169, 173-175, 263-266, 274, 287-289, 296.
14. Воскресенский С. Б. и др. Ежегодник по племенной работе в овцеводстве и козоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2024 год). М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2025. С. 15-18, 35-36, 42, 156-159, 163-165, 248-251, 258, 271-273.
15. Требования к видам племенных хозяйств: приказ Минсельхоза России от 2 июня 2022 года № 336. <https://minjust.consultant.ru/special/documents/document/32291?ysclid=lje0h87tt0247413746>
16. Порядок и условия проведения бонитировки племенных овец тонкорунных пород: приложение № 1 к приказу Минсельхоза России от 21 декабря 2022 г. № 860. <https://minjust.consultant.ru/documents/31159?ysclid=liu3z8ewx8395495319>

References

1. Filatov A. S., Chamurliiev N. G., Melnikov A. G., Melnikova E. A. Assessment of breeding characteristics of Volgograd sheep in breeding farms. Agricultural and food innovations. 2020. No 3 (11). Pp. 34-44.
2. Feyzullaev F. R., Shaidullin I. N., Anoprienko V. N., Anoprienko S. V., Lepekhhina T. V. The Volgograd fine-fleeced meat and wool sheep breed is 40 years old. Zootechny. 2018. No 5. Pp. 31-32.
3. Filatov A. S., Chamurliiev N. G., Kovzalov N. I. The state and prospects of development of breeding sheep breeding in the Volgograd region. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: science and higher education. 2014. No 2 (34). Pp. 105-110.
4. Filatov A. S. The current state and innovative directions of sheep breeding development in the Volgograd region. Agricultural and food innovations. 2018. Vol. 1. No 1. Pp. 39-41.
5. Filatov A. S., Sivkov A. I., Chamurliiev N. G., Anoprienko V. N. The state and prospects of sheep breeding in the Volgograd region. Sheep, goats, wool business. 2017. No 4. Pp. 10-12.
6. Filatov A. S., Chamurliiev N. G., Melnikov A. G., Melnikova E. A. Breeding and productive qualities of Volgograd sheep and their further improvement. Agricultural and food innovations. 2020. Vol. 1. No 9. Pp. 17-24.
7. Tsyrendondokov N. D., Feyzullaev F. R. Dynamics of growth of young Volgograd sheep during purebred breeding and crossing. Sheep, goats, wool business. 2001. No 2. Pp. 25-27.
8. Sazonova I. A. Growth dynamics of lambs of Volgograd, Tsigai and Edilbaev sheep breeds in the Middle Volga region. Sheep, goats, wool business. 2019. No 4. Pp. 27-28.
9. Dankvert S. A. et al. Yearbook on breeding work in sheep and goat breeding in farms of the Russian Federation (2000). Moscow: ed. GNU VNIplem, 2001. Pp. 20-25, 94-99, 169-178, 195-199.
10. Dunin I. M. et al. Yearbook on breeding work in sheep and goat breeding in the farms of the Russian Federation (2010). Moscow: Publishing house of the Federal State Budgetary Scientific Institution VNIplem, 2011. Pp. 17-20, 34-41, 194-196, 213-216, 225-228, 242.
11. Dunin I. M. et al. Yearbook on breeding work in sheep and goat breeding in farms of the Russian Federation (2015). Moscow: publishing house of FGBNU VNIplem, 2016. Pp. 19-22, 36-38, 180-182, 294, 304-313, 318.
12. Tyapugin S.E. et al. Yearbook on breeding work in sheep and goat breeding in the farms of the Russian Federation (2020). Moscow: publishing house of FGBNU VNIplem, 2021. Pp. 18-21, 35-36, 42, 160-162, 167-169, 256-257, 266, 281-282, 299-319.
13. Safina G. F. et al. Yearbook on breeding work in sheep and goat breeding in the farms of the Russian Federation (2023). Moscow: publishing house of FGBNU VNIplem. 2024. Pp. 20-23, 40-41, 47, 166-169, 173-175, 263-266, 274, 287-289, 296.
14. Voskresensky S. B. et al. Yearbook on breeding work in sheep and goat breeding in farms of the Russian Federation (2024). Moscow: Rosinform-Grotech, 2025. Pp. 15-18, 35-36, 42, 156-159, 163-165, 248-251, 258, 271-273.
15. Requirements for types of breeding farms: Order of the Ministry of Agriculture of Russia dated June 2, 2022 No. 336. <https://minjust.consultant.ru/special/documents/document/32291?ysclid=lje0h87tt0247413746>
16. The procedure and conditions for bonitizing breeding sheep of fine-fleeced breeds: Appendix No. 1 to Order No. 860 of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated December 21, 2022. <https://minjust.consultant.ru/documents/31159?ysclid=liu3z8ewx8395495319>

Информация об авторах

Григорян Лидия Никифоровна, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела» (Российская Федерация, 141212, Московская область, г. Пушкино, пос. Лесные Поляны, ул. Ленина, 13), ORCID – 0000-0001-9218-3358, e-mail: bonovca@vniiplem.ru

Злепкин Виктор Александрович, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), ORCID – 0000-0002-0804-7634, e-mail: zootexnia@volgau.ru

Равичева Анна Валерьевна, научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела» (Российская Федерация, 141212, Московская область, г. Пушкино, пос. Лесные Поляны, ул. Ленина, 13), ORCID – 0009-0002-1415-4732, e-mail: bonovca@vniiplm.ru

Степанова Надежда Гургеновна, научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела» (Российская Федерация, 141212, Московская область, г. Пушкино, пос. Лесные Поляны, ул. Ленина, 13), ORCID – 0009-0009-7479-4898, e-mail: bonovca@vniiplm.ru

Хмелевская Галина Николаевна, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела» (Российская Федерация, 141212, Московская область, г. Пушкино, пос. Лесные Поляны, ул. Ленина, 13), ORCID – 0009-0007-6581-2703, тел. 515-95-57, e-mail: bonovca@vniiplm.ru

Пономарев Виктор Владимирович, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела» (Российская Федерация, 141212, Московская область, г. Пушкино, пос. Лесные Поляны, ул. Ленина, 13), ORCID – 0009-0009-5078-7546, e-mail: import@vniiplm.ru

Authors' Information

Grigoryan Lidiya Nikiforovna, Senior Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Breeding (Russian Federation, 141212, Moscow region, Pushkino, Lesnye Polyany settlement, Lenin street, 13), ORCID – 0000-0001-9218-3358, e-mail: bonovca@vniiplm.ru

Zlepkin Viktor Aleksandrovich, Head of Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), ORCID – 0000-0002-0804-7634, e-mail: zootexnia@volgau.ru

Ravicheva Anna Valer'evna, Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Breeding (Russian Federation, 141212, Moscow region, Pushkino, Lesnye Polyany settlement, Lenin street, 13), ORCID – 0009-0002-1415-4732, e-mail: bonovca@vniiplm.ru

Stepanova Nadezhda Gurgenovna, Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Breeding (Russian Federation, 141212, Moscow region, Pushkino, Lesnye Polyany settlement, Lenin street, 13), ORCID - 0009-0009-7479-4898, e-mail: bonovca@vniiplm.ru

Hmelevskaya Galina Nikolaevna, Senior Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Breeding (Russian Federation, 141212, Moscow region, Pushkino, Lesnye Polyany settlement, Lenin street, 13), ORCID – 0009-0007-6581-2703, e-mail: bonovca@vniiplm.ru

Ponomarev Viktor Vladimirovich, Senior Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Breeding (Russian Federation, 141212, Moscow region, Pushkino, Lesnye Polyany settlement, Lenin street, 13), ORCID – 0009-0009-5078-7546, e-mail: import@vniiplm.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-45

THE EPIZOOTIC SITUATION OF CHICKEN PARASITOSIS ON THE TERRITORIES OF THE DAGESTAN REPUBLIC

Dagaeva A. B., Makhieva B. M.

*Caspian Zonal Scientific Research Veterinary Institute – the branch of the Federal Agrarian Scientific Center of the Republic of Dagestan
Makhachkala, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: journal1977@mail.ru

Received 17.06.2024

Submitted 12.09.2024

The research was carried out within the framework of the State theme "To develop a comprehensive system for the prevention and control of the most common invasive diseases of farm animals and birds using modern chemotherapeutic and broad-spectrum insecticidal drugs in the conditions of the Caspian region of Russia" R&D Reg. 122022400197-4.

Summary

The article presents the results of studying the biodiversity of helminthofauna in chickens and repair young animals in the region. The results of the conducted studies have shown that the species composition of the parasitofauna includes tapeworms (Cest) – five species, including *Raillietina tetragona*, *Raillietina volzi*, *Skrjabina saissis*, *Skrjabina septicus* and *Subulura brumpti*. Five species of roundworms (Nematodes) have also been found: *Sapillaria insignata*, *Sapillaria saudinflata*, *Asidi galli*, *Roggosaesimus gassim*, and *Heterakis gallinarum*. Two species of scrapers (Anthocephala) – *Polymorphus madpis* and *Polymorphus minutus* – were also registered during the study. Protozoa – 13 species belonging to the genera *Eimegia* (7 species), *Thuraposoma* (1 species), *Thisomomas* (1 species), *Plasmodium* (1 species), *Cryptosporidium* (2 species), *Histomonas* (1 species), *Hemoproteus* (1 species) and *Leucocytozoon* (1 species) were found.

Abstract

Introduction. This article presents the results of research on the study of the epizootic situation, invasiveness and species composition of the parasitofauna of adult birds and repair young animals in outdoor conditions in the Republic of Dagestan. Poultry farming is a dynamically developing branch of the agro-industrial complex, focused on the production of dietary foods. However, the epizootic situation in poultry farms is complicated by the widespread spread of infectious and invasive diseases, in particular, helminthiasis. The chronic course of parasitic diseases, which is often asymptomatic, makes timely diagnosis and treatment difficult. Infestations of the nematode, cestode, eimeria, and cryptosporidium class are most often recorded in adult chickens and repair young animals raised in outdoor poultry farms. **Object.** The object of the study is chickens kept on poultry farms. **Materials and methods.** The research was conducted from 2024 to 2055 on poultry farms in the region. The degree of infection of adult chickens and repair young animals with en-

doparasites was determined, with the determination of the species composition of the parasites and their localization. Both lifetime and postmortem diagnostic approaches were used to detect helminthiasis in birds. The lifetime diagnosis was based on a coprological analysis, which included flotation (according to Fulleborn), sedimentation (with sequential washing) and combined methods of faecal examination (according to Demidov). 1,000 samples obtained from adult chickens and young animals were analyzed. Postmortem diagnosis was carried out by means of a helminthological autopsy, which included a complete and partial examination of internal organs. **Results and conclusions.** An analysis of the parasitic fauna of chickens and young animals kept outdoors on farms in Dagestan revealed a wide range of parasites. During the study, protozoa were identified – 13 species belonging to the genera Eimegia (7 species), Thuraposoma (1 species), Thichomas (1 species), Plasmodium (1 species), Cryptosporidium (2 species), Histomones (1 species), Hemoproteus (1 species) and Leucocytozoon (1 type). Tapeworms (Cest) have also been found – five species, including Raillietina tetragona, Raillietina volzi, Skrjabina sassis, Skrjabina sesticillus and Subulura brumpti; five species of roundworms (Nematodes) – Sapillaria insignata, Sapillaria saudinflata, Asidia galli, Roggosaesimus gassim and Heterakis gallinarum are two types of scrapers (Anthocephala) – Polymorphus madpis and Olympos minutus.

Keywords: young chickens, diseases of chickens, technologies of keeping chickens, outdoor keeping of chickens, outdoor keeping of chickens, parasitic diseases of chickens.

Citation. Dagaeva A. B., Makhieva B. M. The epizootic situation of chicken parasitosis on the territories of the Dagestan Republic. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 402-409 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-45.

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

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

УДК 619:616.995.128.095

ЭПИЗОТИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ ПО ПАРАЗИТОЗАМ КУР НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН

Дагаева А. Б., научный сотрудник

Махиева Б. М., кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник

Прикаспийский зональный научно-исследовательский ветеринарный институт –
филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан»
г. Махачкала, Российская Федерация

Исследования выполнены в рамках Государственной тематики «Разработать комплексную систему по профилактике и борьбе с наиболее распространенными инвазионными болезнями сельскохозяйственных животных и птиц с использованием современных химиотерапевтических и инсектоакарицидных препаратов широкого спектра действия в условиях Прикаспийского региона России» Рег. НИОКТР 122022400197-4.

Актуальность. В данной статье, приведены результаты исследований, по изучению эпизоотической ситуации, инвазированности и видового состава паразитофауны взрослых птиц и ремонтного молодняка, в условиях напольно-выгульного содержания в Республике Дагестан.

Птицеводство является динамично развивающейся отраслью агропромышленного комплекса, ориентированной на производство диетических продуктов питания. Однако, эпизоотическая ситуация в птицеводческих хозяйствах осложняется широким распространением инфекционных и инвазионных заболеваний, в частности, гельминтозов. Хроническое течение паразитарных болезней, часто протекающее бессимптомно, затрудняет своевременную диагностику и лечение. У взрослых кур и ремонтного молодняка, выращиваемых в условиях напольно-выгульного содержания на фермерских птицефабриках, наиболее часто регистрируются инвазии класса нематод, цестод, эймерий и криптоспоридий. **Объект.** Объектом исследования являются куры, содержащиеся на птицеводческих фермерских хозяйствах. **Материалы и методы.** Исследования проводились с 2024 по 2025 год на птицеводческих фермерских хозяйствах региона. Определяли степень зараженности взрослых кур и ремонтного молодняка эндопаразитами, с определением видового состава паразитов и их локализации. Для выявления гельминтозов у птиц применялись как прижизненные, так и посмертные диагностические подходы. Прижизненная диагностика основывалась на копрологическом анализе, включавшем флотационные (по Фюллеборну), седиментационные (с последовательным промыванием) и комбинированные способы исследования фекалий (по Демидову). Проанализировано 1000 проб, полученных от взрослых кур и молодняка. Посмертная диагностика осуществлялась посредством гельминтологического вскрытия, включавшего полное и частичное исследование внутренних органов. **Результаты и выводы.** Анализ паразитарной фауны кур и молодняка, напольно-выгульного содержания в фермерских хозяйствах Дагестана, выявил широкий спектр паразитов. В ходе исследования были выявлены – простейшие (Protozoa) – обнаружено 13 видов, относящихся к

подам *Eimeria* (7 видов), *Trypanosoma* (1 вид), *Trichomonas* (1 вид), *Plasmodium* (1 вид), *Cryptosporidium* (2 вида), *Histomonas* (1 вид), *Haemonproteus* (1 вид) и *Leucocytozoon* (1 вид). Также обнаружены ленточные черви (Cestoda) – пять видов, среди которых *Raillietina tetragona*, *Raillietina volzi*, *Skrjabina caucasica*, *Skrjabina cesticillus* и *Subulura brumpti*; пять видов круглых червей (Nematoda) – *Capillaria obsignata*, *Capillaria caudinflata*, *Ascaridia galli*, *Porrocaecum crassum* и *Heterakis gallinarum* два вида скребней (Acanthocephala) – *Polymorphus magnus* и *Polymorphus minutus*.

Ключевые слова: молодняк кур, болезни кур, технологии содержания кур, выгульное содержание кур, напольное содержание кур, паразитарные болезни кур.

Цитирования. Дагаева А. Б., Махиева Б. М. Эпизоотическая ситуация по паразитозам кур на территории Республики Дагестан. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84).402-409. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-45.

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. Для сохранения популяций птиц в современном мире крайне важна профилактика паразитарных и связанных с ними заболеваний. Часто встречаются смешанные инвазии, когда птицы заражены сразу несколькими видами паразитов.

Особую опасность представляет циркуляция паразитов между дикими и домашними птицами, так называемые "перекрестные" инвазии. Это создает природные очаги болезней, которые наносят существенный экономический ущерб птицеводству. Помимо прямого влияния на здоровье и продуктивность домашней птицы (снижение иммунитета, увеличение смертности), это приводит к росту затрат на диагностику, профилактику и лечение заболеваний. Кроме того, страдает и окружающая среда, происходит обеднение фауны и нарушение естественных экосистем. В связи с этим, комплексное изучение птичьей фауны и паразитарной обстановки как в дикой природе, так и в птицеводческих хозяйствах, является актуальной и экономически обоснованной задачей. Необходимы как теоретические, так и экспериментальные исследования, направленные на изучение видового состава птиц, динамики их популяций и механизмов поддержания орнитофауны. Внедрение компьютеризованных систем учета и мониторинга позволит эффективно контролировать ситуацию, прогнозировать вспышки заболеваний и разрабатывать оптимальные стратегии борьбы с паразитами. Именно, эти факторы определяют актуальность и практическую значимость данного исследования.

Эндопаразитофауна домашних птиц в Дагестане, и ее роль в распространении болезней, исследована слабо. Данная работа направлена на изучение эпизоотической обстановки по паразитарным болезням взрослых кур и ремонтного молодняка в птицеводческих фермерских хозяйствах Республики Дагестан.

Целью исследований, является изучение эпизоотической ситуации, определение степени зараженности взрослых кур и ремонтного молодняка эндопаразитами и установление видового состава паразитов и их локализации.

Материал и методы исследований. Работа проводилась в 2024-2025 годах на птицеводческих фермерских хозяйствах Карабудахкенского, Буйнакского и Хасавюртовского районов Республики и в профильной лаборатории института. Определяли степень зараженности взрослых кур и ремонтного молодняка эндопаразитами, установили видовой состав паразитов и их локализацию. Для выявления гельминтозов у птиц применялись как прижизненные, так и посмертные диагностические подходы. Прижизненная диагностика основывалась на копрологическом анализе, включавшем флотационные (по Фюллеборну), седиментационные (с последовательным промыванием) и комбинированные способы исследования фекалий. В общей сложности было проанализировано 1500 проб, полученных от кур и молодняка. Посмертная диагностика осуществлялась посредством гельминтологического вскрытия, включавшего полное (n=200) и частичное (n=300) исследование внутренних органов. Полученные результаты были обработаны статистически с использованием программного обеспечения "Биометрия".

Результаты исследований. В результате проведенных исследований установлено, что эпизоотологическая характеристика паразитофауны взрослых кур и ремонтного молодняка при напольном содержании представлена 13 видами *Protozoa*, 5- цестод и 5- нематод. Результаты представлены в таблице 1 и 2.

Таблица 1 – Видовой состав паразитов, обитающих у взрослых кур и ремонтного молодняка, выращиваемого в напольно-выгульном режиме, и его эпизоотологические особенности (n=1000)
Table 1 – Species composition of parasites living in adult chickens and maintenance young animals raised in outdoor-walking mode, and its epizootological features (n=1000)

№ п/п	Обнаруженные виды паразитов / Discovered types of parasites	Инвазировано, особей / Invaded, individuals	ЭИ, % / EI, %	ИИ экз./ особь / Al ex./ individual
1.	<i>Eimeria E. necatrix</i>	340	34,0	от 6 до 143
2.	<i>Eimeria E. brunetti</i>	230	23,0	от 4 до 38
3.	<i>Eimeria E. tenella</i>	260	26,0	от 4 до 112
4.	<i>Eimeria E. acervulina</i>	240	24,0	от 2 до 68
5.	<i>Eimeria E. maxima</i>	220	10,0	от 3 до 46
6.	<i>Eimeria E. praecox</i>	80	8,0	от 2 до 32
7.	<i>Eimeria E. mitis</i>	90	9,0	от 3 до 38
8.	<i>Cryptosporidium baileyi</i>	80	8,0	от 3 до 24
9.	<i>Trichomonas gallinae</i>	140	14,0	от 2 до 15
10.	<i>Histomonas meleagridis</i>	110	11,0	от 2 до 33
11.	<i>Leucocytozoon galli</i>	40	4,0	от 1 до 12
12.	<i>Trypanosoma gallinarum</i>	140	12,0	от 2 до 11
13.	<i>Haemoproteus gallinarum</i>	20	2,0	от 2 до 13

В результате проведенных исследований паразитофауны взрослой птиц и ремонтного молодняка кур при напольном содержании у птиц было выявлено 13 видов простейших (Protozoa), а также по 5 видов ленточных (Cestoda) и круглых (Nematoda) червей. Среди паразитов, обнаруженных у взрослых кур и ремонтного молодняка, содержащихся на полу, доминировали эймерии, причем наиболее часто встречалась *Eimeria necatrix* (34 % зараженных птиц, с интенсивностью инвазии от 6 до 143 ооцист/особь). *E. acervulina* (24 %, ИИ 2-68 ооцисты/особь), *E. brunetti* (23 %, ИИ 4-38 ооцисты/особь) и *E. tenella* (2 %, ИИ 4-112 ооцисты/особь). Также часто встречались *Trichomonas gallinae* (14 %, ИИ 2-15 ооцисты/особь) и *Trypanosoma gallinarum* (12 %, ИИ 2-11 ооцисты/особь).

Реже регистрировались *Eimeria maxima* (10 %, ИИ 3-46 ооцисты/особь), *Histomonas meleagridis* (11 %, ИИ 2-33 ооцисты/особь) и *Cryptosporidium baileyi* (8 %, ИИ 3-24 ооцисты/особь).

Наименее распространенными паразитами у кур напольного содержания были *Leucocytozoon galli* (4 %, ИИ 1-12 ооцисты/особь) и *Haemoproteus gallinarum* (2 %, ИИ 2-13 ооцисты/особь).

Таблица 2 – Гельминтозная ситуация, связанная с нематодами и цестодами, у взрослых кур и ремонтного молодняка, содержащихся напольно-выгульным способом (n=1000)
Table 2 – Helminthic situation associated with nematodes and cestodes in adult chickens and repair young animals kept outdoors (n=1000)

№№ п/п	Обнаруженные виды паразитов / Discovered types of parasites	Исследовано, особей / Investigated, individuals	Инвазировано, особей / Invaded, individuals	ЭИ, % / EI, %
Класс Nematoda / The Nematoda class				
1.	<i>Ascaridia galli</i>	1000	84	8,4
2.	<i>Heterakis gallinarum</i>	-	76	7,6
3.	<i>Capillaria obsignata</i>	-	63	6,3
4.	<i>Porrocaecum crassum</i>	-	49	4,9
5.	<i>Capillaria caudinflata</i>	-	28	2,8
	В среднем / On average	-	-	6,0
Класс Цестода / The Cestode class				
1.	<i>Raillietina volzi</i>	1000	80	8,0
2.	<i>Skrjabina caucasica</i>	-	96	9,6
3.	<i>Skrjabina cesticillus</i>	-	88	8,8
4.	<i>Raillietina tetragona</i>	-	43	4,3
5.	<i>Subulura brumpti</i>	-	36	3,6
	В среднем / On average	-	-	6,9

На птицефабриках, где птицы выращиваются на полу, у взрослых птиц и ремонтного молодняка выявляются гельминты, принадлежащие двум классам: цестодам (ленточные черви) и нематодам (круглые черви). Пять видов каждого класса паразитов являются весьма распространенными в таких хозяйствах.

Анализ показал, что у птицы, содержащихся в напольных условиях, класс *Nematoda* в основном представлен такими видами, как *Ascaridia galli*, *Heterakis gallinarum*, *Capillaria obsignata*, *Porrocaecum crissum* и *Capillaria caudinflata*. Средняя экстенсивность инвазии (процент зараженных птиц) для этих видов составила 8,4 %, 7,6 %, 6,3 %, 4,9 % и 2,8 %, соответственно, что в среднем составляет 6,0 % (см. таблицу 2).

Среди выявленных цестод преобладают *Raillietina tragona*, *Skrjabina caucasica*, *Skrjabina cesticillus*, *Raillietina tetragona* и *Subulura brumpti*. Интенсивность инвазии (количество паразитов на одну зараженную птицу) для этих видов составила 8,0 %, 9,6 %, 8,8 %, 4,3 % и 3,6 %, соответственно, со средним значением 6,9 %.

Таблица 3 – Видовой состав паразитов, вызывающих моно- и смешанные инвазии, и их эпизоотологическое значение для взрослого поголовья кур и ремонтного молодняка (n=1000)
Table 3 – Species composition of parasites causing mono- and mixed invasions and their epizootological significance for adult hens and maintenance young (n=1000)

№ п/п	Видовой состав паразитов / Species composition of parasites	Подвергнуто исследованию, всего / Subjected to research, total	Заражено, особей, всего / Infected, individuals, total	ЭИ, % / EI, %
1	<i>Eimeria necatrix</i> + <i>Eimeria tenella</i> + <i>E. maxima</i> + <i>Eimeria praecox</i> + <i>Ascaridia galli</i>	1000	148	14,8
2	<i>Heterakis gallinarum</i> + <i>Eimeria tenella</i> + <i>Cryptosporidium baileyi</i>	-	89	8,9
3	<i>E. brunetti</i> + <i>E. tenella</i> + <i>Singamus trachea</i> + <i>Capillaria obsignata</i> + <i>Cryptosporidium baileyi</i>	-	79	7,9
4	<i>Ascaridia galli</i> + <i>Eimeria necatrix</i> + <i>Eimeria praecox</i> + <i>E. mitis</i> + <i>Cryptosporidium</i> <i>baileyi</i> + <i>Polymorphus minutus</i>	-	66	6,6
5	<i>Singamus trachea</i> + <i>Eimeria tenella</i> + <i>Eimeria mitis</i> + <i>Ascaridia galli</i> + <i>Cryptosporidium baileyi</i>	-	94	9,4
6	<i>Eimeria brunetti</i> + <i>Eimeria praecox</i> + <i>Eimeria tenella</i> + <i>Eimeria mitis</i> + <i>Cryptosporidium</i> <i>baileyi</i> + <i>Capillaria obsignata</i>	-	85	8,5
7	<i>Cryptosporidium baileyi</i> + <i>Eimeria</i> <i>maxima</i> + <i>Eimeria mitis</i> + <i>E. tenella</i> + <i>Heterakis gallinarum</i> + <i>Capillaria obsignata</i> + <i>Eimeria brunetti</i> + <i>Eimeria praecox</i> + <i>Eimeria tenella</i> + <i>E. acervulina</i> + <i>Cryptosporidium baileyi</i>	-	78	7,8
8	<i>Ascaridia galli</i> + <i>Heterakis gallinarum</i> + <i>Singamus trachea</i> + <i>Polymorphus magnus</i>	-	64	6,4
9	<i>Capillaria obsignata</i> + <i>Singamus trachea</i> + <i>Eimeria tenella</i> + <i>E. acervulina</i> + <i>Ascaridia galli</i> + <i>Heterakis gallinarum</i>	-	69	6,9
10	<i>Ascaridia galli</i> + <i>Heterakis gallinarum</i> + <i>Polymorphus magnus</i> + <i>Polymorphus minutus</i>	-	53	5,3
11	<i>Ascaridia galli</i>	-	44	4,4
12	<i>Ascaridia galli</i>	-	16	1,6
13	<i>Heterakis gallinarum</i>	-	6	0,6
14	<i>Singamus trachea</i>	-	3	0,3
15	<i>Capillaria obsignata</i>	-	8	0,8
16	<i>Polymorphus magnus</i>	-	2	0,2
17	<i>Polymorphus minutus</i>	-	4	0,4
	В среднем / On average			5,5
18	Всего / Total	1000	908	90

На основании данных таблицы 2 можно заключить, что паразитарный мир кур, содержащихся на полу, отличается большим разнообразием и представлен множеством видов простейших и гельминтов. Эти паразиты встречаются как поодиночке (моноинвазии), так и в сочетаниях (смешанные инвазии). Наиболее распространены заражения нематодами в сочетании с эймериями, а также цестодами в сочетании с криптоспоридиями, при этом в этих паразитарных сообществах присутствуют и другие виды.

В фермерских хозяйствах, где куры и молодняк содержатся на выгуле, у взрослых особей и молодняка обнаружено 13 различных видов паразитов, относящихся к классу Protozoa (*Eimeria maxima*, *E. mitis*, *E. necatrix*, *E. praecox*, *E. tenella*, *E. acervulina*, *E. brunetti*, *Trypanosoma gallinarum*, *Cryptosporidium baileyi*, *Trichomonas gallinae*, *Histomonas meleagridis*, *Haemoproteus gallinarum*, *Leucocytozoon galli*),

Исследования паразитофауны птиц, как взрослых особей, так и ремонтного молодняка, в условиях напольно-выгульного содержания в фермерских хозяйствах республики, выявили следующие паразитические организмы:

В ходе исследования были выявлены ленточные черви (Cestoda) – пять видов, среди которых *Raillietina tetragona*, *Raillietina volzi*, *Skrjabina caucasica*, *Skrjabina cesticillus* и *Subulura brumpti*. Также обнаружено пять видов круглых червей (Nematoda): *Capillaria obsignata*, *Capillaria caudinflata*, *Ascaridia galli*, *Porrocaecum crassum* и *Heterakis gallinarum*. Два вида скребней (Acanthocephala) – *Polymorphus magnus* и *Polymorphus minutus* – также были зарегистрированы в ходе исследования.

Простейшие (Protozoa) – Обнаружено 13 видов, относящихся к родам *Eimeria* (7 видов), *Trypanosoma* (1 вид), *Trichomonas* (1 вид), *Plasmodium* (1 вид), *Cryptosporidium* (2 вида), *Histomonas* (1 вид), *Haemoproteus* (1 вид) и *Leucocytozoon* (1 вид).

Статистика зараженности – простейшие – экстенсивность инвазии (ЭИ) для всех 13 видов варьировала от 2,0 % до 34,0 %. Интенсивность инвазии (ИИ) колебалась в пределах 2-13 – 6-143 паразитов на особь; Ленточные черви – ЭИ для 5 видов составляла от 3,6 % до 9,6 %; Круглые черви – ЭИ для 5 видов составляла от 2,8 % до 8,4 %; Скребни – ЭИ для 2 видов составляла от 2,4 % до 4,6 %.

Конкретные виды простейших и их показатели – *Eimeria necatrix*: ЭИ – 34,0 %, ИИ – 6-143 ооцист/особь; *Eimeria tenella* – ЭИ – 2,0 %, ИИ – 4-112 ооцист/особь; *Eimeria acervulina* – ЭИ – 24,0 % – ИИ – 2-68 ооцист/особь; *Eimeria brunetti* – ЭИ – 23,0 %, ИИ – 4-38 ооцист/особь; *Trichomonas gallinae* – ЭИ – 14,0 %, ИИ – 2-15 паразитов/особь; *Trypanosoma gallinarum*: ЭИ – 12,0 %, ИИ – 2-11 паразитов/особь.

Интенсивность инвазии для некоторых видов ленточных червей – *Raillietina tetragona* – 10,0±1,4 паразитов/особь; *Skrjabina caucasica* – 12,0±1,2 паразитов/особь; *Skrjabina cesticillus* – 11,0±1,6 паразитов/особь.

Выгульное содержание птицы, особенно при контакте с увлажненными биотопами, способствует расширению паразитарной фауны. Обнаружено увеличение биоразнообразия цестод (*Raillietina volzi*, *Skrjabina caucasica*, *Skrjabina cesticillus*, *Heterakis gallinarum*, *Subulura brumpti*) и акантоцефалов (*Polymorphus magnus*, *Polymorphus minutus*). Выявление ранее не регистрированных видов простейших, цестод, нематод и акантоцефалов у кур и молодняка представляет потенциальную эпидемиологическую опасность.

Заключение. Исследования фермерских хозяйств Дагестана показали, что у взрослых кур и молодняка, содержащихся на полу с выгулом, паразитируют различные виды простейших, гельминтов (круглых и ленточных червей).

Моноинвазии (заражение одним видом паразита) – простейшие – обнаружены *E. tenella*, *E. acervulina*, *E. mitis*, *E. necatrix* и *Cr. baileyi*. Наиболее часто встречались *E. tenella* (34,0 %) и *Cr. baileyi* (39,0 %); круглые черви (Nematoda) – преобладали *Ascaridia galli*, *Heterakis gallinarum*, *Capillaria obsignata*, *Porrocaecum crissum* и *Capillaria caudinflata*.

Экстенсивность инвазии варьировала от 2,8 % до 8,4 %; ленточные черви (Cestoda) выявлены – *Raillietina tetragona*, *Skrjabina caucasica*, *Skrjabina cesticillus*, *Raillietina tetragona* и *Subulura brumpti*. Интенсивность инвазии колебалась в пределах от 3,6 % до 9,6 %;

Паразитарный комплекс взрослых кур и ремонтного молодняка отличается значительным видовым разнообразием. Распространены полиинвазии, в частности, ассоциации простейших и гельминтов. Доминируют эймериозно-нематодозные и цестодо-криптоспоридиозные паразитарные комплексы. Примеры ассоциаций паразитов – *Ascaridia galli* + *Eimeria necatrix* + *Eimeria tenella* + *E. maxima* + *Cryptosporidium baileyi*; *Heterakis gallinarum* + *E. brunetti* + *E. acervulina* + *E. mitis* + *Cryptosporidium baileyi*; *Eimeria necatrix* + *E. brunetti* + *E. tenella* +

E. acervulina + *E. maxima* + *E. praecox* + *E. mitis* + *Cryptosporidium baileyi*; *Eimeria necatrix* + *Eimeria brunetti* + *E. tenella* + *E. acervulina* + *Cryptosporidium baileyi*; *Capillaria obsignata* + *Singamus trachea* + *Eimeria tenella* + *E. aservulina* + *Ascaridia galli* + *Heterakis galinarius*.

Conclusion. Studies of farms in Dagestan have shown that adult chickens and young animals kept on the outdoor floor are parasitized by various types of protozoa, helminths (roundworms and tapeworms).

Monoinvasions (infection with a single type of parasite) – protozoa – were detected by *E. tenella*, *E. aservulina*, *E. mitis*, *E. nitrix* and *C. baileyi*. *E. tenella* (34.0%) and *C. Baileyi* (39.0%) were the most common; roundworms (Nematodes) – *Ascaridia galli*, *Heterakis gallinarum*, *Sapillaria insignata*, *Roggosaesimus cissim* and *Sapillaria saudinflata* prevailed.

The extent of the invasion ranged from 2.8 % to 8.4 %; tapeworms (Cest) were identified – *Raillietina tragona*, *Skrjabina cacisa*, *Skrjabina sesticillus*, *Raillietina tetragona* and *Subulura brumpti*. The invasion rate ranged from 3.6 % to 9.6 %.

The parasitic complex of adult chickens and repair young animals is characterized by significant species diversity. Polyinvasions are common, in particular, associations of protozoa and helminths. Eimeriosis-nematode and cestodo-cryptosporidiosis parasitic complexes dominate. Examples of parasite associations are *Ascaridia galli* + *Eimegia nitrix* + *Eimegia tenella* + *E. maxima* + *Cryptosporidium baileyi*; *Hetakis gallinarum* + *E. brunetti* + *E. aservulina* + *E. mitis* + *Cryptosporidium baileyi*; *Eimegia nitrix* + *E. brunetti* + *E. tenella* + *E. aservulina* + *E. makhima* + *E. rgaesoh* + *E. mitis* + *Cryptosporidium baileyi*; *Eimegia nitrix* + *Eimegia brunetti* + *E. tenella* + *E. aservulina* + *Cryptosporidium baileyi*; *Capillaria insignata* + *Sipdamis trachea* + *Eimegia tenella* + *E. aservulina* + *Ascaridia galli* + *Heterakis galinarius*.

Библиографический список

1. Бобылева Г. А. Российское птицеводство: проблемы и перспективы развития в 2020 г. Птица и птицепродукты. 2020. № 4. С. 9-14.
2. Быкова Н. В. Значение отрасли птицеводства в обеспечении продовольственной безопасности. Вестник АПК Верхневолжья. 2018. № 1 (41). С.67-71.
3. Акбаев Р. М. Паразитофауна кур на птицефабриках промышленного типа на территории Нечерноземной зоны. Птица и птицепродукты. 2011. № 2. С. 54-55.
4. Алиев Ш. К. Эколого-фаунистическая и эпизоотологическая характеристика паразитарного комплекса охотничье-промысловых птиц Северного Кавказа: автореферат. М., 2006. 50 с.
5. Кагермазов Ц. Б., Биттиров А. М., Пашаев В. Ш. Эймериозная инвазия у цыплят-бройлеров в условиях птицефабрики зао «горец». Аграрная Россия. 2016. № 2. С. 21-23.
6. Пашаев В. Ш., Алиев Ш. К., Кабардиев С. Ш., Бегиев С. Ж., Биттиров А. М. Эпизоотологическая характеристика паразитарной фауны кур клеточного, напольного и выгульного содержания в Дагестане. Современные проблемы биологии и экологии материалы докладов II Международной научно-практической конференции. 2016. С. 143-145.
7. Гайворонский В. И. Капиллярии и эймерии у птиц при напольном содержании. Инновационные пути развития АПК: проблемы и перспективы: материалы международной научной конференции. Персиановский: ДонГау, 2013. С. 217-219.
8. Гайворонский В. И. Аскаридоз, гетеракидоз и капилляриоз у кур по результатам исследований. Современные технологии сельскохозяйственного производства и приоритетные направления развития аграрной науки: материалы международной научно-практической конференции. Персиановский: ДонГау, 2014. С. 205-207.
9. Wuthijaree K., Lambert C, Gauly M. Prevalence of gastrointestinal helminth infections in free-range laying hens under mountain farming production conditions. British Poultry Science. 2017. N 10. P. 26.
10. Offiong E. E., et al. Survey of Gastrointestinal Helminthes of Local Chickens in Abak Local Government Area of Akwa Ibom State. International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR). 2013. V. 9 (1).
11. Островский А. Н., Соболев С. С., Кувичкин М. Н. Заболеваемость животных и птицы смешанными инвазионными болезнями в Ростовской области. Интеграция науки, образования и бизнеса для обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации: материалы международной научно-практической конференции. Персиановский: ДонГАУ, 2010. С. 171-174.
12. Шикалов Н. А. Распространение желудочно-кишечных нематодозов кур мясного направления при технологии напольно-выгульного содержания. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2008. С. 240.
13. Baboolal V. et al. The prevalence of intestinal helminths in broiler chickens in Trinidad. Veterinary Archive. 2012. Vol. 82 (6). P. 591-597.
14. Байрамов С. Ю. Динамика зараженности домашних птиц цестодами и нематодами. Аграрная наука. 2016. № 3. С. 28-30.
15. Пашаев В. Ш., Алиев Ш. К., Кабардиев С. Ш., Биттиров А. М. Экто- и эндопаразиты домашних и диких птиц на Северном Кавказе и новые методы регуляции их численности в приусадебных хозяйствах. Москва, 2014.
16. Пашаев В. Ш., Кабардиев С. Ш., Алиев Ш. К., Алиев М. А., Бегиев С. Ж., Биттиров А. М. Структурная организация паразитофауны домашних кур напольного содержания в приусадебных хозяйствах Дагестана. Современные проблемы биологии и экологии: материалы докладов. 2016. С. 145-147.

References

1. Bobyleva G. A. Russian poultry farming: problems and prospects of development in 2020. Poultry and poultry products. 2020. № 4. Pp. 9-14.
2. Bykova N. V. The importance of the poultry industry in ensuring food security. Proceedings of the AIC Verkhnevolzhye. 2018. № 1 (41). Pp. 67-71.

3. Akbaev R. M. Parasitofauna of chickens at industrial-type poultry farms in the territory of the Non-Chernozem zone. Poultry and poultry products. 2011. № 2. Pp. 54-55.
4. Aliev Sh. K. Ecological-faunistic and epizootological characterization of the parasitic complex of hunting and fishing birds of the North Caucasus: Author's thesis. M., 2006. 50 p.
5. Kagermazov Ts. B., Bittirov A. M., Pashaev V. Sh. Eimeriosis infestation in broiler chickens in conditions of poultry farm ZAO "Gorets". Agrarian Russia. 2016. № 2. Pp. 21-23.
6. Pashayev V. Sh., Aliev Sh. K., Kabardiev S. Sh., Begiev S. J., Bittirov A. M. Epizootological characterization of parasitic fauna of chickens of cage, floor and paddock keeping in Dagestan. Modern problems of biology and ecology: materials of reports of the II International scientific-practical conference. 2016. Pp. 143-145
7. Gaivoronsky V. I. Capillariae and eimeriae in birds under floor housing. Proceedings of the international scientific conference "Innovative ways of development of agro-industrial complex: problems and prospects. Persianovsky: DonSAU, 2013. Pp. 217-219.
8. Gaivoronsky V. I. Ascariidiosis, heterakidosis and capillariasis in chickens according to the results of research. Modern technologies of agricultural production and priority directions of development of agrarian science. Persianovsky: DonSAU, 2014. Pp. 205-207
9. Wuthijaree K., Lambert C, Gauly M. Prevalence of gastrointestinal helminth infections in free-range laying hens under mountain farming production conditions. British Poultry Science. 2017. N 10. P. 26.
10. Offiong E. E., et al. Survey of Gastrointestinal Helminthes of Local Chickens in Abak Local Government Area of Akwa Ibom State. International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR). 2013. V. 9 (1).
11. Ostrovskiy A. N., Sobol S. S., Kuvichkin M. N. Incidence of mixed invasive diseases in animals and poultry in the Rostov region. Integration of science, education and business to ensure food security of the Russian Federation: proceedings of the international scientific-practical conference. Persianovsky: DonSAU, 2010. Pp. 171-174.
12. Shikalov N. A. Distribution of gastrointestinal nematodes of chickens of meat direction under the technology of floor-walking keeping. Proceedings of the Orenburg SAU. 2008. P. 240.
13. Baboolal V. et al. The prevalence of intestinal helminths in broiler chickens in Trinidad. Veterinary Archive. 2012. V. 82 (6). Pp. 591-597.
14. Bayramov S. Yu. Dynamics of infestation of domestic birds with cestodes and nematodes. Agrarian Science. 2016. № 3. Pp. 28-30.
15. Pashayev V. Sh., Aliev Sh. K., Kabardiev S. Sh., Bittirov A. M. Ecto- and endoparasites of domestic and wild birds in the North Caucasus and new methods of regulation of their numbers in household farms. Moscow, 2014.
16. Pashaev V. Sh., Kabardiev S. Sh., Aliev Sh. K., Aliev M. A., Begiev S. J., Bittirov A. M. Structural organization of parasite fauna of domestic chickens of floor keeping in household farms of Dagestan. Modern problems of biology and ecology: materials of reports of the II International Scientific and Practical Conference. 2016. Pp. 145-147.

Информация об авторах

Дагаева Асият Багаутдиновна, научный сотрудник лаборатории, Прикаспийский зональный научно-исследовательский ветеринарный институт – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан» (Российская Федерация, 367000, республика Дагестан, г. Махачкала, улица Дахадаева, 88), e-mail: journal1977@mail.ru

Махиева Баху Магомедовна, кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории, Прикаспийский зональный научно-исследовательский ветеринарный институт – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан» (Российская Федерация, 367000, республика Дагестан, г. Махачкала, улица Дахадаева, 88).

Authors' Information

Dagayeva Asiyat Bagautdinovna, Researcher, Caspian Zonal Scientific Research Veterinary Institute - the branch of the Federal Agrarian Scientific Center of the Republic of Dagestan (Russian Federation, 367000, Republic of Dagestan, Makhachkala, Dahadaev Street, 88), e-mail: journal1977@mail.ru

Makhiyeva Bahu Magomedovna, Candidate of Veterinary Sciences, Leading Researcher, Caspian Zonal Scientific Research Veterinary Institute - the branch of the Federal Agrarian Scientific Center of the Republic of Dagestan (Russian Federation, 367000, Republic of Dagestan, Makhachkala, Dahadaev Street, 88).

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-46

THE DYNAMICS OF THE PRODUCTIVE FEATURES OF DAIRY COWS IN THE EUROPEAN NORTH OF THE RUSSIAN FEDERATION

Zenkova N. V., Abramova N. I., Khromova O. L., Selimyan M. O.

*Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences
Vologda, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: zenkova@mail.ru

Received 28.04.2025

Submitted 25.08.2025

The work was carried out as part of the State Assignment No. FMGZ-2025-0016 "Development of a Program for the Development of Dairy Farming in the European North of the Russian Federation".

Summary

The article presents the dynamics of productive traits of dairy cows in the European North of the Russian Federation. The highest milk yield and protein content in milk in 2023 were recorded in the Vologda Region: 9113 kg of milk and 3.36 %. The highest fat content in cow milk was recorded in the Republic of Karelia: 4.01 %. In the European North of the Russian Federation, between 2010 and 2023, the milk yield of cows increased by 3419 kg, reaching 8769 kg.

Abstract

Introduction. Dairy products occupy a significant share in human life, and in order to meet the population's demand for high-quality milk and dairy products, we need to develop the dairy cattle industry. Therefore, research aimed at studying the current state and trends in dairy cattle farming in the European North of the Russian Federation is highly relevant for understanding the current state of the industry. It is necessary to conduct annual monitoring of the productive traits of dairy cows, which will help determine the direction of selection progress in the populations. **Object of research.** The object of the study was the data from the annual reports on breeding work in dairy cattle breeding in the farms of the Russian Federation. **Materials and methods.** The study of the current state of the dairy cattle breeding industry based on the dynamics of productive traits of dairy cows in the European North of the Russian Federation, as well as by breed, was conducted using statistical data from the annual reports on breeding work in dairy cattle breeding in the farms of the Russian Federation for the years 2010-2023. **Results and discussion.** In the conditions of the European North of the Russian Federation, between 2010 and 2023, the milk yield of cows increased by 3419 kg, which amounted to 8769 kg. In 2023, the highest milk yield was recorded in the Vologda Region, with 9113 kg of milk. The second-highest milk yield was recorded in the Arkhangelsk Region, with 8568 kg of milk, and the third-highest was recorded in the Republic of Karelia, with 8336 kg of milk in 2023. The highest fat content in cow's milk was recorded in the Republic of Karelia at 4.01 %, in the Vologda and Arkhangelsk regions at 3.99 %. In the European North of the Russian Federation, the best protein content in cow's milk was recorded in the Vologda region at 3.36 %. Therefore, during the analyzed period, the Vologda region was the leader in the European North of the Russian Federation in terms of cow milk yield and quality.

Keywords: dairy breeds of cattle, dairy cows, productive characteristics of cows, development of dairy cattle breeding.

Citation. Zenkova N. V., Abramova N. I., Khromova O. L., Selimyan M. O. The dynamics of the productive features of dairy cows in the European North of the Russian Federation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 409-421 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-46.

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 636.082

**ДИНАМИКА ПРОДУКТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ КОРОВ МОЛОЧНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ
ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РФ**

Зенкова Н. В., научный сотрудник

Абрамова Н. И., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

Хромова О. Л., старший научный сотрудник

Селимян М. О., научный сотрудник

ФГБУН Вологодский научный центр Российской академии наук
г. Вологда, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках Государственного задания № FMGZ-2025-0016 «Разработка программы развития молочного скотоводства в условиях Европейского Севера РФ».

Актуальность. Весомую долю в жизни человека занимают продукты молочного животноводства, для удовлетворения потребностей населения в качественном молоке и молочной продукции мы должны развивать отрасль молочного скотоводства. В связи с этим исследования, направленные на изучение современного состояния и тенденций молочного скотоводства в рамках Европейского Севера РФ, являются в высокой степени актуальными для понимания состояния отрасли на данный момент. Необходимо проводить ежегодный мониторинг продуктивных признаков коров молочных пород, что позволит определить направление селекционного прогресса в популяциях. **Объект исследования.** Объектом исследования явились данные ежегодников по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации. **Материалы и методы.** Изучение современного состояния отрасли молочного скотоводства по динамике продуктивных признаков коров молочных пород в условиях Европейского Севера РФ, а также в разрезе пород проводили с использованием статистических данных ежегодников по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации за 2010-2023 годы. **Результаты и обсуждение.** В условиях Европейского Севера РФ в период с 2010 по 2023 годы установлено увеличение надоя коров на 3419 кг молока, что составило 8769 кг. Наибольший надой коров за 2023 год установлен в Вологодской области – 9113 кг молока. Второе место по надоя коров занимает Архангельская область – 8568 кг молока и третья Республика Карелия – 8336 кг молока за 2023 год. Наивысший показатель массовой доли жира в молоке коров зафиксирован в Республике Карелия 4,01 %, в Вологодской и Архангельской областях – 3,99 %. На Европейском Севере РФ лучшие показатели массовой доли белка в мо-

локе коров установлены в Вологодской области 3,36 %. Следовательно, за анализируемый период Вологодская область является лидером на Европейском Севере РФ по величине надоя коров и качественным показателям молока.

Ключевые слова: молочные породы КРС, коровы молочных пород, продуктивные признаки коров, развитие молочного скотоводства.

Цитирование. Зенкова Н. В., Абрамова Н. И., Хромова О. Л., Селимян М. О. Динамика продуктивных признаков коров молочных пород в условиях Европейского Севера России. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 409-421. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-46.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В современных рыночных условиях развитие животноводства имеет не только важное социально-экономическое значение, но и является стабилизатором финансового состояния всего АПК. Молочное скотоводство на сегодня остается одной из ведущих подотраслей животноводства и его развитие имеет большое значение не только в обеспечении продовольственной независимости страны, но и в социальном аспекте. Молочная продуктивность коров является одним из основных производственных параметров в хозяйствах при планировании экономических результатов производства молока. Увеличение молочной продуктивности коров при сокращающемся поголовье не может обеспечить увеличение производства молока и насыщение внутреннего рынка [1, 2].

Селекционный процесс в современном молочном скотоводстве представляет собой сложный комплекс организационно-технологических мероприятий, основной целью которых является повышение темпов генетического совершенствования популяций животных с одной стороны, и увеличение рентабельности хозяйственной деятельности сельскохозяйственных организаций с другой [3].

Одной из основных целей, принятых Правительством РФ в «Стратегии развития сельского хозяйства до 2030», является повышение научно-технологического уровня АПК за счет развития селекции и генетики, работы по улучшению генетического потенциала в животноводстве [4].

Аксенова О. А., Косяченко Н. М., Абрамова М. В. и другие ученые считают, что важнейшим аспектом в молочном скотоводстве является интенсификация отрасли путем ускоренного повышения генетического потенциала животных и степени его реализации; выведение животных, способных давать больше высококачественной продукции при наименьших затратах кормов и труда. Вопрос сохранения и рационального использования генофонда крупного рогатого скота является весьма актуальной проблемой развития сельского хозяйства и требует решения многих задач. Одной из них является использование современных методов селекционно-племенной работы для реализации генетического потенциала продуктивности и племенной ценности животных [5, 6].

Инструментом повышения эффективности молочного скотоводства является целенаправленная система селекционных мероприятий, основой для которой могут служить научно-обоснованные методические положения по совершенствованию племенных, продуктивных и воспроизводительных признаков крупного рогатого скота [7].

В современных условиях при селекционной работе одним из основных признаков, присущих крупному рогатому скоту, является удой, что коренным образом влияет на экономику сельскохозяйственных предприятий, занимающихся разведением животных молочного направления. При оценке продуктивности особый акцент делается на способности животного в период всего времени лактации сохранять достаточно высокие удои. Это является определяющим фактором молочной продуктивности коров [8].

Темпы развития молочного скотоводства в разных странах мира свидетельствуют о больших потенциальных возможностях селекции крупного рогатого скота по улучшению племенных и продуктивных признаков. По данным Росстата за 2022 год наивысший надой на корову был получен в Израиле – 13656 кг молока, США – 10955 кг, Дании – 10187 кг. В Российской Федерации за 2023 год получен средний надой на корову 5322 кг молока, соответственно, существует необходимость и очевидны перспективы дальнейшего повышения молочной продуктивности в отечественных стадах [9].

Юдин В. М., Любимов А. И., Никитин К. П. считают, что в условиях ускоренного импортозамещения вопрос увеличения производства молока и молочных продуктов становится весьма актуальным. Так как генетический потенциал скота уже находится на высоком уровне, перед селекционерами стоит задача его раскрытия [10].

Алтухова В. В. и Востроилов А. В. полагают, что модернизация агропромышленного комплекса, основанная на достижениях селекции и генетики, является важнейшим условием для достижения поставленных задач. Они ожидают, что это приведет к ежегодному увеличению выпуска отечественной племенной продукции на 3 % в 2024 и 2030 годах [11].

Для производства молока используется в основном высокопродуктивный молочный скот, представленный такими породами, как черно-пестрая, холмогорская, голштинская и т.д. В настоящее время основной молочной породой в стране является голштинская черно-пестрая, созданная в результате длительного и широкого применения генофонда лучшей мировой обильномолочной породы – голштинской для совершенствования отечественной черно-пестрой породы. Применение голштинизации привело к созданию большого массива животных с высокой долей кровности по голштинской породе – свыше 75 % и выше [12, 13, 14, 15], (Лебеденко Е., Никифорова Л., 2008).

Это первоначально позволило сформировать и официально зарегистрировать новые породные высокопродуктивные типы внутри черно-пестрой породы, а затем поглотить ее [16, 17], (Сакса Е. И., Барсукова О. Е., 2007).

На современных животноводческих комплексах технико-экономическими показателями предусматривается получение более 10000 кг молока на корову, а для этого необходим хороший племенной скот. В этой связи главными факторами являются селекционно-племенная работа высокого уровня, сбалансированное кормление, использование современного оборудования и условия содержания животных [18, 19, 20].

В связи с этим исследования, направленные на изучение современного состояния и тенденций молочного скотоводства в рамках Европейского Севера РФ являются в высокой степени актуальными для понимания состояния отрасли на данный момент.

Целью исследования является изучить динамику продуктивных признаков коров молочных пород по Европейскому Северу РФ.

Материалы и методы. Изучение современного состояния отрасли молочного скотоводства по динамике продуктивных признаков коров молочных пород в условиях Европейского Севера РФ, а также в разрезе пород проводили с использованием статистических данных ежегодников по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации за 2010-2023 годы.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием Microsoft Word и Microsoft Excel 2013. Средние показатели продуктивных признаков коров по Европейскому Северу РФ рассчитывались через поголовье коров по средневзвешенной.

Результаты и обсуждение. Европейский Север Российской Федерации включает 6 регионов: Республику Карелия; Республику Коми; Архангельскую область; Вологодскую область; Мурманскую область; Ненецкий АО, который из-за отсутствия поголовья коров, кроме 2015 года, не включен в исследования (таблица 1).

Продуктивность коров молочных пород по Европейскому Северу РФ по всем категориям хозяйств за 2023 год составила 8769 кг молока (+443 кг к 2022 году) [21]. В регионе разводят черно-пеструю, айрширскую, холмогорскую, голштинскую и ярославскую породу крупного рогатого скота. Самые высокие надои коров айрширской и холмогорской породы зафиксированы в Республике Карелии: 8194 кг молока за 2023 год (+441 кг к 2022 году) и 10618 кг молока за 2022 год соответственно. Низкая продуктивность айрширской и холмогорской породы выявлена в Республике Коми, однако, здесь следует отметить положительную динамику роста надоев за весь исследуемый период: +2324 кг и +2459 кг молока соответственно.

Такие породы, как черно-пестрая и ярославская, разводят только в Вологодской области. Рост надоев черно-пестрой породы за период с 2010-2023 годы составил +2310 кг молока, однако в 2023 году произошло снижение до 7970 кг молока (-648 кг). Коровы ярославской породы за период с 2010-2023 годы увеличили надой на +2472 кг, в том числе +232 кг за 2023 год. Голштинскую породу разводят не во всех регионах Европейского Севера РФ и ее продуктивность отмечена не за весь исследуемый период. Лидером по надою

за 2023 год является Мурманская область (+11069 кг), в том числе +123 кг к 2022 году. Высокие надои также отмечены в Вологодской, Архангельской области и Республике Карелия: 9883 кг, 9625 кг и 9637 кг молока соответственно.

Таблица 1 – Динамика надоя коров молочных пород по Европейскому Северу Российской Федерации
Table 1 – Dynamics of milk yield of dairy cows in the European North of the Russian Federation

Регион / Region	Порода / Breed	Надой по годам, кг (все категории хозяйств) / Milk yield by years, kg (all categories of farms)					2023 +/- 2010	2023 +/- 2022
		2010	2015	2020	2022	2023		
Республика Карелия / Republic Karelia	Айрширская / Ayrshire	5918	6934	8008	7753	8194	+2276	+441
	Холмогорская / Kholmogorskaya	5814	5866	8280	10618	9956	+4142	-662
	Голштинская / Holstein	-	-	-	-	9637	-	-
	Всего / Total	5911	6873	8031	8005	8336	+2425	+331
Республика Коми / Komi Republic	Айрширская / Ayrshire	4220	4762	5837	5976	6544	+2324	+568
	Холмогорская / Kholmogorskaya	3634	4602	5054	5442	6093	+2459	+651
	Всего / Total	3777	4648	5233	5608	6228	+2451	+620
Архангельская область / Arkhangelsk region	Холмогорская / Kholmogorskaya	5052	6474	7656	6239	6900	+1848	+661
	Голштинская / Holstein	-	-	8345	9391	9625	-	+234
	Всего / Total	5052	6474	7679	7986	8568	+3516	+582
Вологодская область / Vologda region	Черно-пестрая / Black-and-White	5660	7047	8879	8618	7970	+2310	-648
	Голштинская / Holstein	-	8289	9735	9548	9883	-	+335
	Айрширская / Ayrshire	5179	5873	7418	6961	7145	+1966	+184
	Ярославская / Iaroslavskaya	4116	4998	6735	6356	6588	+2472	+232
	Холмогорская / Kholmogorskaya	4518	5401	7026	6910	7304	+2786	+394
	Всего / Total	5344	6642	8456	8688	9113	+3769	+425
Мурманская область / Murmansk region	Айрширская / Ayrshire	8684	5930	5280	6141	8151	-533	+2010
	Голштинская / Holstein	-	8113	9350	10946	11069	-	+123
	Холмогорская / Kholmogorskaya	8583	5819	5013	5619	5945	-2638	+329
	Всего / Total	8589	6314	5885	6584	7000	-1589	416
Ненецкий АО / Nenets Autonomous district	Холмогорская / Kholmogorskaya	-	4508	-	-	-	-	-
	Всего / Total	-	4508	-	-	-	-	-
Итого по ЕСРФ / For the European North of the Russian Federation		5350	6505	8048	8326	8769	+3419	+443

В период с 2010-2023 годы отмечена положительная динамика роста надоев коров молочных пород, как по регионам Европейского Севера РФ, за исключением Мурманской области, так и в среднем по региону (рисунок 1).

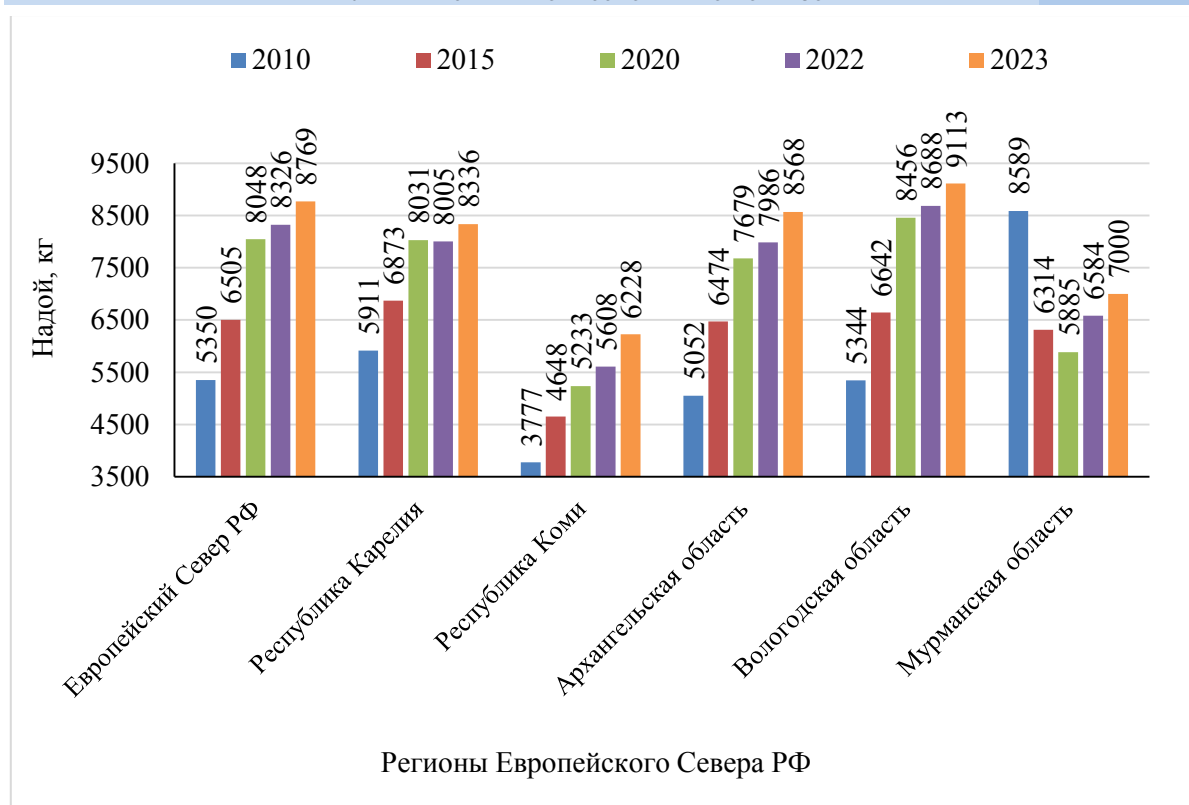


Рисунок 1 – Динамика надоя коров молочных пород по регионам Европейского Севера Российской Федерации по всем категориям хозяйств
Figure 1 – Dynamics of milk yield of dairy cows by regions of the European North of the Russian Federation for all categories of farms

В Республике Карелия продуктивность с 2010-2023 годы выросла с 5911 кг до 8336 кг соответственно (+2425 кг молока), рост за последние 2 года составил +331 кг молока. В Республике Коми также отмечается рост молочной продуктивности с 3777 кг в 2010 году до 6228 кг в 2023 году (+2451 кг молока), однако в этом регионе самые низкие надои коров за весь исследуемый период. В Архангельской области надои увеличились с 5052 кг в 2010 году до 8568 кг в 2023 году (+3516 кг молока). Лидером по надоям за период с 2010 по 2023 годы является Вологодская область, где рост продуктивности составил +3769 кг молока. В 2023 году отмечена также самая высокая продуктивность 9113 кг молока. Следует отметить Мурманскую область, где с 2010-2020 годы происходил спад молочной продуктивности животных с 8589 кг молока в 2010 году до 5885 кг в 2020 году (-2704 кг), причем в 2010 году продуктивность здесь была самой высокой среди других регионов Европейского Севера, а затем рост до 7000 кг молока в 2023 году (+1115 кг). Однако за исследуемый период в Мурманской области общее снижение продуктивности составило -1589 кг молока.

Средний показатель массовой доли белка в молоке коров молочных пород в среднем по Европейскому Северу РФ за 2023 год составил 3,98 % (+0,15 % к 2010 году). Самой жирномолочной породой является айрширская, которую разводят в Республике Карелия (4,17 % за 2020 год), Республике Коми (4,19 % за 2023 год), Вологодской области (4,31 % за 2022 год) и Мурманской области (4,13 % за 2023 год). Низкая жирномолочность зафиксирована в холмогорской породе в Мурманской области: 3,62 % за 2023 год, причем за период с 2010-2023 годы роста жирномолочности не наблюдалось (таблица 2).

Рост показателя массовой доли жира в молоке у коров черно-пестрой и ярославской породы за период с 2010-2023 годы составил +0,28 и +0,30 % соответственно. Лидером по показателю жирномолочности за исследуемый период является голштинская порода, разводимая в Архангельской области: 4,07 % в 2023 году (+0,03 % к 2022 году).

Таблица 2 – Динамика массовой доли жира в молоке коров молочных пород по Европейскому Северу Российской Федерации

Table 2 – Dynamics of the mass fraction of fat in milk from dairy cows in the European North of the Russian Federation

Регион / Region	Порода / Breed	МДЖ по годам, % (все категории хозяйств) / mass fraction of fat by years, % (All categories of farms)					2023 +/- 2010	2023 +/- 2022
		2010	2015	2020	2022	2023		
Республика Карелия / Republic of Karelia	Айрширская / Ayrshire	4,01	4,02	4,17	4,13	4,04	+0,03	-0,09
	Холмогорская / Kholmogorskaya	3,76	3,78	3,66	3,74	3,76	0	+0,02
	Голштинская / Holstein	-	-	-	-	3,75	-	-
	Всего / Total	3,99	4,01	4,12	4,10	4,01	+0,02	-0,09
Республика Коми / Komi Republic	Айрширская / Ayrshire	4,17	4,18	4,05	4,12	4,19	+0,02	+0,07
	Холмогорская / Kholmogorskaya	3,70	3,75	3,78	3,78	3,84	+0,14	+0,06
	Всего / Total	3,81	3,87	3,85	3,89	3,95	+0,14	+0,06
Архангельская область / Arkhangelsk region	Холмогорская / Kholmogorskaya	3,88	3,86	3,96	3,84	3,87	-0,01	+0,03
	Голштинская / Holstein	-	-	4,21	4,04	4,07	-	+0,03
	Всего / Total	3,88	3,86	3,97	3,95	3,99	+0,11	+0,04
Вологодская область / Vologda region	Черно-пестрая / Black-and-White	3,76	3,86	3,86	3,99	4,04	+0,28	+0,05
	Голштинская / Holstein	-	3,78	3,77	3,97	3,95	-	-0,02
	Айрширская / Ayrshire	4,23	4,17	4,24	4,31	4,21	-0,02	-0,10
	Ярославская / Yaroslavskaia	3,99	4,14	4,30	4,41	4,29	+0,30	-0,12
	Холмогорская / Kholmogorskaya	3,64	3,80	3,81	3,84	3,91	+0,27	+0,07
	Всего / Total	3,81	3,90	3,90	4,01	3,99	+0,18	-0,02
Мурманская область / Murmansk region	Айрширская / Ayrshire	3,51	3,86	3,83	3,94	4,13	+0,62	+0,19
	Голштинская / Holstein	-	3,68	3,73	3,71	3,70	-	-0,01
	Холмогорская / Kholmogorskaya	3,62	3,50	3,44	3,51	3,62	0	+0,11
	Всего / Total	3,62	3,56	3,53	3,59	3,64	+0,02	+0,05
Ненецкий АО / Nenets Autonomous district	Холмогорская / Kholmogorskaya	-	3,89	-	-	-	-	-
	Всего / Total	-	3,89	-	-	-	-	-
Итого по ЕСРФ / for the European North of the Russian Federation		3,83	3,89	3,91	3,99	3,98	+0,15	-0,01

В Европейском Севере РФ за период с 2010-2023 годы средний показатель массовой доли жира в молоке коров вырос на +0,15 %, однако рост показателя носит скачкообразный характер (рисунок 2).

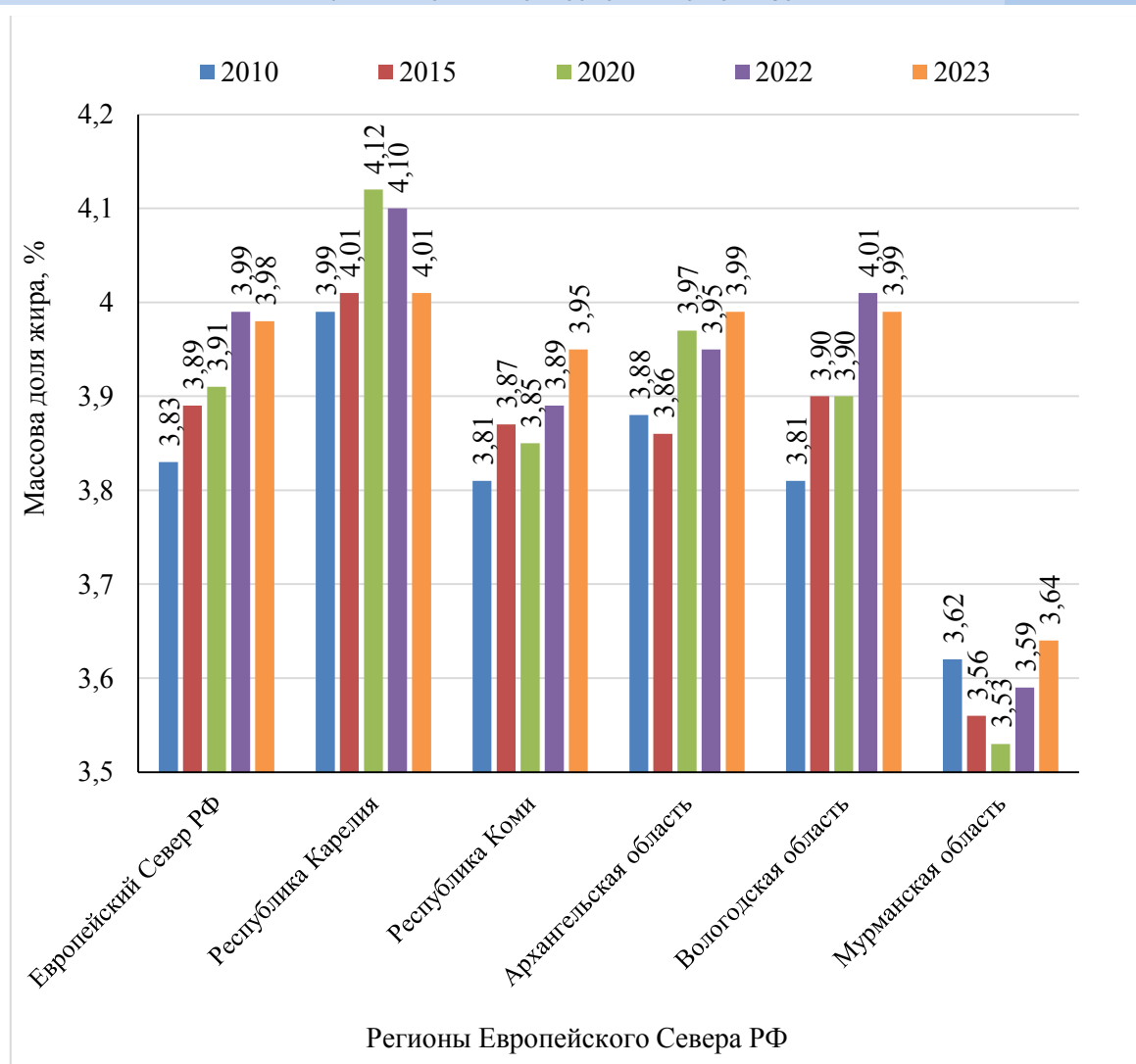


Рисунок 2 – Динамика массовой доли жира в молоке коров молочных пород по регионам Европейского Севера Российской Федерации по всем категориям хозяйств
Figure 2 – Dynamics of the mass fraction of fat in milk from dairy cows in the regions of the European North of the Russian Federation, by all categories of farms

По всем регионам Европейского Севера РФ также отмечен рост массовой доли жира в молоке: от +0,02 % в Республике Карелии и Мурманской области до +0,18 % в Вологодской области. В 2020 году в Мурманской области зафиксирован самый низкий показатель массовой доли жира в молоке 3,53 %, в этом же году в Республике Карелия зафиксирован самый высокий показатель массовой доли жира в молоке 4,12 %.

За анализируемый период отмечена положительная динамика увеличения показателя массовой доли белка в молоке коров всех пород. В айрширской породе этот показатель увеличился от +0,09 % в Вологодской области до +0,32 % в Республике Коми. В холмогорской породе рост белковомолочности составил от +0,02 % в Республике Коми до +0,06 % в Архангельской области. В Вологодской области у черно-пестрой и ярославской пород содержание белка в молоке выросло на +0,09 % и +0,11 % соответственно.

Голштинская порода крупного рогатого скота представлена не за все годы исследуемого периода, однако следует отметить, что в Республике Карелии за 2023 год показатель белковомолочности был довольно высоким и составлял 3,98 % (таблица 3).

Таблица 3 – Динамика массовой доли белка в молоке коров молочных пород по Европейскому Северу Российской Федерации

Table 3 – Dynamics of the mass fraction of protein in milk from dairy cows in the European North of the Russian Federation

Регион / Region	Порода / Breed	МДБ по годам, % (Все категории хозяйств) / Mass fraction of protein by years, % (All categories of farms)					2023 +/- 2010	2023 +/- 2022
		2010	2015	2020	2022	2023		
Республика Карелия / Republic of Karelia	Айрширская / Ayrshire	3,09	3,24	3,20	3,21	3,25	+0,16	+0,04
	Холмогорская / Kholmogorskaya	-	-	3,08	2,94	2,97	-	+0,03
	Голштинская / Holstein	-	-	-	-	3,98	-	-
	Всего / Total	3,09	3,24	3,19	3,18	3,30	+0,21	+0,12
Республика Коми / Komi Republic	Айрширская / Ayrshire	2,93	-	3,17	3,27	3,25	+0,32	-0,02
	Холмогорская / Kholmogorskaya	3,16	3,14	3,14	3,17	3,18	+0,02	+0,01
	Всего / Total	3,13	3,14	3,15	3,20	3,20	+0,07	0
Архангельская область / Arkhangelsk region	Холмогорская / Kholmogorskaya	3,12	3,14	3,16	3,13	3,18	+0,06	+0,05
	Голштинская / Holstein	-	-	3,38	3,35	3,35	-	0
	Всего / Total	3,12	3,14	3,17	3,26	3,28	+0,16	+0,02
Вологодская область / Vologda region	Черно-пестрая / Black-and-White	3,25	3,28	3,30	3,35	3,34	+0,09	-0,01
	Голштинская / Holstein	-	3,26	3,31	3,35	3,37	-	+0,02
	Айрширская / Ayrshire	3,30	3,25	3,28	3,35	3,39	+0,09	+0,04
	Ярославская / Iaroslavskaya	3,25	3,36	3,32	3,27	3,36	+0,11	+0,09
	Холмогорская / Kholmogorskaya	3,22	3,24	3,18	3,22	3,25	+0,03	+0,03
	Всего / Total	3,25	3,28	3,29	3,34	3,36	+0,11	+0,02
Мурманская область / Murmansk region	Айрширская / Ayrshire	3,11	3,15	3,02	3,11	3,24	+0,13	+0,13
	Голштинская / Holstein	-	3,15	3,23	3,26	3,21	-	-0,05
	Холмогорская / Kholmogorskaya	3,08	3,05	3,00	3,03	3,07	-0,01	+0,04
	Всего / Total	3,08	3,08	3,05	3,08	3,10	+0,02	+0,02
Ненецкий АО / Nenets Autonomous district	Холмогорская / Kholmogorskaya	-	3,08	-	-	-	-	-
	Всего / Total	-	3,08	-	-	-	-	-
Итого по ЕСРФ / for the European North of the Russian Federation		3,21	3,24	3,25	3,30	3,30	+0,09	0

По регионам Европейского Севера РФ за период с 2010-2023 годы наблюдается положительная динамика увеличения среднего показателя массовой доли белка в молоке коров. Рост за весь исследуемый период составил +0,09 %, причем за последние 2 года показатель был на одном уровне 3,30 % (рисунок 3).

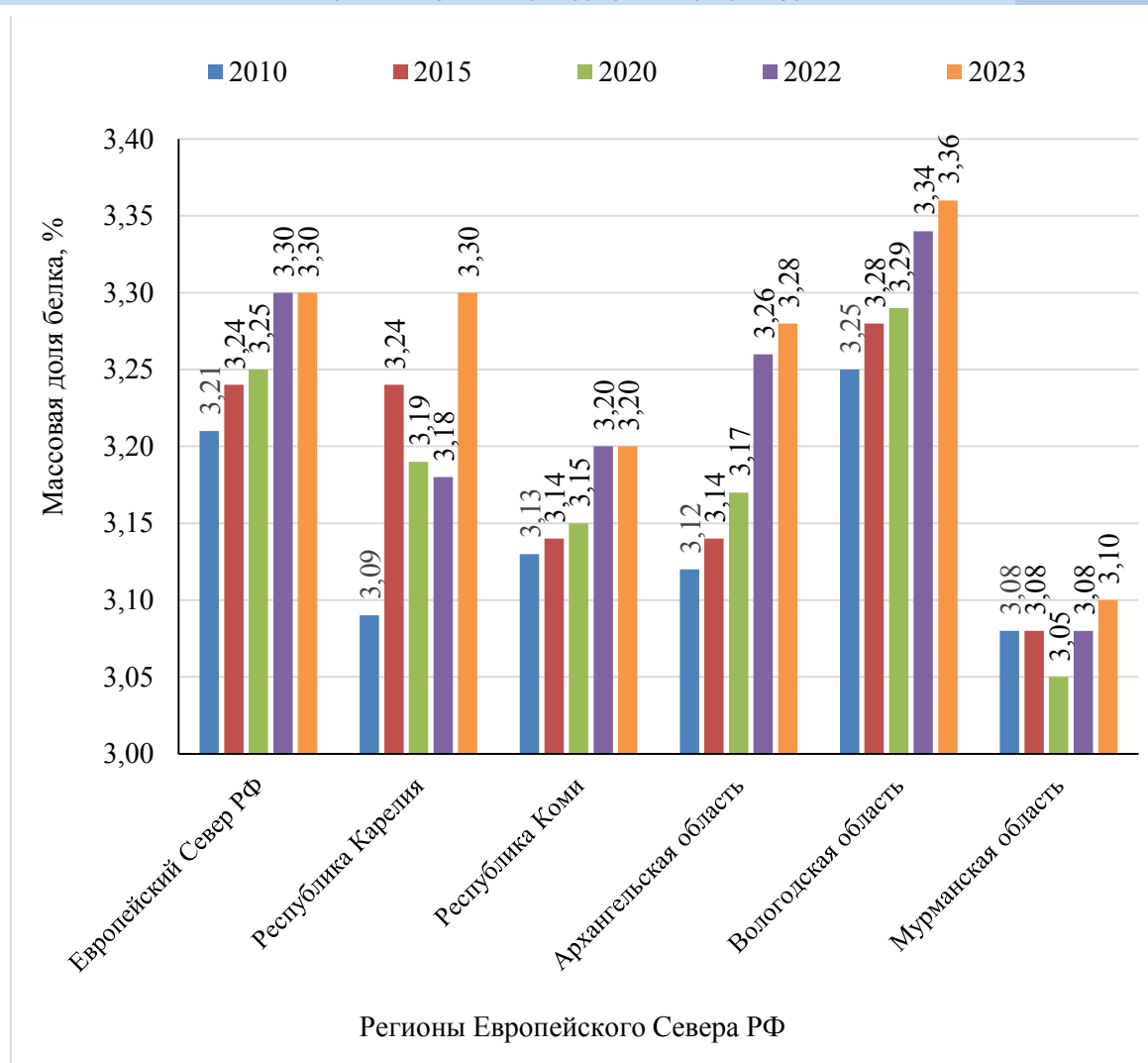


Рисунок 3 – Динамика массовой доли белка в молоке коров молочных пород по регионам Европейского Севера Российской Федерации по всем категориям хозяйств
Figure 3 – Dynamics of the mass fraction of protein in milk from dairy cows in the regions of the European North of the Russian Federation, by all categories of farms

Ежегодный рост массовой доли белка в молоке коров молочных пород зафиксирован в Республике Коми, в Архангельской области, а также в Вологодской области: за весь исследуемый период увеличение составило +0,07, +0,16 и +0,11 % соответственно. В Республике Карелия как за весь исследуемый период, так и за 2 последних года отмечается самый высокий рост показателя массовой доли белка в молоке коров: +0,21 и +0,12 % соответственно. Самые низкие показатели белкомолочности отмечаются в Мурманской области: 3,05 % в 2020 году; по 3,08 % в 2010, 2015 и 2022 годах соответственно.

Заключение. Согласно проведенной динамике продуктивных признаков коров молочных пород в условиях Европейского Севера РФ в период с 2010 по 2023 годы выявлено увеличение надоя коров на 3419 кг молока, что составило 8769 кг. Наибольший надой коров за 2023 год установлен в Вологодской области – 9113 кг молока, интенсивность роста самая высокая с 2010 года составила 3769 кг молока. Второе место по надоя коров занимает Архангельская область – 8568 кг молока и третье Республика Карелия – 8336 кг молока за 2023 год. Самый высокий надой коров зафиксирован по голштинской породе: в Мурманской области – 11069 кг молока, второе место – Вологодская область – 9883 кг молока, третье место – Республика Карелия 9637 кг молока, четвертое – Архангельская область 9625 кг молока.

Наивысший показатель массовой доли жира в молоке коров зафиксирован в Республике Карелия 4,01 %, в Вологодской и Архангельской областях – 3,99 %. Самый высокий показатель массовой доли жира выявлен в молоке коров айрширской породы 4,21 % по Вологодской области.

По холмогорской породе – 4,04 % в Вологодской области и Республике Карелия. В Архангельской области лучший показатель в молоке коров голштинской породы 4,07 %. Самый высокой жирномолочностью 4,29 % отличаются коровы ярославской породы в Вологодской области.

На Европейском Севере РФ лучшие показатели массовой доли белка в молоке коров установлены в Вологодской области 3,36 %, что превосходит Республику Карелию на 0,06 %, Архангельскую на 0,08 %, Республику Коми на 0,16 %, Мурманскую область на 0,26 % в 2023 году.

Следовательно, Вологодская область является лидером на Европейском Севере РФ по величине надоя коров и качественным показателям молока.

Conclusion. According to the dynamics of productive traits of dairy cows in the European North of the Russian Federation, between 2010 and 2023, there was an increase in milk yield by 3419 kg, which amounted to 8769 kg. In 2023, the highest milk yield was recorded in the Vologda Region, with 9113 kg of milk, and the highest growth rate since 2010 was 3769 kg of milk. The second place in terms of milk yield is occupied by the Arkhangelsk Region, with 8,568 kg of milk, and the third place is occupied by the Republic of Karelia, with 8,336 kg of milk in 2023. The highest milk yield was recorded for the Holstein breed: in the Murmansk Region, with 11,069 kg of milk, the second place is occupied by the Vologda Region, with 9,883 kg of milk, the third place is occupied by the Republic of Karelia, with 9,637 kg of milk, and the fourth place is occupied by the Arkhangelsk Region, with 9,625 kg of milk.

The highest fat content in cow's milk was recorded in the Republic of Karelia at 4.01 %, in the Vologda and Arkhangelsk regions at 3.99 %. The highest fat content was found in the milk of Ayrshire cows in the Vologda region at 4.21 %. In the Kholmogory breed, the fat content was 4.04 % in the Vologda region and the Republic of Karelia. In the Arkhangelsk region, the best fat content was found in the milk of Holstein cows at 4.07 %. Cows of the Yaroslavl breed in the Vologda region have the highest fat content of 4.29 %.

In the European North of the Russian Federation, the best indicators of the mass fraction of protein in cow's milk are established in the Vologda Region at 3.36 %, which exceeds the Republic of Karelia by 0.06 %, the Arkhangelsk Region by 0.08 %, the Republic of Komi by 0.16 %, and the Murmansk Region by 0.26 % in 2023.

Therefore, the Vologda Region is the leader in the European North of the Russian Federation in terms of the yield of cows and the quality of milk.

Библиографический список

1. Самусенко Л. Д. Лактационная деятельность коров – как фактор продуктивного долголетия. Вестник аграрной науки. 2021. № 2 (89). С. 100-104.
2. Шендаков А. И. Генетические факторы увеличения селекционных признаков в племенных стадах чёрно-пёстрого скота Орловской области. Вестник аграрной науки. 2018. № 1 (70). С. 52-58.
3. Маклахов А. В. и др. Система управления селекционным процессом в популяциях молочного скота в условиях Северо-Западной зоны Российской Федерации: рекомендации. Вологда-Молочное: Вологодская ГМХА, 2017. 52 с.
4. Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года: распоряжение Правительства РФ от 12.04.2020 г. № 993-р. <http://docs.cntd.ru/document/564654448>
5. Аксенова О. А. Генетический прогресс в процессе улучшения производства молока. Проблемы продовольственной безопасности (EPFS 2023). Материалы Международной научно-практической конференции. Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. 2023. С. 62-67.
6. Косяченко Н. М., Абрамова М. В., Ильина А. В. и др. Голштинская порода в создании улучшенных генотипов и внутривидовых типов крупного рогатого скота. Ярославль: Канцлер, 2020. 157 с.
7. Абрамова Н. И., Хромова О. Л., Селимян М. О., Зенкова Н. В. Совершенствование племенных и продуктивных признаков крупного рогатого скота в условиях Северо-Запада. Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2024. 188 с.
8. Сложенкина М. И., Горлов И. Ф., Кудряшова О. В., Антипова Т. А., Воронцова Е. С., Пузанкова В. А., Мосолова Н. И., Брехова С. А. Продуктивные качества коров разных сроков лактации в условиях промышленных технологий. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и профессиональное образование. 2024. № 6 (78). С. 214-222.
9. Россия и страны мира. 2024: Статистический сборник. Росстат. М., 2024. 391 с.
10. Юдин В. М., Любимов А. И., Никитин К. П. Селекция черно-пестрой породы крупного рогатого скота с использованием различных методов племенного подбора. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 1. С. 37-40.
11. Алтухова В. В., Востроилова А. В. Генетическая и паратипическая обусловленность формирования высокопродуктивного стада крупного рогатого скота при промышленной технологии производства молока. Агроген Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 1. № 1. С. 60-64.
12. Федосеева Н. А., Келин Ю. В., Горелик О. В., Неверова О. П. Взаимосвязь продуктивных признаков у голштинских коров по лактациям. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2023. № 4 (75). С. 131-137.
13. Костомахин Н. М., Воронкова О. А., Габедава М. А., Ермошина Е. В. Динамика молочной продуктивности коров черно-пестрой породы по лактациям. Главный зоотехник. 2020. № 6. С. 35-42.

14. Костомахин Н. М., Габедова М. А., Воронкова О. А. Эффективность использования различных типов подбора в повышении молочной продуктивности коров. Главный зоотехник. 2019. № 1. С. 19-24.
15. Костомахин Н., Габедова М., Воронкова О. Воспроизводительные качества и продуктивность коров. Ветеринария сельскохозяйственных животных. 2019. № 7. С. 56-60.
16. Костомахин Н. М., Воронкова О. А., Габедова М. А. Молочная продуктивность и воспроизводительная способность коров разной кровности по голштинской породе. Вестник Курганской ГСХА. 2021. № 3 (39). С. 43-50.
17. Chechenikhina O., Loretts O., Bykova O., Shatskikh E., Gridin V., Topuriya L. Productive qualities of cattle in dependence on genetic and paratypic factors International. Journal of Advanced Biotechnology and Research. 2018. No 9 (1). Pp. 587-593.
18. Санова З. С., Мазуров В. Н., Евстафьева Л. В. Использование новых технологий в молочном скотоводстве и темпы изменения молочной продуктивности коров. Владимирский земледелец. 2024. № 2 (108). С. 52-56.
19. Чеченихина О. С., Быкова О. А., Лоретц О. Г., Степанов А. В. Возраст выбытия коров из стада в зависимости от генетических и паратипических факторов. Аграрный вестник Урала. 2021. № 6 (209). С. 71-79.
20. Михалюк А. Н., Танана Л. А., Лебедько Е. Я. Молекулярно-генетические маркеры в совершенствовании хозяйственно-полезных признаков молочного крупного рогатого скота в союзном государстве. Москва, 2023. 228 с.
21. Ежегодники по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2010-2023). Москва, 2011-2024.

References

1. Samusenko L. D. Lactation activity of cows as a factor of productive longevity. Bulletin of Agrarian Science. 2021. No. 2 (89). Pp. 100-104.
2. Shendakov A. I. Genetic factors of increasing selection traits in breeding herds of black-and-white cattle in the Oryol Region. Bulletin of Agrarian Science. 2018. No. 1 (70). Pp. 52-58.
3. Maklakhov A. V. et al. The system of management of the selection process in populations of dairy cattle in the conditions of the North-Western zone of the Russian Federation: recommendations. Vologda-Molochnoye: Vologodskaya GMA, 2017. 52 p.
4. The Strategy for the Development of the Agro-Industrial and Fisheries Complexes of the Russian Federation for the Period up to 2030: Order of the Government of the Russian Federation No. 993-r dated April 12, 2020. <http://docs.cntd.ru/document/564654448>
5. Aksenova O. A. Genetic Progress in Improving Milk Production. Problems of food security (EPFS 2023). Materials of the International scientific and practical conference. Gorki: Belarusian State Agricultural Academy, 2023. Pp. 62-67.
6. Kosyachenko N. M., Abramova M. V., Ilyina A. V. et al. Holstein breed in the creation of improved genotypes and intra-breed types of cattle. Yaroslavl: Chancellor, 2020. 157 p.
7. Abramova N. I., Khromova O. L., Selimyan M. O., Zenkova N. V. Improvement of the Breeding and Productive Characteristics of Cattle in the North-West. Moscow; Vologda: Infra-Engineering, 2024. 188 p.
8. Slozhenkina M. I., Gorlov I. F., Kudryashova O. V., Antipova T. A., Vorontsova E. S., Puzankova V. A., Mosolova N. I., Brekhova S. A. Productive qualities of cows of different lactation periods under industrial technologies. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Professional Education. 2024. No 6 (78). Pp. 214-222.
9. Russia and the Countries of the World. 2024. Rosstat. M., 2024. 391 p.
10. Yudin V. M., Lyubimov A. I., Nikitin K. P. Selection of the Black-and-White Cattle Breed Using Various Methods of Breeding Selection. Proceedings of the Samara State Agricultural Academy. 2016. No. 1. Pp. 37-40.
11. Altukhova V. V., Vostroilov A. V. Genetic and Paratypic Determinants of the Formation of a High-Productive Cattle Herd in an Industrial Milk Production System. Agrogen of the Voronezh State Agrarian University. 2023. Vol. 1. No. 1. Pp. 60-64.
12. Fedoseeva N. A., Kelin Yu. V., Gorelik O. V., Neverova O. P. The Relationship of Productive Traits in Holstein Cows by Lactation. Bulletin of the Michurinsk State Agrarian University. 2023. No. 4 (75). Pp. 131-137.
13. Kostomakhin N. M., Voronkova O. A., Gabadava M. A., Ermoshina E. V. Dynamics of Milk Productivity of Black-and-White Cows by Lactation. Chief Zoo technician. 2020. No. 6. Pp. 35-42.
14. Kostomakhin N. M., Gabadava M. A., Voronkova O. A. Effectiveness of Using Different Types of Selection in Increasing Milk Productivity of Cows. Chief Zoo technician. 2019. No. 1. Pp. 19-24.
15. Kostomakhin N., Gabadava M., Voronkova O. Reproductive qualities and productivity of cows. Veterinary medicine of farm animals. 2019. No. 7. Pp. 56-60.
16. Kostomakhin N. M., Voronkova O. A., and Gabadava M. A. Milk Production and Reproductive Capacity of Cows of Different Bloodlines in the Holstein Breed. Proceedings of the Kurganskoy GSKHA. 2021. No. 3 (39). Pp. 43-50.
17. Chechenikhina O., Loretts O., Bykova O., Shatskikh E., Gridin V., Topuriya L. Productive qualities of cattle in dependence on genetic and paratypic factors International. Journal of Advanced Biotechnology and Research. 2018. No 9 (1). Pp. 587-593.
18. Sanova Z. S., Mazurov V. N., Evstafieva L. V. The use of new technologies in dairy farming and the rate of change in the milk productivity of cows. Vladimirsky Zemledelets. 2024. No 2 (108). Pp. 52-56.
19. Chechenikhina O. S., Bykova O. A., Loretts O. G., Stepanov A. V. Age of Cow Discharge from the Herd Depending on Genetic and Paratypic Factors. Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 6 (209). Pp. 71-79.
20. Mikhaliuk A. N., Tanana L. A., Lebedko E. Ya. Molecular and genetic markers in the improvement of economic useful traits of dairy cattle in the Union State. Moscow, 2023. 228 p.
21. Yearbooks on breeding work in dairy cattle breeding in farms of the Russian Federation (2010-2023). Moscow, 2011-2024.

Информация об авторах

Зенкова Наталья Валериевна, научный сотрудник, ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук» (Российская Федерация, 160555, г. Вологда, с. Молочное, ул. Ленина, 14), ORCID 0000-0001-7844-9586, e-mail: zenkova208@mail.ru

Абрамова Наталья Ивановна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук» (Российская Федерация, 160555, г. Вологда, с. Молочное, ул. Ленина, 14), ORCID 0000-0002-5315-7656, e-mail: natali.abramova.53@mail.ru

Хромова Ольга Леонидовна, старший научный сотрудник, ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук» (Российская Федерация, 160555, г. Вологда, с. Молочное, ул. Ленина, 14), ORCID 0000-0002-8101-6316, e-mail: khromova_olenka@mail.ru

Селимян Максим Олегович, научный сотрудник, ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук» (Российская Федерация, 160555, г. Вологда, с. Молочное, ул. Ленина, 14), ORCID 0000-0002-6681-7879, e-mail: sss090909@mail.ru

Authors' Information

Zenkova Natalya Valerievna, Researcher, Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 160555, Vologda, Molochnoye Village, Lenin Street, 14), ORCID 0000-0001-7844-9586, e-mail: zenkova208@mail.ru

Abramova Natalya Ivanovna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 160555, Vologda, Molochnoye Village, Lenin Street, 14), ORCID 0000-0002-5315-7656, e-mail: natali.abramova.53@mail.ru

Khromova Olga Leonidovna, Senior Researcher, Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 160555, Vologda, Molochnoye Village, Lenin Street, 14), ORCID 0000-0002-8101-6316, e-mail: khromova_olenka@mail.ru

Selinyan Maxim Olegovich, Researcher, Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 160555, Vologda, Molochnoye Village, Lenin Street, 14), ORCID 0000-0002-6681-7879, e-mail: sss090909@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-47

THE INCUBATION CHICKEN EGGS PARAMETERS AFTER THE EGGSHELL SURFACE DISINFECTION WITH A NEW PREPARATION

¹Kolesnikov R. O., ¹Morozov V. Yu., ¹Saleeva I. P.,
¹Sukhanova S. F., ¹Voropaev V. V., ²Ryadnov A. A.

¹*Saint Petersburg State Agrarian University
Saint Petersburg, Russian Federation*

²*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: nauka007@mail.ru

Received 20.10.2025

Submitted 18.11.2025

Summary

The article presents the results of a study evaluating the effectiveness of a new complex disinfectant for hatching eggs. The findings demonstrate that the developed preparation significantly improves key incubation parameters compared to traditional disinfectants. The optimal application method was identified, ensuring both high efficacy and economic feasibility. The research confirms the potential of this domestic development as a safe and efficient alternative for modern poultry farming.

Abstract

Introduction. Disinfection of hatching eggs remains a critical link in the poultry production chain. The use of traditional agents, such as formalin, poses risks to the health of personnel and embryos, and single-component products often fail to provide the desired effect. Therefore, the development of new, safe, and effective domestic disinfectants is a strategic priority. The aim of this study was to develop a new complex disinfectant (NCD) based on organic acids and evaluate its effect on the hatchability of chicken eggs. A two-stage experiment examined the effects of various NCD concentrations, application methods (irrigation, aerosol), and treatment regimens (single or double) on chick hatchability, egg hatchability, and embryonic mortality. Control groups were treated with formalin and hydrogen peroxide. It was found that when treated with NKDP at the optimal concentration, the chick hatch rate reached 82.29 %, which was 8.22 % higher than in the formalin-treated group. When compared with hydrogen peroxide, a single aerosol treatment with NKDP demonstrated the best result: a chick hatch rate of 84.38 % (+10.97 % compared to the control), and a hatchability of 86.17 %. Total incubation waste in the best experimental group was 15.63 %, which is 34.8 % lower than in the control. NKDP demonstrated a significant advantage over traditional disinfectants, providing a significant increase in hatchability and hatchability while reducing embryonic mortality. The greatest effectiveness is achieved with a single treatment before setting the eggs, making its use economically feasible. This development is consistent with the objectives of import substitution and the transition to environmentally friendly technologies in poultry farming.

Keywords: hatching eggs of chickens, chicken eggs, disinfection of chicken eggs, incubation waste, disinfectants.

Citation. Kolesnikov R. O., Morozov V. Yu., Saleeva I. P., Sukhanova S. F., Voropaev V. V., Ryadnov A. A. The incubation chicken eggs parameters after the eggshell surface disinfection with a new preparation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 421-428 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-47.

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 576.8.033+636.5.082.474

**ИНКУБАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КУРИНЫХ ЯИЦ ПРИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИИ
ПОВЕРХНОСТИ СКОРЛУПЫ НОВЫМ ПРЕПАРАТОМ**¹Колесников Р. О., кандидат ветеринарных наук, доцент¹Морозов В. Ю., доктор ветеринарных наук, профессор¹Салеева И. П., доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН,
член-корреспондент РАН¹Суханова С. Ф., доктор сельскохозяйственных наук, профессор¹Воропаев В. В., аспирант²Ряднов А. А., доктор биологических наук, профессор¹ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный аграрный университет
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация Дезинфекция инкубационных яиц остается критически важным звеном в технологической цепочке птицеводства. Использование традиционных средств, таких как формалин, сопряжено с рисками для здоровья персонала и эмбрионов, а монокомпонентные препараты зачастую не обеспечивают надлежащего эффекта. В связи с этим разработка новых, безопасных и эффективных отечественных дезинфектантов является стратегически важной задачей. Целью работы являлась разработка нового комплексного дезинфицирующего препарата (НКДП) на основе органических кислот и оценка его влияния на инкубационные показатели куриных яиц. В ходе двухэтапного эксперимента изучалось влияние различных концентраций НКДП, а также способов его нанесения (орошение, аэрозоль) и режимов обработки (однократный, двукратный) на вывод цыплят, выводимость яиц и эмбриональный отход. Контрольные группы обрабатывались формалином и перекисью водорода. Было установлено, что при обработке НКДП в оптимальной концентрации вывод цыплят достиг 82,29 %, что на 8,22 % превысило показатель в группе, обработанной формалином. При сравнении с перекисью водорода наилучший результат показала однократная аэрозольная обработка НКДП: вывод цыплят – 84,38 % (+10,97 % к контролю), выводимость – 86,17 %. Общие отходы инкубации в лучшей опытной группе составили 15,63%, что на 34,8 % ниже, чем в контроле. Препарат НКДП продемонстрировал значительное преимущество перед традиционными дезинфектантами, обеспечивая достоверное повышение вывода и выводимости при одновременном снижении эмбриональной смертности. Наибольшая эффективность достигается при однократной обработке перед закладкой, что делает его применение экономически целесообразным. Разработка соответствует задачам импортозамещения и перехода на экологически безопасные технологии в птицеводстве.

Ключевые слова: инкубационные яйца кур, куриные яйца, обеззараживание куриных яиц, отходы инкубации, дезинфицирующие препараты.

Цитирование. Колесников Р. О., Морозов В. Ю., Салеева И. П., Суханова С. Ф., Воропаев В. В., Ряднов А. А. Инкубационные показатели куриных яиц при обеззараживании поверхности скорлупы новым препаратом. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 421-428. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-47.

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 ориентации на импортозамещение и укрепление продовольственного суверенитета Минсельхозом России разработан национальный проект «Технологическое обеспечение продовольственной безопасности», запускаемый в 2025 году [1, 2]. Одной из его ключевых целей является достижение суверенитета в технологическом обеспечении отрасли, включая производство критически важных кормовых добавок и ветеринарных препаратов [1]. Безопасность кормов и продуктов животноводства неразрывно связана со здоровьем людей и животных, а также с качеством пищевой продукции [3]. Разработка отечественных эффективных дезинфектантов напрямую способствует решению этих стратегических задач.

Инкубаторий является критически важным и уязвимым звеном в производственной цепочке птицефабрик. Через инкубационные яйца могут передаваться инфекционные заболевания, а сам инкубационный шкаф представляет собой идеальную среду для размножения патогенной и условно-патогенной микрофлоры. Заражение цыплят при выводе часто приводит к

острому сепсису и падежу в первые сутки жизни [4]. По данным исследований, воздух птичников содержит до 5 млн микроорганизмов на м³, а на скорлупе каждого яйца при клеточном содержании может находиться до 240 тыс. энтеробактерий [5, 6]. Низкокачественная дезинфекция приводит к снижению выводимости яиц до 60-65 % и повышению постэмбрионального отхода молодняка до 8,5 %, нанося существенный экономический ущерб [7].

Несмотря на микробиологические риски, многие предприятия продолжают использовать для дезинфекции формальдегид, который обладает доказанным канцерогенным и иммуносупрессивным действием, негативно влияет на персонал, разрушает защитную кутикулу скорлупы, повышая уязвимость яйца к микрофлоре, и приводит к патологиям развития эмбрионов [4, 8]. Кроме того, формальдегид не обладает остаточной активностью и не предотвращает реконтаминации, а его применение во многих странах запрещено [10, 11].

Традиционные монокомпонентные средства, такие как растворы перекиси водорода, также имеют ограничения. Хотя перекисные соединения (например, надуксусная кислота) являются сильными окислителями и широко применяются, они могут обладать коррозионной активностью, требуют точного дозирования и имеют едкий запах [12, 13].

Монокомпонентные препараты в целом часто не обеспечивают надлежащего де-контamинирующего эффекта, оставляя высокое остаточное обсеменение, что создает почву для рецидивов контаминации [14].

Перспективным направлением является создание комплексных препаратов на основе органических кислот. Органические кислоты и их комбинации демонстрируют ряд преимуществ: эффективны против бактерий, вирусов, грибов и спор, обладают низкой токсичностью для эмбрионов, персонала и окружающей среды, не оказывают иммуносупрессивного действия, способны сохранять активность в течение определенного времени, предотвращая реконтаминацию, разлагаются на безопасные компоненты (воду, углекислый газ) [14, 15].

Исследования показывают, что трансовариальное использование некоторых органических кислот, таких как феруловая, способно влиять на эмбриональное развитие, купируя избыточное свободнорадикальное окисление (липопероксидацию) в критические периоды, что повышает жизнеспособность эмбрионов [16]. Также существуют успешные примеры применения композиций на основе яичного белка для аэрозольной обработки, которые достоверно повышают вывод и жизнеспособность цыплят [17]. Эти данные подтверждают целесообразность изыскания новых комбинаций органических кислот.

Таким образом, **целью настоящего исследования** была разработка и оценка эффективности нового комплексного дезинфицирующего препарата на основе органических кислот для обработки поверхности скорлупы инкубационных яиц.

Материалы и методы. Экспериментальная работа осуществлялась на базе учебно-производственной лаборатории при кафедре птицеводства и мелкого животноводства ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет».

В рамках исследования научным коллективом был создан новый комплексный дезинфицирующий препарат (НКДП), основу которого составили органические кислоты, синтезированные специальными штаммами микроорганизмов. Работа проводилась в два этапа. **На первом этапе** целью являлся подбор наиболее эффективной концентрации рабочего раствора, повышающей инкубационные показатели яиц.

Для проведения опыта были использованы инкубационные яйца, полученные от кур яичного кросса Dekalb White в возрасте 210 дней, поставленные с АО «Птицефабрика Синявинская» (Ленинградская область). Было сформировано 4 группы яиц: одна контрольная и три опытные. Дезинфекция скорлупы проводилась методом орошения. Контрольную группу обрабатывали 40 % раствором формалина, который является стандартным дезинфектантом в соответствии с отраслевым стандартом ОСТ 46 186-85 [14, 15]. Опытные группы обрабатывались НКДП в трех различных концентрациях (№1-3) при норме расхода 10-15 мл/м³ и выдержке 20-30 минут.

Второй этап исследований был посвящен изучению влияния различных способов аппликации препарата (орошение и аэрозолирование) на инкубационные показатели. Сравнивалась результативность однократного и двукратного режимов обработки, а также оценивалось воздействие разработанного НКДП на вывод цыплят, выводимость яиц и эмбриональный отход по сравнению с перекисью водорода. Материалом для данного этапа послужили инкубационные яйца кросса Dekalb White (возраст несушек 235 дней), завезенные из АО «Птицефабрика Синявинская».

Из партии яиц было сформировано 5 групп, по 96 штук в каждой. В контрольной группе обработку проводили однократно перед закладкой в инкубатор, используя метод орошения 6 %-ным раствором перекиси водорода. Опытные группы яиц обрабатывались НКДП с оптимально подобранной концентрацией, но разными методами:

Группы 1, 2 и 4 – однократное орошение перед закладкой.

Группы 3 и 5 – двукратная аэрозольная обработка с использованием генератора холодного тумана (перед закладкой и при переводе на вывод на 18,5 сутки инкубации).

В процессе инкубации учитывали: инкубационные качества (оплодотворенность и выводимость яиц, вывод здорового молодняка), эмбриональный отход (неоплодотворенные яйца, кровяные кольца, замершие эмбрионы, задохлики, слабые цыплята).

Результаты. Применение разработанного комплексного препарата (НКДП) в различных концентрациях для санации скорлупы инкубационных яиц позволило достичь статистически достоверного улучшения показателей вывода молодняка во всех опытных группах относительно контроля (рисунок 1).

Наибольшая эффективность была зарегистрирована в 3-й опытной группе, где результат по выводу цыплят составил 82,29 %, что на 8,22 % превышает аналогичный показатель в контрольной группе. Группы 2 и 4 также показали значительное превосходство над контролем – на 6,85 % и 5,47 % соответственно. Анализ выводимости яиц подтвердил аналогичную тенденцию. Превышение над контрольной группой составило 10,62 % в группе 3, 8,01 % в группе 2 и 6,64 % в группе 4. Во всех случаях различия являются статистически достоверными. Анализ инкубационных показателей выявил негативное влияние обработки формалином на эмбриональное развитие. В контрольной группе, где применялся данный дезинфектант, был зарегистрирован наименьший вывод молодняка – 76,04 %, что на 5,47-8,22 % ниже, чем в группах, обработанных новым препаратом.

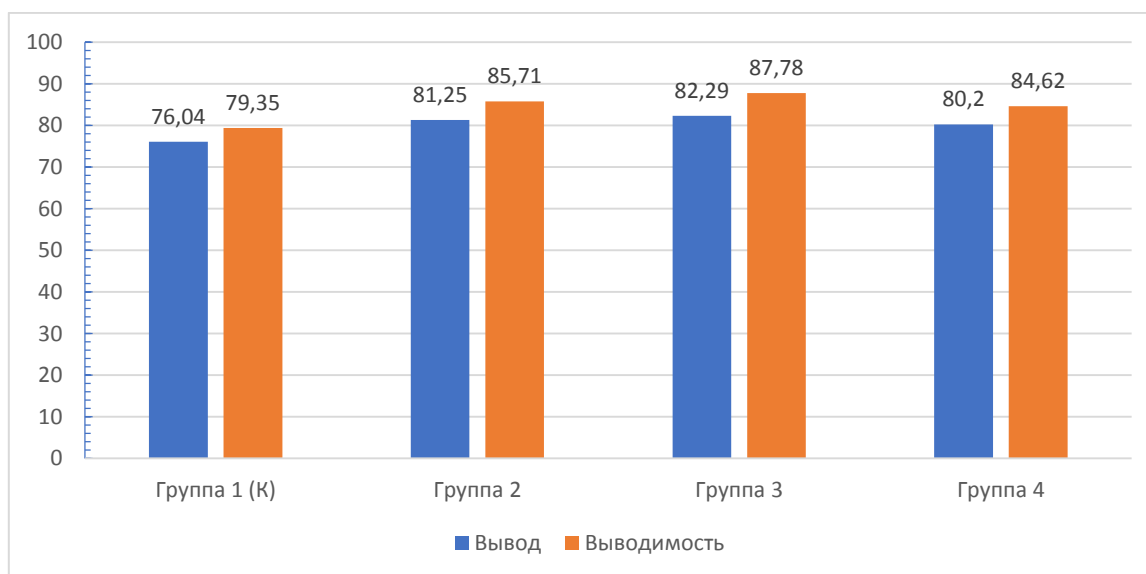


Рисунок 1 – Вывод цыплят и выводимость яиц при использовании НКДП
Figure 1 – Hatching of chickens and hatchability of eggs when using NCDP

Помимо этого, в контрольной группе наблюдался максимальный уровень эмбриональной гибели, составивший 23,96 % (23 яйца).

Структура отходов инкубации (рисунок 2) в этой группе характеризовалась наибольшим количеством случаев ранней гибели эмбрионов («ложный неоплод»), а также максимальными показателями по категориям «замершие» (4,17 %) и «задохлики» (5,21 %).

Напротив, минимальный отход был отмечен в опытной группе 3, где отсутствовали слабые цыплята, а общие потери были достоверно ниже. Группы 2 и 4 по данному показателю заняли промежуточное положение между контролем и группой 3, демонстрируя более благоприятную картину по сравнению с формалином.

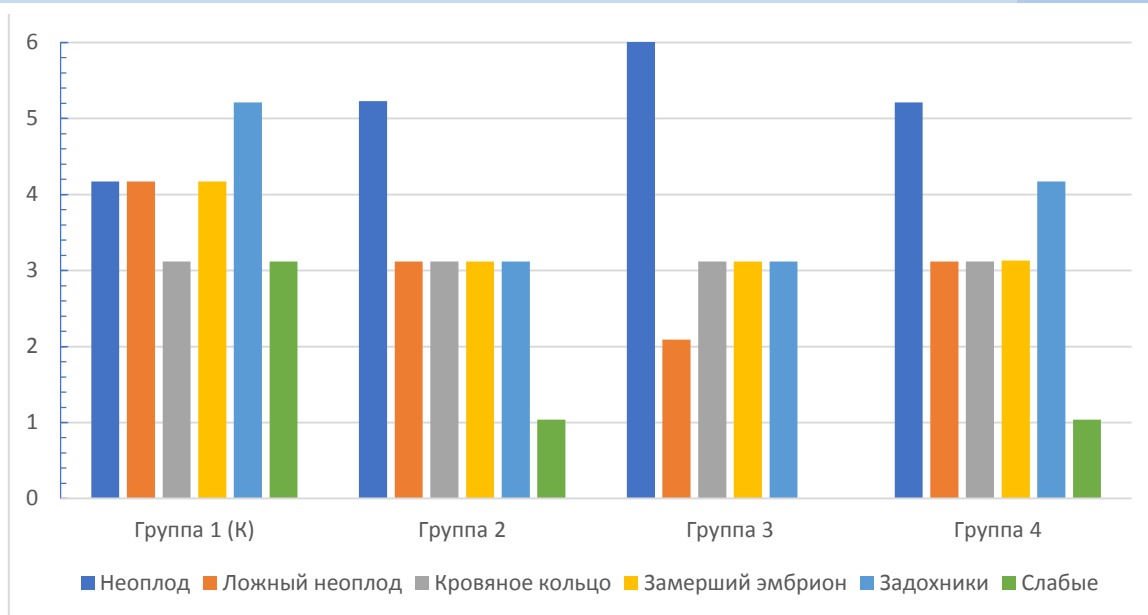


Рисунок 2 – Отходы инкубации по видам брака, %
Figure 2 – Incubation waste by type of marriage, %

Данные, полученные на втором этапе исследований, свидетельствуют о существенном преимуществе применения разработанного препарата НКДП (рисунок 3). Все опытные группы (2-5), обработанные композицией на основе органических кислот, продемонстрировали превосходство по ключевым инкубационным показателям над контрольной группой (6 %-ный р-р перекиси водорода). Наивысшая эффективность была зафиксирована в группе 4, где вывод цыплят достиг 84,38 %, а выводимость яиц составила 86,17 %. Результаты в остальных опытных группах, несмотря на некоторую вариабельность, также достоверно превышали контрольные значения, что указывает на зависимость эффективности препарата от выбранного режима и способа его аппликации.

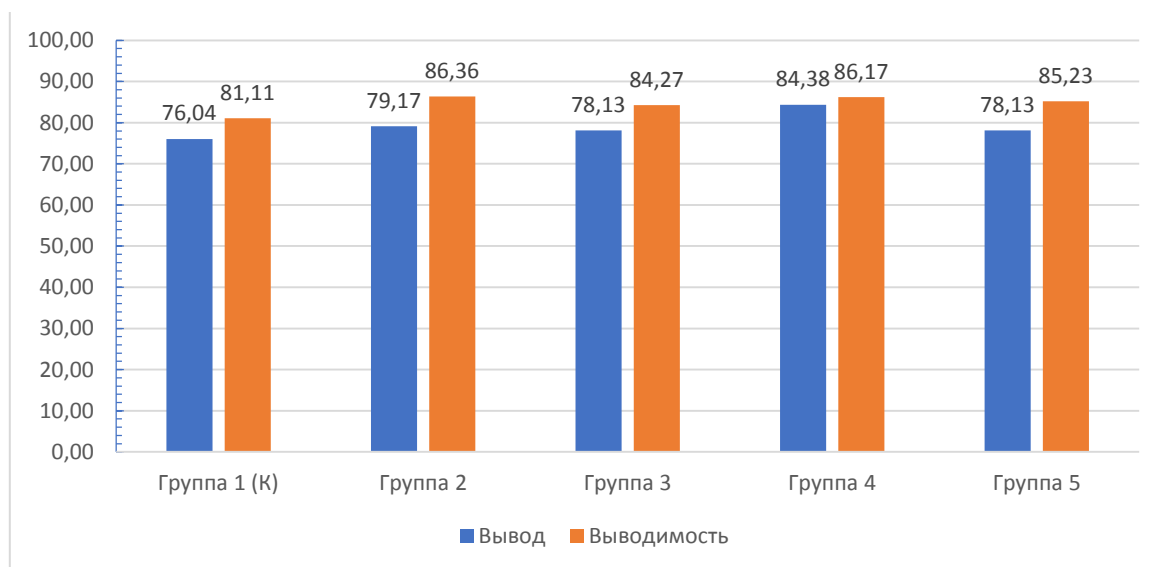


Рисунок 3 – Результаты инкубации
Figure 3 – Incubation results

Сравнительный анализ подтвердил превосходство всех опытных групп над контролем по ключевым инкубационным показателям. Прирост вывода цыплят в группах 2, 3, 4 и 5 составил 4,11 %, 2,75 %, 10,97 % и 2,75 % соответственно, а выводимости яиц – 6,47 %, 3,90 %, 6,24 % и 5,08 %.

Наивысшая эффективность была зафиксирована в группе 4, где однократная аэрозольная обработка НКДП методом холодного тумана перед закладкой обеспечила максимальный прирост вывода цыплят (10,97 %) и выводимости (6,24 %). На втором месте по результативности оказалась группа 2 с однократным орошением, где показатели вывода и выводимости достигли 79,17 % и 86,36 % соответственно.

Полученные данные позволяют заключить, что оптимальной является стратегия однократной обработки НКДП перед инкубацией, независимо от способа аппликации – аэрозольного или методом орошения. В то же время режим двукратной обработки не только не способствует улучшению инкубационных качеств, но и приводит к их снижению, одновременно повышая трудозатраты. Подробная структура эмбрионального отхода по группам представлена на рисунке 2.

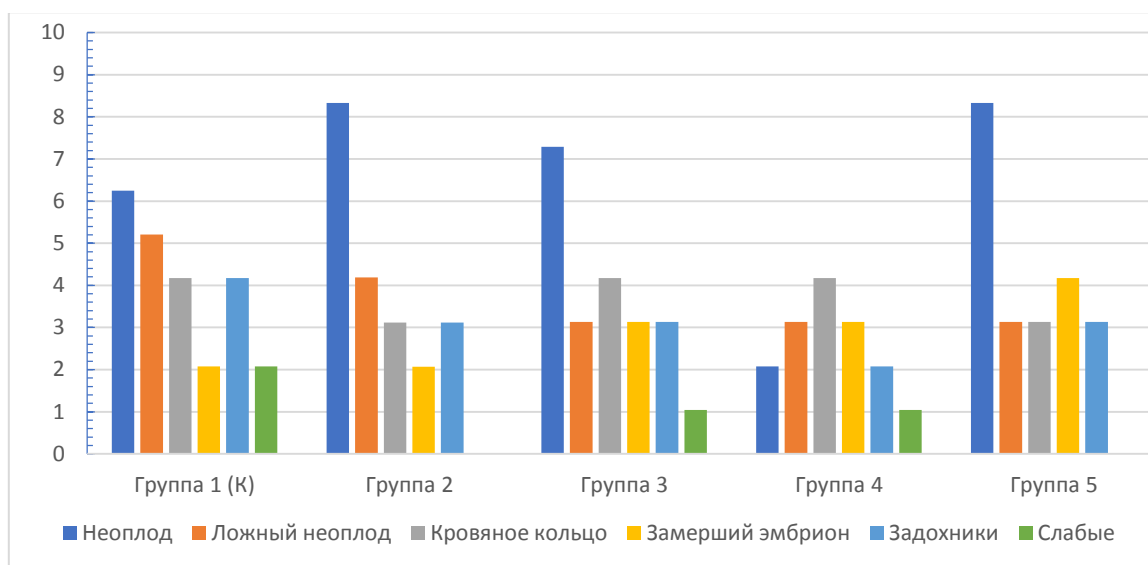


Рисунок 4 – Отходы инкубации
Figure 4 – Incubation waste

Анализ структуры эмбрионального отхода выявил значительное снижение данного показателя во всех группах, обработанных новым препаратом (НКДП), по сравнению с контролем. Так, суммарные потери инкубации в контрольной группе достигли 23,96 %, тогда как в опытных группах они варьировали от 15,63 % до 21,89 %. Наибольшая эффективность санации наблюдалась в группе 4, где отход был минимальным и составил 15,63 %, что на 34,8 % ниже контрольного значения.

Структура эмбриональной смертности также свидетельствует о преимуществе опытных групп. В группе 4 были зафиксированы наименьшие общие отходы (15,63 %) и минимальная доля «задохликов» (2,08 %). Группа 2 продемонстрировала оптимальные показатели раннего эмбриогенеза, характеризующиеся низкой частотой патологий («кровяные кольца», «задохлики») и полным отсутствием аномалий развития («слабые цыплята», «калеки»). Полученные данные однозначно свидетельствуют о том, что применение НКДП способствует достоверному снижению эмбриональной смертности на всех этапах инкубации.

Обсуждение. Проведенные исследования подтвердили высокую эффективность разработанного нового комплексного дезинфицирующего препарата (НКДП) на основе органических кислот. Установлено, что применение данного средства для обработки инкубационных яиц позволяет существенно улучшить основные инкубационные показатели по сравнению с традиционно используемыми дезинфектантами.

В ходе экспериментов доказано, что все изученные концентрации раствора НКДП обеспечивают не только эффективную дезинфекцию поверхности скорлупы, но и способствуют повышению качества инкубационных яиц, не оказывая при этом негативного влияния на эмбриональное развитие.

Сравнительный анализ с контрольной группой, где применялся 40 %-ный формалин, показал достоверное увеличение вывода цыплят во всех опытных группах. Наибольшая эффективность была достигнута в группе с оптимальной концентрацией НКДП, где

показатель вывода составил 82,29 %, что на 8,22 % превысило результат в контрольной группе. Аналогичная положительная динамика наблюдалась и по показателю выводимости яиц, который в лучшем варианте опыта превысил контроль на 10,62 %.

При сравнении с другим традиционным дезинфектантом – 6 %-ным раствором перекиси водорода – также выявлено преимущество НКДП. Наилучшие результаты получены при однократной обработке перед закладкой методом орошения или аэрозольным способом, где вывод цыплят достигал 84,38 % и 79,17 % соответственно, что на 10,97 % и 4,11 % выше контроля.

Заключение. Преимущества разработанного препарата обусловлены его широким спектром антимикробного действия, отсутствием негативного воздействия на структуру скорлупы и высокой безопасностью для эмбрионов. На основании полученных данных рекомендовано применение НКДП для однократной обработки инкубационных яиц перед закладкой методами орошения или аэрозольной генерации. Особенно это актуально в условиях необходимости снижения зависимости от импортных препаратов и перехода на экологически безопасные технологии в птицеводстве.

Conclusion. The advantages of the developed drug are due to its wide range of antimicrobial effects, the absence of negative effects on the shell structure and high safety for embryos. Based on the data obtained, it is recommended to use NCDP for a single treatment of hatching eggs before laying by irrigation or aerosol generation methods. This is especially important in the context of the need to reduce dependence on imported drugs and switch to environmentally friendly technologies in poultry farming.

Библиографический список

1. Технологическое обеспечение продовольственной безопасности: Национальный проект. Правительство России. <http://government.ru/info/54316/>
2. Технологическое обеспечение продовольственной безопасности. Национальные проекты. Россия. <https://xn--80aapampemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/new-projects/tehnologicheskoe-obespechenie-prodovolstvennoy-bezopasnosti>
3. О безопасности пищевой продукции: Федеральный закон от 02.01.2000 г. № 29-ФЗ. Официальный интернет-портал правовой информации. <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&prevDoc=102083773&backlink=1&&nd=102070179>
4. Худяков А. А. Безопасная дезинфекция инкубационных яиц. VICgroup. <https://vicgroup.ru/publications/bezopasnaya-dezinfektsiya-inkubatsionnykh-yait>
5. Фисинин В. И., Трухачев В. И., Салеева И. П. Микробиологические риски в промышленном птицеводстве и животноводстве. Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 6. С. 1120-1131.
6. Сидорова А. Микробная загрязненность воздуха в птичнике. Птицеinfo. <https://pticeinfo.ru/article/mikrobnayazagryaznennost-vozduha-v-ptichnike>
7. Салеева И. П., Иванов А. В., Зотов А. А., Королева Н. А., Офицеров В. А. Предынкубационная обработка яиц. Зоотехния. 2016. № 5. С. 27-31.
8. Фисинин В. И., Поляков А. Шестикратная дезинфекция инкубационных яиц парами формальдегида. Передовой научно-производственный опыт в птицеводстве. Экспресс-информ. Сергиев Посад, 1972. № 2. С. 29-30.
9. Николаенко В. Еще раз о препарате АТМ и формальдегиде. Птицеводство. 2000. № 2. С. 34-35.
10. Краснобаева О. А., Краснобаев Ю. В., Гонцова Л. П., Киселев А. Л. На что следует обратить внимание при дезинфекции инкубационных яиц. Ветеринария Кубани. 2012. № 4. С. 13-14.
11. Мартынов Г. Н., Байдевятов А. Б., Дурыхина О. Н. Дезинфекция инкубационных яиц формальдегидом и препаратом ВВ-1. Проблемы сельскохозяйственного производства на современном этапе и пути их решения: материалы IV Международной научно-производственной конференции. 2000. С. 133-134.
12. Современные подходы к дезинфекции на птицеводческих предприятиях. Pticvodstvo.ru. 2020. <https://pticevodstvo.ru/statji/sovremennye-podhody-k-dezinfekcii-na-pticevodcheskih-predpriyatiyah.html>
13. Надуксусная кислота: применение и эффективность. ХимСнаб. 2021. <https://himsnab.ru/naduksusnaya-kislota-primeneniye-i-effektivnost>
14. Saleeva I. P. et al. The potential of using organic acids in poultry farming to reduce microbial burden and increase productivity (Review). From Modernization to Rapid Development: Ensuring Competitiveness and Scientific Leadership of the Agro-Industrial Complex (IDSISA 2025): International Scientific and Practical Conference. Ekaterinburg: Les Ulis, 2025. P. 01007.
15. Морозов В. Ю., Салеева И. П., Колесников Р. О., Суханова С. Ф., Ильина Л. А. и др. Антибактериальные свойства органических кислот при использовании в птицеводстве. Птица и птицепродукты. 2025. № 3. С. 45-48.
16. Азарнова Т. О., Резвых А. М., Кочиш И. И. и др. Особенности динамики липопероксидации у эмбрионов кур в условиях промышленной инкубации при трансовариальном использовании феруловой кислоты. Журнал сибирского федерального университета. 2024. № 17 (1). С. 82-94.
17. Аганичева А. А., Кузнецов О. Ю., Алексеева С. А. Способ повышения вывода и жизнеспособности цыплят: RU2540570C1. 2015-02-10.

References

1. Technological provision of food security: A national project. The Russian government. <http://government.ru/info/54316/>
2. Technological provision of food security. National projects. Russia. <https://xn--80aapampemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/new-projects/tehnologicheskoe-obespechenie-prodovolstvennoy-bezopasnosti>

3. About food safety: Federal Law No. 29-FZ dated 02.01.2000. The official Internet portal of legal information. <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&prevDoc=102083773&backlink=1&&nd=102070179>
4. Khudyakov A. A. Safe disinfection of hatching eggs. VICgroup. <https://vicgroup.ru/publications/bezopasnaya-dezinfektsiya-inkubatsionnykh-yait>
5. Fisnin V. I., Trukhachev V. I., Saleeva I. P. Microbiological risks in industrial poultry and animal husbandry. *Agricultural biology*. 2018. Vol. 53. No 6. Pp. 1120-1131.
6. Sidorova A. Microbial air pollution in the poultry house. Ptitsinfo. <https://pticainfo.ru/article/mikrobnaya-zagryaznennost-vozduha-v-ptichnike>
7. Saleeva I. P., Ivanov A.V., Zotov A. A., Koroleva N. A., Officerov V. A. Pre-incubation egg processing *Zoo-techny*. 2016. No 5. Pp. 27-31.
8. Fisnin V. I., Polyakov A. Six-fold disinfection of hatching eggs with formaldehyde vapors. *Advanced scientific and production experience in poultry farming*. Express-inform. Sergiev Posad, 1972. No 2. Pp. 29-30.
9. Nikolaenko V. Once again about the ATM preparation and formaldehyde. *Poultry farming*. 2000. No 2. Pp. 34-35.
10. Krasnobaeva O. A., Krasnobaev Yu. V., Gontsova L. P., Kiselev A. L. What should you pay attention to when disinfecting hatching eggs. *Veterinary medicine of Kuban*. 2012. No 4. Pp. 13-14.
11. Martynov G. N., Baydevlyatov A. B., Durykhina O. N. Disinfection of hatching eggs with formaldehyde and BB-1 preparation. Problems of agricultural production at the present stage and ways to solve them: proceedings of the IV International Scientific and Industrial Conference. 2000. Pp. 133-134.
12. Modern approaches to disinfection at poultry farms. Pticevodstvo.ru. 2020. <https://pticevodstvo.ru/statji/sovremennye-podhody-k-dezinfekcii-na-pticevodcheskih-predpriyatiyah.html>
13. Peracetic acid: application and effectiveness. Khimsnab. 2021. <https://himsnab.ru/naduksusnaya-kislota-primenenie-i-effektivnost>
14. Saleeva I. P. et al. The potential of using organic acids in poultry farming to reduce microbial burden and increase productivity (Review). From Modernization to Rapid Development: Ensuring Competitiveness and Scientific Leadership of the Agro-Industrial Complex (IDSISA 2025): International Scientific and Practical Conference. Ekaterinburg: Les Ulis, 2025. P. 01007.
15. Morozov V. Yu., Saleeva I. P., Kolesnikov R. O., Sukhanova S. F., Ilyina L.A. and others. Antibacterial properties of organic acids when used in poultry farming. *Poultry and poultry products*. 2025. No 3. Pp. 45-48.
16. Azarnova T. O., Rezvykh A.M., Kochish I. I. et al. Features of the dynamics of lipoperoxidation in chicken embryos under industrial incubation conditions with transovarial use of ferulic acid. *Journal of the Siberian Federal University*. 2024. No 17 (1). Pp. 82-94.
17. Aganicheva A. A., Kuznetsov O. Yu., Alekseeva S. A. Method of increasing brood and viability of chickens: RU2540570C1. 2015-02-10.

Информация об авторах

Колесников Роман Олегович, кандидат ветеринарных наук, проректор по научной и международной работе, доцент, ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 196601, г. Санкт-Петербург, Пушкин, Петербургское шоссе, 2), e-mail: roman-koles@spbgau.ru

Морозов Виталий Юрьевич, профессор, доктор ветеринарных наук, ректор, ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 196601, г. Санкт-Петербург, Пушкин, Петербургское шоссе, 2), e-mail: supermoroz@mail.ru

Салеева Ирина Павловна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, член-корреспондент РАН, ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 196601, г. Санкт-Петербург, Пушкин, Петербургское шоссе, 2), e-mail: saleeva@vniitip.ru

Суханова Светлана Фаилевна, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 196601, г. Санкт-Петербург, Пушкин, Петербургское шоссе, 2), e-mail: nauka007@mail.ru

Ряднов Алексей Анатольевич, доктор биологических наук, профессор, проректор по научно-исследовательской работе, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: aaryadnovvolgau@mail.ru

Воропаев Владимир Владимирович, аспирант, ассистент кафедры крупного животноводства, ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 196601, г. Санкт-Петербург, Пушкин, Петербургское шоссе, 2), e-mail: vova.voropaev.1999@mail.ru

Authors' Information

Kolesnikov Roman Olegovich, Associate Professor, Candidate of Veterinary Sciences, Vice-Rector for Research and International Affairs, Associate Professor, Saint Petersburg State Agrarian University (Russian Federation, 196601, Saint Petersburg, Pushkin, Peterburgskoe Shosse, 2), e-mail: roman-koles@spbgau.ru

Morozov Vitaly Yuryevich, Professor, Doctor of Veterinary Sciences, Rector, Saint Petersburg State Agrarian University (Russian Federation, 196601, Saint Petersburg, Pushkin, Peterburgskoe Shosse, 2), e-mail: supermoroz@mail.ru

Saleeva Irina Pavlovna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg State Agrarian University (Russian Federation, 196601, Saint Petersburg, Pushkin, Peterburgskoe Shosse, 2), e-mail: saleeva@vniitip.ru

Sukhanova Svetlana Failevna, Professor, Doctor of Agricultural Sciences, Head Department, Saint Petersburg State Agrarian University (Russian Federation, 196601, Saint Petersburg, Pushkin, Peterburgskoe Shosse, 2), e-mail: nauka007@mail.ru

Ryadnov Aleksey Anatolyevich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Vice-Rector for Research, Volgograd State Agrarian University (26 Universitetskoye Prospekt, Volgograd, 400002, Russian Federation), e-mail: aaryadnovvolgau@mail.ru

Voropaev Vladimir Vladimirovich, Postgraduate Student, Assistant, Saint Petersburg State Agrarian University (Russian Federation, 196601, Saint Petersburg, Pushkin, Peterburgskoe Shosse, 2), e-mail: vova.voropaev.1999@mail.ru

THE INFLUENCE OF OCCURRENCE OF THE EXTERIOR DEFECTS IN THE HOLSTEIN FIRST HEIFERS ON GENETIC VARIABILITY OF DAIRY PRODUCTIVITY AND PHYSIQUE TRAITS**Konte A. F., Nedashkovsky I. S.***Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst
Dubrovitsy Village, Moscow Region, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: nedashkovsky_is@mail.ru

Received 26.08.2025

Submitted 20.10.2025

The research was carried out with the support of the Russian State Assignment № 124020200029-4 (FGGN-2024-0013).**Summary**

A study was conducted to study the influence of occurrence of exterior defects in Holstein first-calf heifers on the genetic variability of milk productivity and constitution traits. The heritability coefficients and genetic correlations were studied together with the influence of occurrence of exterior defects. Based on the analysis of genetic correlations and heritability, the following can be recommended: when selecting, take into account a comprehensive assessment of the exterior, the relationship of exterior defects with each other, as well as the impact on productive qualities. In this case, special attention should be paid to the selection of animals without exterior defects. When forming breeding groups, both productive and constitutional features of animals should be taken into account.

Abstract

Introduction. It has been proven that the body type is important when evaluating animals for milk productivity. A study was conducted to investigate the effect of the occurrence of exterior defects in Holstein first-calf heifers ($n=10,492$) on the heritability of milk productivity and exterior traits. The cows under study were conditionally divided into 3 groups according to the frequency of occurrence of exterior defects: Group 1 – occurrence of “0” defects in animals (15,737 heads); Group 2 – occurrence of defects in animals with an average of 1 to 2 traits (16,419 heads); Group 3 – occurrence of defects in animals with an average of 3 to 8 traits (2,095). The 1st group is characterized mainly by low heritability rates. Only the rump height (0.23) is between the low and medium heritability levels. Most traits (body depth, rump position, rump width and other exterior parameters) have very low heritability coefficients (0.04...0.07), which also indicates a strong influence of paratypic factors. The 2nd group demonstrates the highest rates among all groups. The following traits stand out in particular: rump height (0.81) – a very high heritability level; nipple length (0.17); position of front nipples (0.16); height of posterior lobes of udder (0.15). Most traits are in the range of 0.11...0.29, which indicates the possibility of more effective selection for these traits, however, a negative factor is the presence of exterior deficiencies in this (2nd) and 3rd groups. The 3rd group is characterized mainly by low heritability coefficients, practically identical to the 1st group. The values fluctuate in the range of 0.04...0.11, which indicates the difficulties in carrying out effective selection for these traits. It is recommended to take into account a comprehensive assessment of the exterior, the relationship of exterior deficiencies with each other, as well as the impact on productive qualities during selection. Thus, this indicates the need for a comprehensive approach to selection aimed at simultaneously improving productive qualities and exterior indicators while excluding animals with exterior deficiencies.

Keywords: *Holstein breed of cattle, exterior of Holstein cows, shortcomings of cow exterior, milk productivity of cows.*

Citation. Konte A. F., Nedashkovsky I. S. The influence of occurrence of the exterior defects in the Holstein first heifers on genetic variability of dairy productivity and physique traits. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 429-440 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-48.

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

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

УДК 636.2.082.12:575.113.2:636.234.1

ВЛИЯНИЕ ВСТРЕЧАЕМОСТИ НЕДОСТАТКОВ ЭКСТЕРЬЕРА ГОЛШТИНСКИХ ПЕРВОТЕЛОК НА ГЕНЕТИЧЕСКУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИЗНАКОВ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ И ТЕЛОСЛОЖЕНИЯ**Контэ А. Ф., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
Недашковский И. С., кандидат биологических наук, старший научный сотрудник***ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста
Московская область, Российская Федерация***Исследования выполнены в рамках Государственного задания Минобрнауки России ГЗ 124020200029-4 (FGGN-2024-0013).**

Актуальность. Доказано, что тип телосложения имеет значение при оценке молочной продуктивности животных. Проведено исследование, направленное на изучение влияния встречаемости недостатков экстерьера голштинских первотелок на показатели наследуемости признаков молочной

продуктивности и экстерьера. **Объектом** исследования служили первотелки голштинской породы ($n=10492$) 37 хозяйств Московской области. **Материалы и методы.** Исследуемые коровы условно распределены на 3 группы в соответствии с частотой встречаемости недостатков экстерьера: 1 группа – встречаемость недостатков у животных «0» (15 737 гол.); 2 группа – встречаемость недостатков у животных в среднем от 1 до 2 признаков (16 419 гол.); 3 группа – встречаемость недостатков у животных в среднем от 3 до 8 признаков (2 095). **Результаты и выводы.** 1-ая характеризуется преимущественно низкими показателями наследуемости. Только высота в крестце (0.23) находится между низким и средним уровнем наследуемости. Большинство признаков (глубина туловища, положение зада, ширина зада и другие показатели экстерьера) имеют очень низкие коэффициенты наследуемости (0.04...0.07), что указывает также на сильное влияние паратипических факторов. 2-ая же группа демонстрирует наиболее высокие показатели среди всех групп. Особенно выделяются признаки: высота в крестце (0.81) – очень высокий уровень наследуемости; длина сосков (0.17); расположение передних сосков (0.16); высота задних долей вымени (0.15). Большинство признаков находится в диапазоне 0.11...0.29, что говорит о возможности более эффективной селекции по этим признакам, однако негативным фактором является наличие недостатков экстерьера в этой (2-ой) и 3-ей группах. 3-ья группа характеризуется преимущественно низкими коэффициентами наследуемости, практически аналогичными 1-ой группе. Значения колеблются в диапазоне 0.04...0.11, что свидетельствует о сложностях в проведении эффективной селекции по данным признакам. Можно рекомендовать при селекции учитывать комплексную оценку экстерьера, взаимосвязь недостатков экстерьера между собой, а также влияние на продуктивные качества. Таким образом, это свидетельствует о необходимости комплексного подхода к селекции, направленного на одновременное улучшение продуктивных качеств и экстерьерных показателей при исключении животных с недостатками экстерьера.

Ключевые слова: голштинская порода КРС, экстерьер голштинских коров, недостатки экстерьера коров, молочная продуктивность коров.

Цитирование. Контэ А. Ф., Недашковский И. С. Влияние встречаемости недостатков экстерьера голштинских первотелок на генетическую изменчивость признаков молочной продуктивности и телосложения. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 429-440. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-48.

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. Как показывает опыт, пренебрежительное отношение к экстерьеру молочного скота приводит к получению ослабленных животных, подверженных различного рода заболеваниям, а наличие пороков и недостатков экстерьера сдерживает темпы создания высокопродуктивного стада (Назарченко О., 2014). В свою очередь, учеными доказана взаимосвязь между отдельными признаками экстерьера и молочной продуктивностью, что является важным фактором в повышении конкурентоспособности отечественного молочного скотоводства (Сервах Б., 2008; Басонов О. А., 2010; Сударев Н., 2011; Свяженина М., 2007; Прахов Л. П., 2010; Абылкасымов Д. А., 2011; Эйсер Ф. Ф., 1981).

Наличие недостатков общего развития и статей туловища, пороков экстерьера, тормозят селекционный процесс (Сервах Б., 2008; Басонов О. А., 2010; Сударев Н., 2011; Вахонева А. А., 2010; Свяженина М., 2007).

Селекционно-племенная работа по признакам телосложения, направленная на увеличение производства молока и долгосрочного использования коров стада, будет благоприятствовать к снижению вынужденных причин выбытия животных [1,2,3].

Исследования, проведенные нами ранее на голштинских коровах-первотелках, доказали, что даже тип телосложения имеет значение при оценке животных на молочную продуктивность. Так животные узкотелого типа достоверно ($p \leq 0,001$) обладали высокой генетической связью между удоем за 305 дней первой лактации и массовой долей белка в молоке ($0,59 \pm 0,005$). При этом лептосомного типа коровы также имели наибольшую корреляцию между удоем и массовой долей жира ($0,51 \pm 0,005$) ($p \leq 0,001$). По промерам туловища наибольшие коэффициенты корреляции выявлены у животных эйрисомного типа – от 0,24 до 0,50. У всех голштинских первотелок разных типов телосложения отмечены высокие коэффициенты наследуемости по показателям массовой доли жира ($h^2 = 0,37...0,49$) и массовой доли белка ($h^2 = 0,42...0,51$) [4].

Анализ, проведенный на голштинских коровах разных селекций, выявил, что из распространенных недостатков экстерьера, которые встречаются у 10 % и более обследованных животных, преобладают такие, как провислая спина, крышеобразный крестец, приподнятый корень хвоста, вложенный корень хвоста, широкая межкопытная щель, асимметрия долей вымени. Провислая спина встречается у коров всех селекций, у немецких и американских

коров более часто отмечается крышеобразность крестца, у американских первотелок – приподнятый корень хвоста и широкая межкопытная щель (более чем у 50 % животных). Асимметрия долей вымени чаще наблюдается у коров немецкой селекции (Ляшенко В. В., 2013).

Результаты исследований по изучению динамики оценки экстерьера голштинского скота в племенном репродукторе стада АО «Племзавод Ярославка» Ярославской области демонстрируют, что благодаря селекционным мероприятиям в стаде значительно сократилось количество недостатков экстерьера, наиболее распространенными являются крышеобразный крестец и слабые бабки, которые составляют 62,33 % и 21,23 % соответственно. Эти недостатки позволяют сделать вывод о недостаточной крепости конституции, что в дальнейшем скажется на сроке хозяйственного использования коров в стаде, а значит, и на молочной продуктивности, выраженной в недополучении молока [5].

В исследованиях коллег из Красноярского края на красно-пестрой породе крупного рогатого скота отмечено, что в результате линейной оценки животных выявлены следующие недостатки экстерьера: шилозадость, сближенность задних сосков, широкая межкопытная щель (Иванова, О. В., 2015).

Проведенная линейная и комплексная оценка экстерьера животных выявила, что животные, осемененные в более позднем возрасте, начиная с 13 месяцев, имеют более выраженный молочный тип, свойственный животным голштинской породы [6].

Исследования, проведенные на черно-пестрой породе крупного рогатого скота, говорят о том, что наиболее гармоничное телосложение характерное для коров 3-й генерации по сравнению со своими сверстницами, а именно высота в холке на 3,5 см больше, ширина груди на 0,3-1,9 см больше, ширина в маклаках на 0,9-2,9 см больше, и косая длина туловища на 1,6-3,5 см больше обусловило более высокую их молочную продуктивность [7].

Таким образом, комплексных исследований, направленных на изучение влияния пороков экстерьера на молочную продуктивность, не оказалось, в связи с чем исследование, направленное на изучение влияния пороков экстерьера на молочную продуктивность, имеет научную новизну и актуальность.

В связи с вышеизложенным, **целью** исследования являлось изучение генетической изменчивости (вариабельность) показателей экстерьера и молочной продуктивности коров голштинской черно-пестрой породы в зависимости от уровня встречаемости недостатков экстерьера.

Материалы и методы. Объектом исследований являлись животные голштинской породы первого отела 37 хозяйств Подмосковья. На основе данных баз СЕЛЭКС и РИСЦ нами были исследованы и проанализированы признаки молочной продуктивности, экстерьера и недостатков экстерьера первотелок (10 492 головы). Учетное количество быков-отцов в исследовании составило 794 голов. Исследуемые коровы условно распределены на 3 группы в соответствии с частотой встречаемости недостатков экстерьера: 1 группа – встречаемость недостатков у животных «0» (15 737 гол.); 2 группа – встречаемость недостатков у животных в среднем от 1 до 2 признаков (16 419 гол.); 3 группа – встречаемость недостатков у животных в среднем от 3 до 8 признаков (2 095).

Линейный профиль экстерьера животных методически произведен соответственно рекомендациям НП «Мосплем».

На программной оболочке REMLF90 из программного комплекса BLUPF90 нами рассчитаны величины генетических вариан- и коварианс исследуемых признаков первотелок с использованием уравнения модели [8, 9, 10]:

$$Y_{nm} = \mu + Hys_x + Yfc_x + Abt_x + An_j + e_{nm}, \quad (1)$$

где Y_{nm} – анализируемый показатель n -ой первотелки в m -ом хозяйстве; μ – среднее популяционное значение; Yfc – возраст первого отела n -ой первотелки; Hys_x – эффект x -го «стадо, сезон и год отела» (фиксированный); Abt – оценка типа телосложения n -ой первотелки (день лактации); e_{nm} – эффект неучтенных факторов в модели; An_j – рандомизированный эффект j -го животного [11, 12].

Уравнение модели однофакторного дисперсионного анализа можно представить в виде:

$$x_{ik} = a + m_i + \varepsilon_{ik}, \quad (2)$$

где: a – генеральное среднее всех результатов наблюдений, т.е. $M(X)$, m_i – эффект влияния на X , вызванный i -м уровнем фактора A , иначе, отклонение математического ожидания a_i результативного признака при i -м уровне фактора от общего математического ожидания a , т.е. $m_i = a_i - a$; ε_{ik} – случайный остаток, отражающий влияние на величину x_{ik} всех других неконтролируемых факторов.

При принятии гипотезы о равенстве дисперсий между группами предпочтительным методом оценки дисперсии является использование взвешенного среднего выборочных дисперсий. Этот подход позволяет уменьшить влияние выбросов и сделать оценку более точной при условии равенства дисперсий (Кобзарь А. И., 2006).

Результаты и обсуждение. На основе проведенного анализа изучаемой популяции выявлены часто встречаемые недостатки экстерьера коров в зависимости от разделения по группам. Вторая и третья группа отмечены следующими наиболее встречаемыми недостатками экстерьера: крышеобразный зад, высокий хвост, мягкие бабки и косое дно вымени (таблица 1).

Таблица 1 – Встречаемость недостатков экстерьера у коров
Table 1 – Frequency of exterior defects in cows

Признаки / Traits	Группы / Groups		
	1	2	3
Мягкая спина / Soft back	-	1.4	1.8
Горбатая спина / Humped back	-	1.1	2.6
Слабая поясница / Weak loin	-	1.6	1.8
Крыловидные лопатки / Wing-like shoulder blades	-	1.9	4.5
Перехват за лопатками / Pinched behind the shoulder blades	-	0.7	1.3
Крышеобразный зад / Roof-like rump	-	5.5	15.7
Высокий хвост / High tail setting	-	15.6	16.7
Размет передних ног / Splay-footed forelimbs	-	7.1	7.3
Мягкие бабки / Soft hocks	-	38.5	21.0
Большая межкопытная щель / Wide interdigital space	-	0.5	0.8
Бочкообразная постановка задних ног / Barrel-shaped hindlimb stance	-	0.3	0.2
Косое дно вымени / Sloping udder floor	-	12.4	13.5
Раздвоенные соски / Cleft teats	-	0.1	0.0
Сближенные задние соски / Close-set rear teats	-	2.1	2.6
Дополнительные соски / Supernumerary teats	-	6.4	6.7
Неправильная форма сосков / Abnormal teat shape	-	0.4	0.5
Атрофия долей вымени / Udder quarter atrophy	-	4.3	3.0

Для оценки исследуемой выборки был произведён анализ средних величин признаков молочной продуктивности и экстерьера (таблица 2). Следует отметить, что во всех 3-х группах наибольший коэффициент вариации среди признаков молочной продуктивности отмечен по удою и составляет 25...26.1 %. Что касается признаков экстерьера по системе «Б» то наивысшими показателями вариабельности обладали следующие признаки – высота в крестце, положение зада, угол задних ног (вид сбоку), высота пятки, постановка задних ног сзади. Если судить по данным признакам, то животные 3-ей группы обладают более низким ростом, менее глубоким туловищем и крепостью.

Признаки экстерьера системы «А» обладают наименьшей вариабельностью, при этом по ним заметна тенденция снижения оценок экстерьера.

Таблица 2 – Статистический анализ показателей молочной продуктивности и признаков экстерьера
Table 2 – Statistical analysis of milk productivity indicators and exterior characteristics

	Группы / Groups											
	1 (n = 15 737)				2 (n = 16 419)				3 (n = 2 095)			
	X	σ	Cv	$\pm m$	X	σ	Cv	$\pm m$	X	σ	Cv	$\pm m$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Признаки молочной продуктивности / Signs of milk productivity												
1	7167.2	1788.2	25.0	14.3	6995.6	1824.2	26.1	14.2	6698.8	1679.1	25.1	36.7
2	4.06	0.37	9.18	0.003	4.06	0.36	8.93	0.003	4.06	0.37	9.04	0.008
3	3.20	0.26	8.21	0.002	3.20	0.25	7.96	0.002	3.17	0.25	7.78	0.005
Система «А» оценки экстерьера / Exterior Assessment System «A»												
4	80.1	1.7	2.1	0.014	79.4	1.5	1.9	0.012	78.6	1.3	1.7	0.028
5	80.3	2.1	2.7	0.017	79.9	2.1	2.7	0.017	79.3	2.0	2.5	0.044
6	80.4	2.2	2.8	0.018	80.0	2.2	2.8	0.017	79.5	2.1	2.6	0.045
7	79.2	1.5	1.9	0.012	78.3	1.7	2.1	0.013	77.7	1.5	2.0	0.034
8	80.5	2.2	2.7	0.017	79.7	2.2	2.7	0.017	78.7	2.2	2.7	0.047

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Система «Б» оценки экстерьера / Exterior Assessment System «B»												
9	5.3	1.2	22.4	0.010	5.1	1.2	23.0	0.009	4.8	1.0	21.9	0.023
10	6.3	1.0	16.5	0.008	6.1	1.0	16.9	0.008	5.9	0.9	16.0	0.020
11	5.0	1.3	25.6	0.010	5.0	1.4	27.7	0.011	5.0	1.4	28.5	0.031
12	5.4	1.1	19.9	0.009	5.3	1.1	21.1	0.009	5.1	1.2	22.7	0.025
13	4.8	1.2	24.6	0.009	5.1	1.4	26.8	0.011	5.0	1.4	27.2	0.030
14	4.9	1.4	28.2	0.011	4.7	1.4	29.6	0.011	4.9	1.3	26.0	0.028
15	5.3	1.2	23.3	0.010	5.0	1.4	27.2	0.011	4.7	1.4	28.7	0.030
16	6.0	1.3	21.0	0.010	6.0	1.2	20.8	0.010	6.3	1.1	17.7	0.024
17	6.5	1.0	15.9	0.008	6.4	1.0	16.0	0.008	6.5	1.0	15.5	0.022
18	5.9	1.3	21.9	0.010	5.8	1.3	22.4	0.010	5.5	1.2	21.2	0.026
19	6.3	1.1	17.2	0.009	6.4	1.1	17.9	0.009	6.6	1.2	18.6	0.027
20	4.5	1.1	23.5	0.008	4.3	1.1	26.0	0.009	4.1	1.2	29.0	0.026
21	4.9	1.2	24.0	0.009	4.9	1.2	25.2	0.010	5.3	1.3	24.7	0.028
22	5.6	1.1	20.4	0.009	5.3	1.2	22.3	0.009	4.7	1.1	24.3	0.025
23	6.2	1.0	16.0	0.008	6.2	1.0	16.3	0.008	6.3	1.1	17.5	0.024
24	5.5	1.1	20.6	0.009	5.3	1.1	21.4	0.009	5.0	1.0	20.7	0.023
25	4.5	1.1	24.6	0.009	4.6	1.2	25.4	0.009	4.3	1.0	24.3	0.023

Здесь и далее (From here on): 1 – Удой за 305 дней 1-ой лактации, кг (Milk yield for first lactation, kg); 2 – Содержание жира в молоке, % (Milk fat percent); 3 – Содержание белка в молоке, % (Milk protein percent); 4 – Общая оценка по комплексу признаков экстерьера (General assessment of a set of exterior features); 5 – Молочный тип (Angularity); 6 – Туловище (The body); 7 – Конечности (limbs); 8 – Вымя (udder); 9 – Высота в крестце (Stature); 10 – Глубина туловища (Body depth); 11 – Положение зада (Rump angle); 12 – Ширина зада (Rump width); 13 – Угол задних ног (вид сбоку) (Rear legs set); 14 – Высота пятки (Foot angle); 15 – Постановка задних ног сзади (Rear legs rear view); 16 – Прикрепление передних долей (Fore udder attachment); 17 – Высота задних долей (Rear udder height); 18 – Центральная связка (Central ligament); 19 – Глубина вымени (Udder depth); 20 – Расположение передних сосков (Front teat placement); 21 – Длина сосков (Teat length); 22 – Крепость (Chest width); 23 – Молочный тип (Angularity); 24 – Длина передних долей (Length udder attachment); 25 – Скакательный сустав (вид сзади) (Hock development).

Для оценки влияния фактора «количество недостатков экстерьера» на признаки продуктивности и экстерьера нами был применён дисперсионный анализ. Этот метод позволяет не только установить наличие связи между исследуемыми переменными, но и количественно оценить её значимость. Сущность метода заключается в измерении различных дисперсий (общей, факториальной, остаточной) и определении силы влияния изучаемых факторов на результативные признаки. При этом анализируются отклонения всех единиц исследуемой совокупности от среднего арифметического значения. В рамках наших исследований дисперсионный анализ позволил выявить статистически значимую связь между количеством недостатков экстерьера и исследуемыми признаками, а также оценить степень влияния данного фактора на изменчивость показателей продуктивности и экстерьера и вычислить коэффициент детерминации, отражающий долю влияния количества недостатков экстерьера на наблюдаемые результаты (таблица 3).

Таблица 3 – Дисперсионный анализ влияния фактора «недостатки экстерьера»
Table 3 – Analysis of variance of the influence of the factor «exterior defects»

	Множ. R	Множ. R ²	Скор. R ²	SS (F)	N (F)	MS (F)	SS (O)	N (O)	MS (O)	F	p
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.068	0.004	0.004	521914461	2	260957231	1.108618E+11	34248	3237029	80.616	0.000000
2	0.009	0.000	0.000	0	2	0	4.628104E+03	34248	0	1.584	0.205106
3	0.032	0.001	0.001	2	2	1	2.279783E+03	34248	0	18.601	0.000000
4	0.255	0.065	0.065	6157	2	3079	8.802523E+04	34248	3	1197.841	0.000000
5	0.121	0.014	0.014	2317	2	1159	1.545909E+05	34248	5	256.669	0.000000
6	0.122	0.015	0.015	2556	2	1278	1.665273E+05	34248	5	262.868	0.000000
7	0.306	0.093	0.093	9078	2	4539	8.764426E+04	34248	3	1773.611	0.000000
8	0.214	0.046	0.046	7847	2	3923	1.621831E+05	34248	5	828.500	0.000000
9	0.122	0.015	0.015	722	2	361	4.719108E+04	34248	1	261.808	0.000000

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	0.102	0.010	0.010	386	2	193	3.634273E+04	34248	1	181.901	0.000000
11	0.034	0.001	0.001	74	2	37	6.173258E+04	34248	2	20.583	0.000000
12	0.072	0.005	0.005	218	2	109	4.180225E+04	34248	1	89.423	0.000000
13	0.111	0.012	0.012	697	2	349	5.558522E+04	34248	2	214.849	0.000000
14	0.064	0.004	0.004	272	2	136	6.488383E+04	34248	2	71.789	0.000000
15	0.145	0.021	0.020	1258	2	629	5.851742E+04	34248	2	368.250	0.000000
16	0.061	0.003	0.003	202	2	101	5.274572E+04	34248	2	65.512	0.000000
17	0.019	0.000	0.000	14	2	7	3.590095E+04	34248	1	6.737	0.001188
18	0.066	0.004	0.004	252	2	126	5.614048E+04	34248	2	76.769	0.000000
19	0.053	0.002	0.002	123	2	62	4.321908E+04	34248	1	48.795	0.000000
20	0.097	0.009	0.009	399	2	199	4.153915E+04	34248	1	164.394	0.000000
21	0.073	0.005	0.005	273	2	137	5.052225E+04	34248	1	92.554	0.000000
22	0.203	0.041	0.041	2003	2	1002	4.652743E+04	34248	1	737.335	0.000000
23	0.022	0.000	0.000	18	2	9	3.539098E+04	34248	1	8.714	0.000165
24	0.120	0.014	0.014	653	2	327	4.403131E+04	34248	1	253.977	0.000000
25	0.053	0.002	0.002	129	2	64	4.414441E+04	34248	1	50.027	0.000000

Примечание: Множественный R – множественный коэффициент корреляции, характеризует тесноту связи между зависимой переменной и предиктором, множественный R^2 – коэффициент детерминации, скорректированный R^2 – коэффициент детерминации, скорректированный на число факторов, $SS(F)$ – внутригрупповая изменчивость, $SS(O)$ – дисперсия ошибки, $MS(F)$ – межгрупповой разброс факториальной дисперсии (называемый средним квадратом эффекта), $MS(O)$ – межгрупповой разброс остаточной дисперсии (или дисперсии ошибки), степень свободы (F) – число степеней свободы для фактора (эффекта) ($N(F) = r-1$; в нашем исследовании число фактора (эффектов) $r = 3$, следовательно $N(F) = 3-1 = 2$; степень свободы (O) – число степеней свободы для остаточной (случайной) дисперсии ($N(O) = N-r$; в нашем исследовании число наблюдений $N = 34251$, следовательно $n(o) = 34251-3 = 34248$; F -критерий оценивает статистическую значимость различия средних в группах, P – вероятность ошибочного результата.

Note: in the table, indicators with a reliable influence of the analyzed factor are highlighted in bold. Multiple R is the multiple correlation coefficient, characterizes the closeness of the relationship between the dependent variable and the predictor, multiple R^2 is the coefficient of determination, adjusted R^2 is the coefficient of determination adjusted for the number of factors, $SS(F)$ is the intragroup variability, $SS(O)$ is the error variance, $MS(F)$ is the intergroup variance of the factorial variance (called the mean square of the effect), $MS(O)$ is the intergroup variance of the residual variance (or error variance), the degree of freedom (F) is the number of degrees of freedom for the factor (effect) ($N(F) = r-1$; in our study, the number of factors (effects) $r = 3$, therefore $N(F) = 3-1 = 2$; the degree of freedom (O) is the number of degrees of freedom for the residual (random) variance ($N(O) = N-r$; in our study, the number of observations $N = 34251$, therefore $n(o) = 34251-3 = 34248$; The F -criterion evaluates the statistical significance of the difference in means in groups, P is the probability of an erroneous result.

Проведенное комплексное статистическое исследование, базирующееся на применении дисперсионного анализа с использованием критерия Фишера (F -тест), позволило установить наличие существенной зависимости между фактором «недостатки экстерьерера» и большинством исследуемых показателей продуктивности и экстерьерных признаков. При этом уровень статистической значимости полученных результатов подтверждает достоверность выявленных взаимосвязей. Коэффициент детерминации (R^2), достигший высоких значений в ходе исследования, свидетельствует о существенном влиянии фактора «недостатков экстерьерера» на вариабельность анализируемых признаков. Это позволяет сделать вывод о значительной доле дисперсии исследуемых признаков, обусловленной рассматриваемым фактором. Исключением из общей закономерности является показатель содержания жира в молоке, для которого не было выявлено статистически значимой связи с наличием «недостатков экстерьерера». Данный факт указывает на независимость жирномолочности от исследуемого фактора и необходимость возможно дополнительного анализа других детерминант этого признака.

В результате расчета коэффициента наследуемости мы получили следующие результаты (таблица 4).

Коэффициент наследуемости по удою в 1-ой группе показывает то, что данный признак относится к средненаследуемым признакам (0,26...0,59), как и содержание белка в молоке в 3-ей группе. Это указывает на умеренную степень генетического контроля признака, т.е. около 33 и 53 % фенотипической изменчивости обусловлено генетическими факторами, в то время как остальные 67 и 47 % определяются факторами среды и взаимодействия генотипа со средой. Что касается признаков содержания жира и белка во всех группах, за исключением 3-ей, то они, как и удои во 2-ой и 3-ей группе, находятся на грани-

це между низко- и средненаследуемыми признаками или относятся к низко наследуемым (0,05...0,25). В этом случае только 22...28 % фенотипической изменчивости определяется генетическими факторами или можно сказать, что проявляется преобладающее влияние факторов среды (74...78 %).

Таблица 4 – Коэффициенты наследуемости исследуемых признаков

Table 4 – Heritability coefficients of the studied traits

Признаки / Traits	Группы / Groups		
	1	2	3
	Молочная продуктивность / Milk productivity		
Удой за 305 дней 1-ой лактации / Milk yield for first lactation	0.33	0.22	0.28
Содержание жира в молоке / Milk fat percent	0.25	0.24	0.22
Содержание белка в молоке / Milk protein percent	0.26	0.13	0.53
Система «А» оценки экстерьера / Exterior Assessment System «A»			
Молочный тип / Angularity	0.74	0.62	0.43
Туловище / The body	0.75	0.54	0.36
Конечности / limbs	0.54	0.14	0.10
Вымя / udder	0.52	0.37	0.20
Система «Б» оценки экстерьера / Exterior Assessment System «B»			
Высота в крестце / Stature	0.23	0.81	0.11
Глубина туловища / Body depth	0.07	0.29	0.07
Положение зада / Rump angle	0.05	0.19	0.06
Ширина зада / Rump width	0.04	0.24	0.10
Угол задних ног сбоку / Rear legs set	0.02	0.06	0.04
Высота пятки / Foot angle	0.03	0.10	0.04
Постановка задних ног (вид сзади) / Rear legs rear view	0.01	0.08	0.06
Прикрепление передних долей вымени / Fore udder attachment	0.04	0.12	0.05
Высота задних долей / Rear udder height	0.04	0.15	0.05
Центральная связка / Central ligament	0.02	0.08	0.04
Глубина вымени / Udder depth	0.05	0.14	0.06
Расположение передних сосков / Front teat placement	0.03	0.16	0.08
Длина сосков / Teat length	0.04	0.17	0.05
Крепость / Chest width	0.03	0.12	0.05
Молочный тип / Angularity	0.06	0.24	0.09
Длина передних долей / Length udder attachment	0.03	0.11	0.05
Скакательный сустав (вид сзади) / Hock development	0.02	0.11	0.04
Недостатки экстерьера / Exterior defects			
Мягкая спина / Soft back	-	0.03	0.09
Горбатая спина / Humped back	-	0.02	0.07
Слабая поясница / Weak loin	-	0.03	0.03
Крыловидные лопатки / Wing-like shoulder blades	-	0.01	0.06
Перехват за лопатками / Pinched behind the shoulder blades	-	0.02	0.04
Крышеобразный зад / Roof-like rump	-	0.02	0.12
Высокий хвост / High tail setting	-	0.12	0.13
Размет передних ног / Splay-footed forelimbs	-	0.08	0.06
Мягкие бабки / Soft hocks	-	0.08	0.08
Большая межкопытная щель / Wide interdigital space	-	0.02	0.14
Бочкообразная постановка задних ног / Barrel-shaped hindlimb stance	-	0.02	0.01
Косое дно вымени / Sloping udder floor	-	0.06	0.03
Раздвоенные соски / Cleft teats	-	0.01	0.02
Сближенные задние соски / Close-set rear teats	-	0.07	0.09
Дополнительные соски / Supernumerary teats	-	0.12	0.13
Неправильная форма сосков / Abnormal teat shape	-	0.01	0.09
Атрофия долей вымени / Udder quarter atrophy	-	0.04	0.03

Если обратить внимание на признаки экстерьера, то 1-ая характеризуется преимущественно низкими показателями наследуемости. Только высота в крестце (0.23) находится между низким и средним уровнем наследуемости. Большинство признаков (глубина туловища, положение зада, ширина зада и другие показатели экстерьера) имеют очень низкие коэффициенты наследуемости (0.04...0.07), что указывает также на сильное влияние паратипических факторов. 2-ая же группа демонстрирует наиболее высокие показатели среди всех групп. Особенно выделяются признаки: высота в крестце (0.81) – очень высокий уровень наследуемости; длина сосков (0.17); расположение передних сосков (0.16); высота задних долей вымени (0.15). Большинство признаков находятся в диапазоне 0.11...0.29, что говорит о возможности более эффективной селекции по этим признакам, однако негативным фактором является наличие недостатков экстерьера в этой (2-ой) и 3-ей группах. 3-ья группа характеризуется преимущественно низкими коэффициентами наследуемости, практически аналогичными 1-ой группе. Значения колеблются в диапазоне 0.04...0.11, что свидетельствует о сложностях в проведении эффективной селекции по данным признакам.

Относительно недостатков экстерьера, то во 2-ой и 3-ей группе преобладают очень низкие показатели коэффициента наследуемости (0.01...0.03). Низкие коэффициенты наследуемости большинства недостатков экстерьера создают благоприятные условия для их элиминации из стада. Особое внимание следует уделить признакам с коэффициентами выше 0,1, так как они требуют более тщательного контроля при селекции. При этом низкие показатели наследуемости остальных дефектов позволяют эффективно снижать их частоту встречаемости через правильно организованную селекционную работу.

Немаловажное значение имеет уровень и характер генетических связей. Так, в 1-ой группе матрица генетических корреляций отражает взаимосвязь между основными хозяйственно-полезными признаками исследуемых животных. Анализ показывает наличие как прямых, так и обратных взаимосвязей между признаками молочной продуктивности и признаками экстерьера системы «Б». Удой демонстрирует высокую положительную корреляцию с: высотой в крестце ($r = 0.755$); высотой пятки ($r = 0.659$); длиной передних долей вымени ($r = 0.767$); молочным типом ($r = 0.577$); содержанием жира имеет умеренные корреляции с: белком ($r = 0.597$); высотой в крестце ($r = 0.420$); глубиной туловища ($r = 0.425$). Белок в молоке достаточно плотно связан с: жиром молока ($r = 0.597$); удоем ($r = 0.480$); высотой в крестце ($r = 0.595$).

Экстерьерные признаки демонстрируют следующие закономерности: высота в крестце тесно связана с большинством признаков. Глубина туловища имеет высокие корреляции с показателями роста. Ширина зада положительно коррелирует с удоем ($r = 0.411$).

Признаки экстерьера, относящиеся к вымени, характеризуются следующими взаимосвязями: прикрепление передних долей вымени тесно связано с длиной передних долей ($r = 0.694$); глубина вымени коррелирует с расположением передних сосков ($r = 0.474$); центральная связка имеет умеренную связь с глубиной вымени. Анализ генетических корреляций между признаками экстерьера и молочной продуктивности в 1-ой группе позволяет сделать следующие выводы. Существует тесная взаимосвязь между удоем и показателями развития туловища. Жирномолочность относительно независима от величины удоя. Строение вымени в значительной степени генетически связано с молочностью. Все это указывает на то, что конституциональные признаки существенно влияют на продуктивность.

Что касается характера генетической связи между признаками молочной продуктивности и признаков экстерьера системы «А» в 1-ой группе, то здесь следующая закономерность. Удой за лактацию имеет сильную положительную корреляцию с молочным типом ($r = 0.864$); высокую связь с развитием туловища ($r = 0.858$); тесную корреляцию с развитием конечностей ($r = 0.847$) и очень сильную связь с развитием вымени ($r = 0.900$).

Сами же признаки телосложения характеризуется достаточно сильными генетическими корреляциями между собой. Это дает заключение о том, что в данном случае формирование высокой молочной продуктивности тесно связано с развитием молочного типа телосложения, основных статей туловища и вымени. Конституциональные признаки формируют единую систему, где все они тесно взаимосвязаны.

Во 2-ой группе особого внимания заслуживают связи молочной продуктивности и недостатков экстерьера. Молочная продуктивность характеризуется следующими особенностями: удой за лактацию отрицательно генетически коррелирует с содержанием жира ($r = -0.179$) и имеет слабую отрицательную генетическую связь с белком ($r = -0.127$) и непо-

средственно отрицательно связан с недостатками - мягкая спина и высокий хвост. Жир и белок демонстрируют высокую положительную корреляцию между собой ($r = 0.555$) и противоположную направленность связей с самими недостатками экстерьера.

Касаемо самих взаимосвязей между недостатками экстерьера животных 2-ой группы, то здесь видно следующее: мягкая спина положительно связана с недостатком крыло-видные лопатки ($r = 0.302$); отрицательно с раздвоенными сосками ($r = -0.288$). Размет передних ног отрицательно коррелирует с высоким хвостом ($r = -0.487$) и положительно с недостатком крыловидные лопатки. Косое дно вымени отрицательно взаимосвязано с раздвоенными сосками ($r = -0.179$) и положительно с бочкообразной постановкой задних ног.

Это все указывает на то, что во 2-ой группе большинство недостатков экстерьера имеют отрицательную корреляцию с удоем и положительно взаимосвязаны между собой, а также противоположно связаны с жирномолочностью. В этом случае особого внимания при селекции заслуживают недостатки: мягкая спина, слабая поясница и недостатки конечностей.

Относительно характера взаимосвязи признаков экстерьера и недостатков во 2-ой группе, то здесь высокий хвост отрицательно коррелирует с высотой в крестце ($r = -0.472$) и глубиной туловища ($r = -0.492$); размет передних ног связан с углом задних ног (вид сбоку) ($r = 0.250$); косое дно вымени имеет сильную связь с глубиной туловища ($r = 0.560$); крышеобразный зад коррелирует с углом задних ног ($r = 0.425$).

Анализ же генетических связей между признаками молочной продуктивности и экстерьером показывает, что удои демонстрирует наиболее значимые положительные корреляции с признаками экстерьера: с высотой в крестце ($r = 0.749$); с глубиной туловища ($r = 0.648$); с высотой пятки ($r = 0.737$); с молочным типом ($r = 0.598$); с длиной передних долей вымени ($r = 0.684$). Особого внимания заслуживает положительная корреляция между удоем и признакам молочного типа, что подтверждает эффективность направленной селекции по этому признаку, но без учета недостатков экстерьера.

Если же обратим внимание на характер генетических связей между признаками экстерьера системы «А» и молочными признаками, то здесь наблюдается следующее: удои показывает наиболее тесные связи с признаками телосложения – коэффициент корреляции с молочным типом составляет $r = 0.871$; с развитием туловища $r = 0.852$; с развитием конечностей $r = 0.813$ и развитием вымени $r = 0.890$. Содержание жира молока имеет умеренные корреляции с молочным типом $r = 0.387$; с развитием туловища $r = 0.394$ и конечностей $r = 0.443$. Содержание же белка характеризуется следующими связями: с молочным типом $r = 0.375$; с развитием туловища $r = 0.383$ и конечностей $r = 0.333$. Выявленная высокая положительная корреляция между удоем и признаками телосложения, подтверждает их генетическую обусловленность. Анализ указывает на то, что в данном случае молочный тип является интегральным показателем, определяющим как продуктивные качества, так и особенности телосложения животных. Умеренная же связь между составом молока (жир, белок) и признаками телосложения указывает, скорее всего, на относительную независимость этих признаков у животных 2-ой группы.

3-ья группа животных характеризуется тем, что удои, содержание жира и белка отличаются тесной взаимосвязью между собой. Особенно высокой является корреляция между содержанием жира и белка ($r = 0.636$), что скорее подтверждает их генетическую сопряженность. Если же обратить внимание на связь недостатков экстерьера с продуктивностью, то ряд недостатков экстерьера имеет отрицательные корреляции с основными показателями продуктивности: высокий хвост ($r = -0.516$ с удоем), ($r = -0.552$ с содержанием жира в молоке), ($r = -0.550$ с содержанием белка в молоке); размет передних ног ($r = -0.082$ с удоем); крышеобразный зад ($r = -0.165$ с удоем), ($r = -0.469$ с содержанием жира в молоке), ($r = -0.367$ с содержанием белка в молоке). Наблюдаются сильные корреляции между непосредственно самими недостатками экстерьера: крышеобразный зад тесно связан с высоким хвостом ($r = 0.593$); раздвоенные соски коррелируют со сближенными задними сосками ($r = 0.618$), а косое дно вымени связано с атрофией долей вымени ($r = 0.345$).

Что же касается связи недостатков экстерьера с признаками экстерьера системы «Б», то проведенный анализ генетических взаимосвязей между признаками экстерьера и их недостатками позволяет сделать следующие выводы о характере наследования и взаимосвязях признаков. Недостатки экстерьера касательно спины (мягкая, горбатая) имеют разнонаправленные связи с показателями телосложения. Мягкая спина положительно коррелирует с высотой в крестце ($r = 0.324$) и прикреплением передних долей вымени

($r = 0,309$), что указывает на связь с общей массивностью животного. Слабая поясница демонстрирует сильную положительную корреляцию с положением зада ($r = 0,638$) и высотой в крестце ($r = 0,532$), что свидетельствует, скорее всего, о единой генетической основе этих признаков. Большая межкопытная щель имеет плотные положительные корреляции с высотой пятки ($r = 0,685$) и глубиной туловища ($r = 0,289$), что указывает на общую конституциональную предрасположенность. Мягкие бабки связаны с углом задних ног ($r = -0,423$) и высотой пятки ($r = 0,258$), что подтверждает влияние этих признаков на постановку конечностей. Косое дно вымени отрицательно коррелирует с шириной зада ($r = -0,428$) и положительно с постановкой задних ног ($r = 0,356$), что указывает на взаимосвязь этих признаков, а также крепостью телосложения ($r = 0,394$). Дополнительные соски имеют сильную положительную корреляцию с прикреплением передних долей ($r = 0,679$) и глубиной вымени ($r = 0,479$), что подтверждает их генетическую связь.

Сами же признаки экстерьера системы «Б» обладают своими закономерностями генетической связи с признаками молочной продуктивности в 3-ей группе. Наиболее сильные связи наблюдаются между признаками вымени и молочной продуктивностью. Отдельные признаки конечностей имеют отрицательную корреляцию с продуктивностью.

Расположение передних сосков коррелирует с удоем ($r = 0,576$); глубина вымени с содержанием белка ($r = 0,648$); высота задних долей с удоем ($r = 0,444$) и содержанием жира ($r = 0,453$) и белка ($r = 0,494$); прикрепление передних долей вымени с содержанием жира ($r = 0,433$). Это что касается высоких корреляций.

Умеренные же положительные генетические связи ($0,30-0,40$) в 3-ей группе установлены: между молочным типом и удоем ($r = 0,294$); постановка задних ног и удоем ($r = 0,346$); высотой пятки и удоем ($r = 0,215$).

Отрицательными корреляциями отмечены: угол задних ног сбоку и содержание жира ($r = -0,446$); скакательный сустав и содержание белка ($r = -0,551$); положение зада и содержание жира ($r = -0,255$). Это указывает на то, что признаки вымени являются наиболее информативными для прогнозирования молочной продуктивности и необходимо также обращать внимание на постановку конечностей, так как некоторые показатели могут негативно влиять на качество молока.

Если же мы обратим внимание на характер связи между признаками телосложения системы «А», то мы видим следующее: наиболее сильная связь наблюдается между признаком вымя и молочной продуктивностью. Признаки молочного типа и туловища имеют высокую положительную корреляцию с продуктивностью. Признаки конечностей демонстрируют отрицательную корреляцию с показателями продуктивности. Если рассмотреть более детально, то признак вымя генетически сильно коррелирует с удоем ($r = 0,828$), а молочный тип с содержанием белка в молоке ($r = 0,616$) и удоем ($r = 0,605$); признак развитие туловища с содержанием жира ($r = 0,607$) и белка ($r = 0,611$).

Умеренными положительными связями отмечены следующие признаки: молочный тип с содержанием жира ($r = 0,540$) и вымя с содержанием белка ($r = 0,577$).

Что касается признака конечности, то он отрицательно коррелирует с удоем ($r = -0,218$), а также с содержанием жира и белка ($r = -0,208$ и $r = -0,209$) соответственно.

В данном случае признаки вымени являются наиболее информативными для прогнозирования молочной продуктивности, а развитие молочного типа телосложения напрямую связано с повышением продуктивности.

Заключение. На основании анализа генетических корреляций и наследуемости можно рекомендовать следующее: при селекции учитывать комплексную оценку экстерьера, взаимосвязь недостатков экстерьера между собой, а также влияние на продуктивные качества.

При этом особое внимание уделять отбору животных без недостатков экстерьера. Возможно в дальнейшем разработать систему индексов, учитывающую отрицательные корреляции между продуктивностью и недостатками экстерьера, а также взаимосвязь между отдельными недостатками.

Таким образом, это свидетельствует о необходимости комплексного подхода к селекции, направленного на одновременное улучшение продуктивных качеств и экстерьерных показателей при исключении животных с недостатками экстерьера.

В практическом плане это может найти применение в совершенствовании методов селекции, составлении индексов оценки животных, прогнозировании племенной ценности и разработки программ улучшения стада.

При формировании племенных групп следует учитывать, как продуктивные, так и конституциональные особенности животных.

Conclusion. Based on the analysis of genetic correlations and heritability, the following can be recommended: when selecting, take into account a comprehensive assessment of the exterior, the relationship of exterior defects with each other, as well as the impact on productive qualities.

At the same time, special attention should be paid to the selection of animals without exterior flaws. An index system can be further developed that takes into account the negative correlations between productivity and conformation deficiencies, as well as the relationship between individual deficiencies.

Thus, this indicates the need for an integrated approach to breeding, aimed at simultaneously improving productive qualities and exterior performance while excluding animals with exterior defects.

In practical terms, this can be used to improve breeding methods, compile animal evaluation indices, predict breeding values and develop herd improvement programs.

When forming breeding groups, both productive and constitutional characteristics of animals should be taken into account.

Библиографический список

1. Батанов С. Д. и др. Молочная продуктивность коров разных экстерьерно-конституциональных типов. Известия ТСХА. 2021. Выпуск 2. С. 102-113.
2. Ayalew W., Aliy M., Negussie E. Estimation of genetic parameters of the productive and reproductive traits in Ethiopian Holstein using multi-trait models. Asian Australasian Journal of Animal Sciences. 2017. No. 30 (11). Pp. 1550-1556.
3. Абрамова Н. И., Власова Г. С., Богомолова Л. Н. Ключевые аспекты совершенствования современной вологодской популяции айрширской породы. Генетика и разведение животных. 2019. № 2. С. 48-55.
4. Контэ А. Ф., Карликова Г. Г. Генетическая изменчивость показателей продуктивности и оценки экстерьера голштинских коров в зависимости от типа телосложения. Аграрный вестник Урала. 2021. № 09 (212). С. 53-62.
5. Лапина М. Ю., Абрамова М. В. Динамика показателей экстерьера и молочной продуктивности в микропопуляции голштинского скота. Пермский аграрный вестник. 2020. № 3 (31). С. 94-102.
6. Васягин И. А., Ляшенко В. В., Каешова И. В. Оценка типа телосложения коров голштинской породы в зависимости от срока плодотворного осеменения. Нива Поволжья. 2024. № 4 (72). С. 2001.
7. Любимов А. И., Мартынова Е. Н., Исупова Ю. В., Ачкасова Е. В., Ястребова Е. А. Экстерьерные особенности и молочная продуктивность коров черно-пестрой породы разных генераций. Ученые записки казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2018. Т. 233. № 1. С. 98-103.
8. Контэ А. Ф., Карликова Г. Г. Параметры изменчивости показателей телосложения и продуктивности голштинских коров в зависимости от уровня удоя. Аграрный вестник Урала. 2022. № 6. С. 37-48.
9. Poppe M., Veerkamp R. F., van Pelt M. L., Mulder H. A. Exploration of variance, autocorrelation, and skewness of deviations from lactation curves as resilience indicators for breeding. J Dairy Sci. 2020. No 103 (2). Pp. 1667-1684.
10. Pérez González José et al. Aplicacion del método REML en modelos estadísticos lineales para el mejoramiento animal. Sostenibilidad en la zootecnia: estrategias para la gestión y producción animal. 2025. Pp. 58-82.
11. Aguilar I., Fernandez N., Blasco A., Ravagnolo O., Legarra A. A. Effects of ignoring inbreeding in model-based accuracy for BLUP and SSGBLUP. Journal of animal breeding and genetics. 2020. Vol. 137. Pp. 356-364.
12. Bradford H., Masuda Y., VanRaden P. M., Legarra A., Misztal I. Modeling missing pedigree in single-step genomic BLUP. Journal of Dairy Science. 2019. Vol. 102. I. 3. Pp. 2336-2346.

References

1. Batanov S. D., et al. Milk Productivity of Cows of Different Exterior-Constitutional Types. Izvestiya TSHA. 2021. Issue 2. Pp. 102-113.
2. Ayalew W., Aliy M., Negussie E. Estimation of genetic parameters of the productive and reproductive traits in Ethiopian Holstein using multi-trait models. Asian Australasian Journal of Animal Sciences. 2017. No. 30 (11). Pp. 1550-1556.
3. Abramova N. I., Vlasova G. S., Bogomolova L. N. Key Aspects of Improving the Modern Vologda Population of the Ayrshire Breed. Genetics and animal breeding. 2019. № 2. P. 48-55.
4. Conte A. F., Karlikova G. G. Genetic Variability of Productivity Indicators and Exterior Estimation of Holstein Cows Depending on the Body Type. Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. № 09 (212). Pp. 53-62.
5. Lapina M. Yu., Abramova M. V. Dynamics of exterior and milk productivity indicators in the micropopulation of Holstein cattle. Perm Agrarian Bulletin. 2020. № 3 (31). Pp. 94-102.
6. Vasyagin I. A., Lyashenko V. V., Kaeshova I. V. Assessment of the body type of Holstein cows depending on the period of fruitful insemination. Niva of the Volga region. 2024. № 4 (72). P. 2001.
7. Lyubimov A. I., Martynova E. N., Isupova Y. V., Achkasova E. V., Yastrebova E. A. Exterior Features and Milk Productivity of Black-and-White Cows of Different Generations. Scientific Notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman. 2018. V. 233. № 1. Pp. 98-103.
8. Conte A. F., Karlikova G. G. Parameters of variability of physique indicators and productivity of Holstein cows depending on the level of milk yield. Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. № 6. Pp. 37-48.
9. Poppe M., Veerkamp R. F., van Pelt M. L., Mulder H. A. Exploration of variance, autocorrelation, and skewness of deviations from lactation curves as resilience indicators for breeding. J Dairy Sci. 2020. No 103 (2). Pp. 1667-1684.
10. Pérez González José et al. Application of the REML method in linear statistical models for animal breeding. Sustainability in animal husbandry: strategies for animal management and production. 2025. Pp. 58-82.

11. Aguilar I., Fernandez N., Blasco A., Ravagnolo O., Legarra A. A. Effects of ignoring inbreeding in model-based accuracy for BLUP and SSGBLUP. *Journal of animal breeding and genetics*. 2020. Vol. 137. Pp. 356-364.

12. Bradford H., Masuda Y., VanRaden P. M., Legarra A., Misztal I. Modeling missing pedigree in single-step genomic BLUP. *Journal of Dairy Science*. 2019. Vol. 102. I. 3. Pp. 2336-2346.

Информация об авторах

Конте Александр Федорович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста, (Российская Федерация, 142132, Московская область, городской округ Подольск, поселок Дубровицы, 60), ORCID 0000-0003-4877-0883, e-mail: alexandrconte@yandex.ru

Недашковский Игорь Сергеевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, зав. отделом, ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста, (Российская Федерация, 142132, Московская область, городской округ Подольск, поселок Дубровицы, 60), ORCID: 0000-0003-0487-4576, e-mail: nedashkovsky_is@mail.ru

Authors' Information

Konte Aleksandr Fedorovich, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (Russian Federation, 142132, Moscow Region, Podolsk City District, Dubrovitsy Village, 60), ORCID 0000-0003-4877-0883 e-mail: alexandrconte@yandex.ru

Nedashkovsky Igor Sergeevich, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Head of National Catalogue, L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (Russian Federation, 142132, Moscow Region, Podolsk City District, Dubrovitsy Village, 60), ORCID: 0000-0003-0487-4576, e-mail: nedashkovsky_is@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-49

THE EFFECTIVENESS OF RAISING CALVES WHEN RAPESEED OILCAKE IS INTRODUCED INTO THEIR DIET

Varakin N. A., Zlepkin V. A., Stepurina M. A., Varakin A. T., Salomatin V. V.

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: varakinat58@mail.ru

Received 30.09.2025

Submitted 11.11.2025

Abstract

Introduction. In modern animal husbandry, there is significant interest in the use of by-products – oilcakes obtained at processing plants in the technology of producing vegetable oils, for feeding farm animals, helping to increase their productivity and economic performance. Therefore, an innovative technological method has been developed for introducing flaxseed cake into diets together with rapeseed cake to improve the efficiency of rearing replacement young stock in dairy cattle farming, which is highly relevant. **Materials and methods.** The scientific and economic experiment was carried out on calves during the milk growing period, with the formation of 2 groups of Holstein heifers: control and experimental (fifteen animals in each). The nature of feeding the calves was that the control group was given compound feed as part of the main diet, which, along with other components, included flaxseed cake – 21.17 % by weight, and the experimental group was given the same compound feed as part of the main diet, only by replacing 75 % of the flaxseed cake by weight with cake obtained from processing erucic-free, low-glucosinolate 00-type rapeseed varieties. **Results and conclusion.** When replacing 75 % of flaxseed cake by weight in the compound feed with erucic-free, low-glucosinolate 00-type rapeseed cake, the experimental group of heifers showed an advantage in the nutritional value of the average daily diet, compared to the control group, by content of dry matter, crude and digestible protein, crude fiber and crude fat, and the use of the test cake allows for an increase in the content of degradable protein in the diet. Additional benefits of the above-mentioned rapeseed cake: its introduction into the composition of compound feed, instead of the specified portion of flaxseed cake, improves the quality of protein in terms of lysine, methionine+cystine and tryptophan content. Research has shown that the above-mentioned advantages are in favor of the tested rapeseed cake contributed to an increase in weight gain in calves during the growing period. The use of a new technological method with the inclusion of erucic-free, low-glucosinolate varieties of rapeseed cake in the composition of compound feed for calves, in exchange for 75 % of flaxseed cake by weight, which has a positive impact on economic efficiency.

Keywords: feeding of calves, average daily rations of calves, nutritional value of the average daily ration, weight growth of calves.

Citation. Varakin N. A., Zlepkin V. A., Stepurina M. A., Varakin A. T., Salomatin V. V. The effectiveness of raising calves when rapeseed oilcake is introduced into their diet. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 440-449 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-49.

Author's contribution. All authors of the study were directly involved in the planning, conducting or analyzing this work. The authors of this article are familiar with the submitted final version and approved it.

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

УДК 636.2.033.087.26

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫРАЩИВАНИЯ ТЕЛЯТ С ВВЕДЕНИЕМ В РАЦИОН
ЖМЫХА РАПСОВОГО****Варакин Н. А., аспирант****Злепкин В. А., доктор сельскохозяйственных наук, доцент****Степурина М. А., кандидат сельскохозяйственных наук****Варакин А. Т., доктор сельскохозяйственных наук, профессор****Саломатин В. В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор**ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. В современном животноводстве значителен интерес к использованию побочных продуктов – жмыхов, получаемых на перерабатывающих предприятиях в технологии производства растительных масел, для кормления сельскохозяйственных животных, способствующих повышению их продуктивности и экономических показателей. Поэтому разработан инновационный технологический приём по введению в рационы льняного жмыха совместно с рапсовым жмыхом для повышения эффективности выращивания ремонтного молодняка в молочном скотоводстве, что является весьма актуальным. **Материалы и методы.** Выполнение научно-хозяйственного опыта организовали на телятах молочного периода выращивания, с формированием групп подопытных тёлочек голштинской породы: контрольной и опытной (по пятнадцать животных в каждой). Характер кормления телят заключался в том, что контрольной группе задавали в составе основного рациона комбикорм, который наряду с другими компонентами, включал льняной жмых – 21,17 % по массе, а опытной группе – в составе основного рациона задавали такой же комбикорм, только при замене 75 % льняного жмыха по массе на жмых, полученный от переработки рапса безэрукового, низкоглюкозинолатных 00-типа сортов. **Результаты и выводы.** При замене в составе комбикорма в части 75 % льняного жмыха по массе на жмых рапсовый безэруковый, низкоглюкозинолатный 00-типа сортов, у тёлочек опытной группы установлено преимущество в питательности среднего суточного рациона, сравнительно с контролем, по содержанию сухого вещества, сырого и переваримого протеина, сырой клетчатки и сырого жира, а также использование испытываемого жмыха позволяет увеличить содержание в рационе расщепляемого протеина. Дополнительные преимущества в пользу выше названного жмыха рапсового: его введение в состав комбикорма, вместо указанной части жмыха льняного, улучшает качество протеина по содержанию лизина, метионина+цистина и триптофана. Исследованиями выявлено, что выше перечисленные преимущества в пользу испытываемого рапсового жмыха способствовали увеличению весового роста у телят молочного периода выращивания. Применение нового технологического приёма с включением в состав комбикорма для телят рапсового жмыха безэрукового, низкоглюкозинолатных сортов, взамен в части 75 % льняного жмыха по массе, находит положительное отражение на экономической эффективности.

Ключевые слова: кормление телят, среднесуточные рационы телят, питательная ценность среднесуточного рациона, весовой рост телят.

Цитирование. Варакин Н. А., Злепкин В. А., Степурина М. А., Варакин А. Т., Саломатин В. В. Эффективность выращивания телят с введением в рацион жмыха рапсового. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 440-449. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-49.

Авторский вклад. Все авторы проведённого исследования принимали непосредственное участие в планировании, проведении или анализе данной работы. Авторы настоящей статьи ознакомлены с представленным окончательным её вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Все авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Реализация продуктивного потенциала сельскохозяйственных животных разных видов и половозрастных групп в значительной степени зависит от биологической полноценности кормления [1-8].

Вместе с этим, для достижения запланированных продуктивных показателей животных весьма важным является уровень содержания протеина в рационах и его качество по аминокислотному составу. Поэтому в научных исследованиях и практике животноводства большое значение придается поиску и внедрению эффективных высокобелковых кормовых средств, использование которых позволяет более рационально использовать корма, способствует повышению продуктивности и качества продукции в животноводстве. Например, в ряде исследовательских работ получены положительные результаты с введением в рационы рыжикового жмыха [9-12].

Рыночная экономика диктует необходимость организации ведения животноводства, рационально используя ресурсы кормовых средств. Для крупного рогатого скота, в частности телят молочного периода выращивания очень важны протеиновая и аминокислотная питательность потребляемого корма. Поэтому введение в состав рационов жмыхов масличных культур с высоким содержанием протеина и энергии имеет научное и практическое значение.

Исследователями установлено [13], что полноценности потребляемых рационов, запланированных продуктивных качеств выращиваемого молодняка, снижению себестоимости единицы прироста живой массы, получению дополнительной прибыли от снижения себестоимости прироста способствует использование эффективных кормовых средств, например включение в состав комбикорма для телят жмыха рапсового безэрукового, низкоглюкозинолатных сортов.

Значительный интерес у научных работников и специалистов животноводства вызывает использование побочных продуктов – жмыхов, получаемых на перерабатывающих предприятиях в технологии производства растительных масел, для кормления животных, позволяющих повысить их продуктивность и экономические показатели.

Экспериментальным путём было выявлено: скормливание высокопродуктивным молочным коровам испытуемых жмыхов – льняного и рапсового, позволяет расширить ассортимент потребляемых кормов и повысить полноценность рационов, что способствует улучшению показателей надоев молока и его качества, в частности по содержанию жира и белка. Скармливание данных жмыхов экономически выгодно, а несколько более высокий результат получен при использовании рапсового жмыха. В связи с этим, при производстве молока целесообразно вводить, наряду со жмыхом льняным, также жмых рапсовый в кормление высокопродуктивных коров [14].

Следует также отметить важность и актуальность проведения исследований продуктивности телят, и в частности их весового роста с использованием в рационах льняного и рапсового жмыхов для повышения эффективности выращивания ремонтного молодняка в молочном скотоводстве.

Целью наших исследований являлось изучение продуктивных и физиологических показателей у телят молочного периода выращивания с использованием в составе рационов рапсового жмыха безэрукового, низкоглюкозинолатных сортов при замене им части льняного жмыха.

Материалы и методы. Для достижения намеченной цели научные исследования были проведены в условиях сельскохозяйственного производства в ПХ АО «Труд» Ленинградской области.

Выполнение научно-хозяйственного опыта организовали на телятах молочного периода выращивания. При этом для исследований сформировали группы подопытных тёлочек голштинской породы. В каждую группу включили по пятнадцать телят. Формирование групп животных было проведено по принципу пар-аналогов.

Таблица 1 – Схема научно-хозяйственного опыта
Table 1 – Scheme of scientific and economic experience

Период / Period	Группа / Group	Количество, голов / Amount, heads	Продолжительность, дни / Duration, days	Особенности кормления / Features feeding
Предварительный (уравнивающий) / Preliminary (equalizing)	Контрольная, опытная / Control, experimental	30	10	Основной рацион (ОР) + комбикорм с льняным жмыхом / Basic ration (BR) + compound feed with flaxseed meal
Переходный / Transition	Контрольная / Control	15	5	ОР + комбикорм с льняным жмыхом / BR + compound feed with flaxseed meal
	Опытная / Experimental	15	5	ОР + комбикорм с льняным жмыхом – 25 % и рапсовым жмыхом – 75 % – приучение / BR + compound feed with flaxseed meal – 25 % and rapeseed meal – 75 % – training
Главный (учётный) / Chief (accounting)	Контрольная / Control	15	123	ОР + комбикорм с льняным жмыхом / BR + compound feed with flaxseed meal
	Опытная / Experimental	15	123	ОР + комбикорм с льняным жмыхом – 25 % и рапсовым жмыхом – 75 % / BR + compound feed with flaxseed meal – 25 % and rapeseed meal – 75 %
Заключительный / Final	Контрольная, опытная / Control, experimental	30	30	ОР + комбикорм с льняным жмыхом / BR + compound feed with flaxseed meal

Исследования на тёлках сравниваемых групп в научно-хозяйственном опыте были выполнены согласно схеме, приведённой в таблице 1.

Рационы для подопытных животных были разработаны при достижении среднесуточных приростов живой массы 800-900 г, используя нормы кормления РАСХН. При этом с учётом возраста и массы тёлочек выполнялась их ежемесячная корректировка.

В ходе опыта взвешивали телят ежемесячно, утром до кормления. Исследования по определению гематологических показателей у тёлочек выполняли на 5-ти головах из каждой группы. У этих животных, утром до кормления, из яремной вены была взята кровь, анализ которой проводили согласно общепринятым методикам.

Переваримость органических веществ телятами, усвоение ими азота и минеральных элементов изучались в обменном опыте на трёх животных из каждой группы, при достижении ими четырёхмесячного возраста.

Во время проведения экспериментальной работы за телятами контрольной и опытной групп был организован одинаковый уход, они содержались в одинаковых условиях.

Цифровой материал, полученный в исследованиях, обработали с использованием метода вариационной статистики.

По завершении научно-хозяйственного опыта изучили показатели экономической эффективности выращивания тёлочек, пользуясь в расчётах методикой ВАСХНИЛ (1980).

Результаты и обсуждение. Особенности кормления подопытных телят в научно-хозяйственном опыте характеризовались тем, что контрольная группа получала в составе ОР комбикорм, который наряду с другими компонентами, включал льняной жмых – 21,17 % по массе, а опытная группа – в составе ОР такой же комбикорм, только при замене 75 % жмыха льняного по массе на жмых рапсовый.

В наших исследованиях в комбикорме для опытной группы телят использовался жмых, полученный от переработки рапса безэрукового, низкоглюкозинолатных 00-типа сортов.

Состав в среднем суточного рациона для тёлочек сравниваемых групп по количеству заданных кормов и используемых кормовых минеральных добавок в главном периоде научно-хозяйственного опыта представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Количество кормовых средств в составе среднесуточного рациона для телят, кг
Table 2 – Amount of feed in the average daily ration for calves, kg

Корма и добавки / Feed and additives	Группа / Group	
	контрольная / control	опытная / experimental
ЗЦМ (восстановленный) / ZCM (reconditioned)	3,0	3,0
Комбикорм с льняным жмыхом / Compound feed with flaxseed oilcake	1,22	-
Комбикорм с льняным жмыхом – 25 % и рапсовым жмыхом – 75 % / Compound feed with flaxseed cake – 25 % and rapeseed oilcake – 75 %	-	1,22
Сенаж / Haylage	2,52	2,52
Дерть кукурузы / Pull corn	0,18	0,18
Шрот соевый / Soybean meal	0,08	0,08
Монокальцийфосфат, г / Monocalcium phosphate, g	16,3	16,3
Мел, г / Chalk, g	3,2	3,2
Соль поваренная, г / Table salt, g	16,7	16,7

При этом (таблица 2), приведённый суточный рацион в сравнительном аспекте по группам подопытных телят, в среднем за главный период опыта, показал, что по количеству используемых кормов и кормовых минеральных средств он был одинаковым. Однако тёлкам контрольной группы в его составе задавали комбикорм с льняным жмыхом, а опытной группы – такой же комбикорм, но при замене 75 % льняного жмыха по массе на рапсовый жмых.

В дополнение к этому, данные эксперимента по общей питательности среднесуточного рациона телят, а именно по содержанию в нём энергетических кормовых единиц – ЭКЕ в главном периоде научно-хозяйственного опыта показаны на рисунке 1.

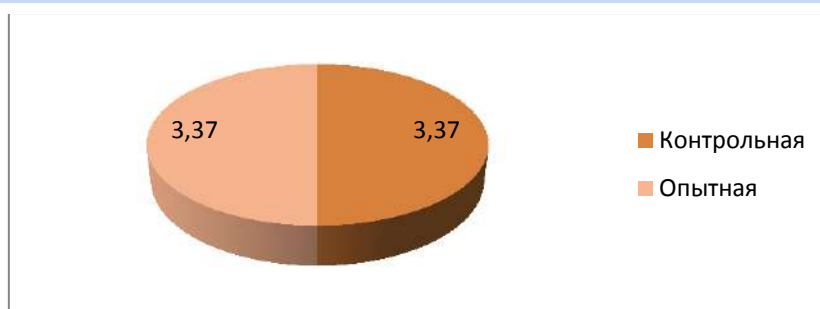


Рисунок 1 – Содержание ЭКЕ в среднесуточном рационе тёлочек
Figure 1 – Content of ECU in the average daily diet of heifers

Так (рисунок 1), полученные результаты исследования свидетельствовали о том, что по содержанию энергетических кормовых единиц в сравниваемых среднесуточных рационах тёлочек, а именно – 3,37, не было выявлено различий.

Однако в связи с разным химическим составом и общей питательностью льняного и рапсового жмыхов, были выявлены также определённые различия в показателях питательной ценности среднесуточного рациона у тёлочек в контрольной и опытной группах, что приведено в таблице 3.

Таблица 3 – Другие основные нормируемые показатели питательности среднего суточного рациона телят в главном периоде опыта, г
Table 3 – Other main standardized nutritional indicators of the average daily diet of calves in the main period of the experiment, g

Питательность / Nutritional value	Группа / Group	
	контрольная / control	опытная / experimental
ОЭ, МДж /	33,7	33,7
СВ	2830,0	2832,0
СП	535,8	542,5
ПП	443,1	445,3
СК	456,0	458,4
СЖ	197,4	201,2

Примечание: ОЭ – обменная энергия, СВ – сухое вещество, СП – сырой протеин, ПП – переваримый протеин, СК – сырая клетчатка, СЖ – сырой жир.

Согласно экспериментальным данным (таблица 3), по величине ОЭ, содержащейся в суточном рационе тёлочек, в среднем за главный период опыта, в сравниваемых группах не было выявлено разницы, а преимущество в питательности среднесуточного рациона у животных опытной группы, сравнительно с контролем, по содержанию СВ составило (г) – 2,0; СП – 6,7; ПП – 2,2; СК – 2,4 и СЖ – 3,8.

К приведённой питательности среднесуточного рациона телят представляет интерес содержание в нём БЭВ – безазотистых экстрактивных веществ, учитывая, что к ним относятся такие нормируемые показатели как сахара и крахмал. Результаты исследования данного важного показателя показаны на рисунке 2.

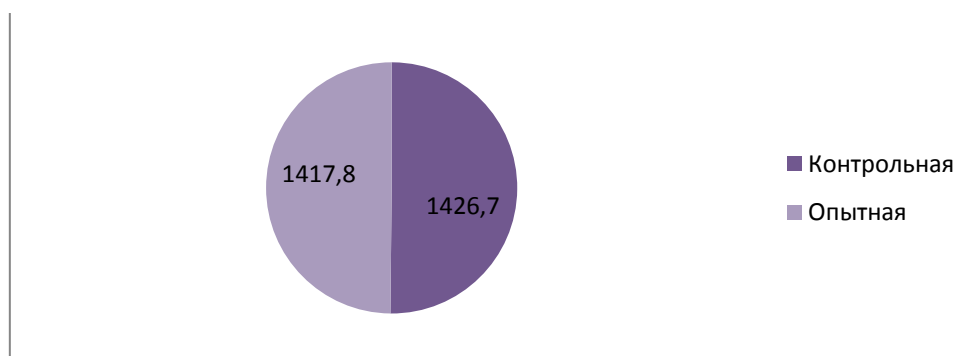


Рисунок 2 – Содержание БЭВ в среднесуточном рационе телят, г
Figure 2 – Contents BEV in the average daily diet of calves, g

Так (рисунок 2), большей величиной БЭВ отличался рацион, в среднем за сутки, в главном периоде эксперимента, у животных группы контроля - на 8,9 г, по сравнению с аналогичным показателем опытной группы.

Исследователями отмечается, что беззерновые и низкогликозинолатные сорта рапса являются перспективными кормовыми культурами, и это благодаря высокому содержанию в них протеина и энергии, а с увеличением введения рапсового жмыха до 15 % в состав комбикорма для телят – получают продуктивность на уровне показателей, при скормливании им комбикорма с использованием данного жмыха – 10 % [15].

Выращивая телят, кроме уровня протеина в рационах, обращают особое внимание на его биологическую ценность, то есть на содержание незаменимых аминокислот. Из 10 незаменимых аминокислот, которые не синтезируются в организме животных, лизин, метионин и триптофан являются критическими (лимитирующими). В злаковых кормах их больше всего недостает.

Нашими исследованиями установлено, что введение в состав комбикорма для телят рапсового жмыха беззернового, низкогликозинолатных сортов, вместо части 75 % льняного жмыха по массе, позволяет увеличить содержание в рационе расщепляемого протеина. Выявлены также дополнительные преимущества используемого в эксперименте жмыха рапсового, так как его введение в состав комбикорма, взамен выше указанной части жмыха льняного, улучшает качество протеина по содержанию лизина, метионина+цистина и триптофана.

По свидетельству данных из литературных источников: соотношение расщепляемого и нерасщепляемого протеина в рапсовом жмыхе обеспечивает оптимальное развитие микрофлоры рубца, он обладает хорошими вкусовыми качествами и характеризуется лучшим балансом аминокислот из всех белковых кормов, увеличивает прирост живой массы животных.

Учёными и практиками придаётся большое значение оценке биологической полноценности кормления в животноводстве, связанной с минеральным питанием [16-18], в частности разработке рационов с учётом содержания в них нормируемых макроэлементов.

Выявленное в наших исследованиях содержание макроэлементов в среднем суточном рационе подопытных тёлочек за главный период научно-хозяйственного опыта представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Показатели макроминеральной питательности среднего суточного рациона телят в главном периоде эксперимента, г

Table 4 – Macromineral nutritional values of the average daily diet of calves in the main period of the experiment, g

Макроэлементы / Macronutrients	Группа / Group	
	контрольная / control	опытная / experimental
Ca	28,76	29,36
P	19,26	18,98
Mg	3,69	3,55
K	35,71	35,65
S	6,06	6,10

Экспериментальные данные, представленные в таблице 4, свидетельствуют о том, что сравнительно с контролем, в опытной группе у животных выявлено большее содержание кальция в среднесуточном рационе – на 0,60 г, серы – на 0,04 г. В то же время, среднесуточный рацион в контрольной группе превышал опытную группу по содержанию фосфора – на 0,28 г, магния – на 0,14 г, калия – на 0,06 г.

Исследованиями также были выявлены некоторые отличия по макроминеральной питательности среднего суточного рациона в сравниваемых группах телят, в главном периоде научно-хозяйственного опыта.

Введение в состав комбикорма рапсового жмыха взамен 75 % льняного жмыха по массе нашло положительное отражение на энергии роста телят опытной группы, по сравнению с контролем. Результаты исследования продуктивности животных сравниваемых групп по показателю живой массы в главном периоде эксперимента приведены в таблице 5.

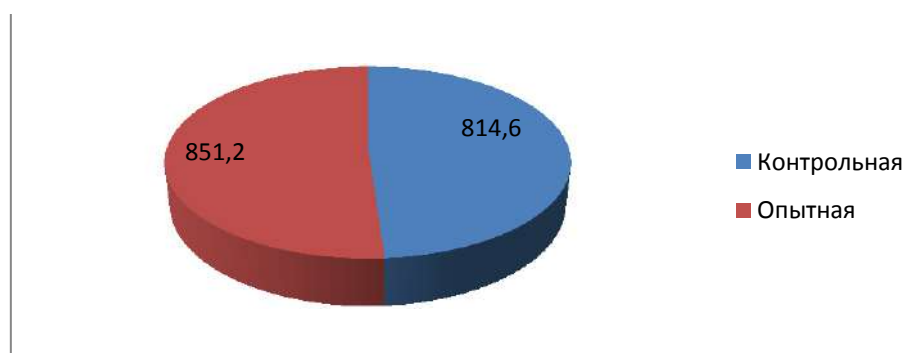
Таблица 5 – Живая масса и её прирост у телят ($M \pm m$), ($n=15$)
Table 5 – Live weight and its gain in calves ($M \pm m$), ($n=15$)

Группа / Group	Продолжительность главного периода опыта, дней / Duration of the main period of the experiment, days	Живая масса, кг / Live weight, kg		Прирост живой массы / Live weight gain	
		в начале главного периода опыта / at the beginning of the main period of experiment	в конце главного периода опыта / at the end of the main period of experiment	общий, кг / total, kg	% к контролю / % to control
Контрольная / Control	123	59,6 $\pm$ 0,42	159,8 $\pm$ 1,19	100,2	100
Опытная / Experimental	123	59,9 $\pm$ 0,45	164,6 $\pm$ 1,31	104,7	104,5

Согласно полученным данным (таблица 5), в начале главного периода опыта телята сравниваемых групп по живой массе существенно не различались. Однако в конце главного периода эксперимента, сравнительно с контролем, у животных опытной группы установлено преимущество по данному показателю на 4,8 кг, или 3,0 % при $P > 0,95$.

При этом за главный период опыта (123 дня) в возрасте 5 месяцев телки контрольной группы имели абсолютный прирост живой массы на одну голову в среднем – 100,2 кг, а в опытной группе величина этого показателя была больше – на 4,5 кг, или 4,5 % при $P > 0,99$, чем в контроле. Следовательно, телята опытной группы отличались более высокой интенсивностью роста.

В научном и практическом плане представляет интерес изучение показателя среднего суточного прироста живой массы животных, имеющих различия в потреблении испытываемых кормовых средств. Результаты исследования этого важного показателя у подопытных телок показаны на рисунке 3.

Рисунок 3 – Среднесуточный прирост живой массы телок, г
Figure 3 – Average daily gain in live weight of heifers, g

Так (рисунок 3), полученные данные свидетельствуют о том, что в среднем за главный период научно-хозяйственного опыта у контрольных животных выявлена величина суточного прироста живой массы – 814,6 г, что уступает телятам опытной группы (851,2 г) – на 36,6 г, или 4,5 % при $P > 0,99$.

Использование разнообразного ассортимента кормовых средств, повышение биологической ценности рационов за счёт перспективных источников высокого качества протеина является научно обоснованным подходом, в итоге показывающим улучшение показателей переваримости и усвоения питательных веществ корма в организме животных, с ростом их продуктивности и повышением эффективности производства.

Исследователями отмечается, что улучшение биологической ценности кормления положительно отражается на потреблении, переваримости питательных веществ и обмене азота у телят [19], обмене веществ в организме телят-молочников [20], обмене веществ у ремонтных свинок [21], использовании кальция и фосфора телятами из рациона [22], продуктивных качествах животных [23].

В наших исследованиях замена в составе комбикорма льняного жмыха в части 75 % по массе на высокого качества жмых, полученный от переработки рапса безэрукового, низкоглюкозинолатных 00-типа сортов, позволила активизировать обмен веществ в организме тёлочек, что нашло отражение на получении более высоких показателей переваримости и использования питательных веществ рациона, а также продуктивности у телят молочного периода выращивания, которые имели более высокую энергию роста.

Проведение зоотехнических исследований зачастую сопровождаются изучением физиологического состояния животных, и в частности определением гематологических показателей [24, 25].

Данные наших исследований показали соответствие морфологических и биохимических показателей крови подопытных тёлочек из сравниваемых групп физиологической норме.

Выполняя оценку экономической эффективности проведённых исследований, по сравнению с льняным жмыхом, была выявлена более низкая цена испытуемого рапсового жмыха, а с учётом его положительного влияния на продуктивность тёлочек, это способствовало получению меньших затрат при выращивании телят молочного периода.

Выводы. Таким образом, с заменой в составе комбикорма в части 75 % льняного жмыха по массе на жмых рапсовый безэруковый, низкоглюкозинолатный 00-типа сортов, у тёлочек опытной группы установлено преимущество в питательности среднего суточного рациона, сравнительно с контролем, по содержанию СВ, СП, ПП, СК и СЖ, а также использование испытуемого рапсового жмыха позволяет увеличить содержание в рационе расщепляемого протеина. Дополнительными преимуществами в пользу выше названного жмыха рапсового являются: его введение в состав комбикорма, вместо указанной части жмыха льняного, улучшает качество протеина по содержанию лизина, метионина+цистина и триптофана. Исследованиями выявлено, что выше перечисленные преимущества в пользу испытуемого рапсового жмыха позволили увеличить весовой рост телят молочного периода выращивания. Применение нового технологического приёма с введением в состав комбикорма для телят рапсового жмыха безэрукового, низкоглюкозинолатных сортов, взамен в части 75 % льняного жмыха по массе, способствует улучшению экономической эффективности.

Conclusions. Thus, with the replacement of 75 % of flaxseed cake by weight in the compound feed with erucic free, low glucosinolate 00-type rapeseed cake, the experimental group of heifers showed an advantage in the nutritional value of the average daily diet, compared to the control group, in terms of the content of DM, SP, PP, SC and SF, and the use of the tested rapeseed cake allows for an increase in the content of degradable protein in the diet. Additional advantages in favor of the above-mentioned rapeseed cake are: its introduction into the composition of compound feed, instead of the specified portion of flaxseed cake, improves the quality of protein in terms of lysine, methionine+cystine and tryptophan content. Research has shown that the above-mentioned advantages are in favor of the tested rapeseed cake allowed to increase the weight gain of calves during the milk growing period. The use of a new technological method with the introduction of erucic free, low glucosinolate varieties of rapeseed cake into the composition of compound feed for calves, in exchange for 75 % flaxseed cake by weight, which helps improve economic efficiency.

Библиографический список

1. Симонов Г. А. и др. Биологическая ценность комплексной минеральной добавки для лактирующих коров. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 2 (66). С. 238-247.
2. Степурина М. А. и др. Кормовые добавки для повышения питательной ценности рационов и продуктивности лактирующих коров. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 4 (56). С. 170-179.
3. Дуборезов В. Кормление молочных коров по детализированным нормам. Молочное и мясное скотоводство. 2020. № 4. С. 52-55.
4. Варакин А. Т. и др. Оптимизация минерального питания откармливаемых баранчиков в условиях естественных пастбищ. Овцы, козы, шерстяное дело. 2020. № 3. С. 39-42.
5. Андреев И. В., Дуборезов В. М. Плющенное зерно в рационе бычков при откорме. Комбикорма. 2021. № 4. С. 28-30.
6. Гайирбегов Д. Ш. и др. Изменение состава молока свиноматок первого опороса во взаимосвязи с биологической ценностью рационов. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 3 (75). С. 217-223.

7. Зотеев В. С. и др. Оптимизация уровня меди в рационе холостых овцематок. Овцы, козы, шерстяное дело. 2018. № 2. С. 31-34.
8. Степурина М. А. и др. Продуктивные качества дойных коров при оптимизации минеральной обеспеченности рационов. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 4 (60). С. 269-280.
9. Zoteev V. S., et al. False flax cake in mixed feed for the fattening of lactating cows and dairy stores. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. No 9 (5). Pp. 1422-1428.
10. Варакин А. Т., Кулик Д. К., Саломатин В. В. Использование рыжикового жмыха для производства баранины. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. Вып. 3. С. 39-43.
11. Varakin A. T., et al. Productivity and blood composition indicators of ram lambs during fattening with the use of oil-plant seeds in diets. Development of the agro-industrial complex in the context of robotization and digitalization of production in Russia and abroad (DAIC 2020): International Scientific and Practical Conference. E3S Web of Conf. 2020. V. 222. Pp. 1-8.
12. Зотеев В. С., Кириченко Н. В. Эффективность использования рыжикового жмыха в комбикормах для лактирующих коз. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. Вып. 1. С. 111-114.
13. Радчиков В. Ф. и др. Рапсовый жмых в составе комбикорма для телят. Зоотехническая наука Беларуси. 2014. Т. 49. № 2. С. 139-147.
14. Варакин А. Т. и др. Использование жмыхов разных видов для производства молока. Эффективное животноводство. 2024. № 5 (195). С. 39-41.
15. Сапсальёва Т. Л. и др. Возможность использования рапсового жмыха в кормлении телят первой фазы выращивания. Научное обеспечение устойчивого развития агропромышленного комплекса: сборник материалов Международной научно-практической конференции. Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН, 2021. С. 1468-1473.
16. Батанов С. Д., Березкина Г. Ю., Килин В. В. Влияние минеральной добавки «Стимул» на биохимические показатели крови. Учёные записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины имени Н. Э. Баумана. 2014. Т. 220. С. 38-42.
17. Тяпугин Е. А. и др. Потребность суягных овцематок в меди в условиях аридной зоны России. Российская сельскохозяйственная наука. 2018. № 2. С. 50-54.
18. Varakin A. T., et al. Hematological parameters of boars-producers at use of a natural mineral additive in a diet. International Journal of Innovative. Technology and Exploring Engineering. 2019. V. 9. I. 1. Pp. 3837-3841.
19. Мокроусов В. Е., Гайирбеков Д. Ш., Алигазиева П. А. Потребление, переваримость питательных веществ и обмен азота у 3-х месячных телят в зависимости от уровня содержания крезацина в рационах. Проблемы развития АПК региона. 2024. № 1. С. 118-123.
20. Варакин А. Т. и др. Обмен веществ у телят-молочников в зависимости от уровня крезацина в рационах. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 2 (74). С. 170-178.
21. Варакин А. Т. и др. Влияние кормовой добавки «Крезацин» на обмен веществ у ремонтных свинок. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1 (69). С. 332-338.
22. Мокроусов В. Е. и др. Использование кальция и фосфора телятами из рациона под действием кормовой добавки «Крезацин» в конце молочного периода. Известия Дагестанского ГАУ. 2024. № 4 (24). С. 197- 201.
23. Гайирбеков Д. Ш. и др. Химический состав и энергетическая ценность мяса бычков в зависимости от типа кормления. Проблемы развития АПК региона. 2017. Т. 29. № 1 (29). С. 71-74.
24. Саломатин В. В., Ряднова Т. А., Ряднов А. А. Влияние адаптогена стресс-корректора Лигфол в сочетании с ростостимулирующим препаратом Селенолин на гематологические показатели молодняка свиней. Ветеринария. 2020. № 12. С. 55-58.
25. Симонов Г. А. и др. Влияние минеральной добавки на уровень общего белка и его фракций в сыворотке крови коров. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 1. С. 73-79.

References

1. Simonov G. A., et al. Biological value of a complex mineral supplement for lactating cows. Proceedings of LV Agro-university complex: science and higher education. 2022. No 2 (66). Pp. 238-247.
2. Stepurina M. A., et al. Feed additives to increase the nutritional value of diets and the productivity of lactating cows. Proceedings of LV Agro-university complex: science and higher education. 2019. No 4 (56). Pp. 170-179.
3. Duborezov V. Feeding dairy cows according to detailed standards. Dairy and beef cattle breeding. 2020. No 4. Pp. 52-55.
4. Varakin A. T., et al. Optimization of mineral nutrition of fattening rams in natural pastures. Sheep, goats, woolen business. 2020. No 3. Pp. 39-42.
5. Andreev I. V., Duborezov V. M. Flattened grain in the diet of fattening bulls. Combined feed. 2021. No 4. Pp. 28-30.
6. Gayirbegov D. Sh., et al. Changes in the composition of milk of sows of the first farrowing in relation to the biological value of diets. Proceedings of LV Agro-university complex: science and higher education. 2024. No 3 (75). Pp. 217-223.
7. Zoteev V. S., et al. Optimization of copper levels in the diet of barren ewes. Sheep, goats, wool business. 2018. No 2. Pp. 31-34.
8. Stepurina M. A., et al. Productive qualities of dairy cows while optimizing the mineral supply of rations. Proceedings of LV Agro-university complex: science and higher education. 2020. No 4 (60). Pp. 269-280.
9. Zoteev V. S., et al. False flax cake in mixed feed for the fattening of lactating cows and dairy stores. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. No 9 (5). Pp. 1422-1428.
10. Varakin A. T., Kulik D. K., Salomatina V. V. Use of camelina oilcake for the production of lamb. Bulletin Samara State Agricultural Academy. 2018. No 3. Pp. 39-43.

11. Varakin A. T., et al. Productivity and blood composition indicators of ram lambs during fattening with the use of oil-plant seeds in diets. Development of the agro-industrial complex in the context of robotization and digitalization of production in Russia and abroad (DAIC 2020): International Scientific and Practical Conference. E3S Web of Conf. 2020. V. 222. Pp. 1-8.
12. Zoteev V. S., Kirichenko N. V. Efficiency of using camelina oilcake in compound feed for lactating goats. Bulletin of the Samara State Agricultural Academy. 2014. No 1. Pp. 111-114.
13. Radchikov V. F., et al. Rapeseed cake in the composition of compound feed for calves. Zoo-technical Science of Belarus. 2014. V. 49. No 2. Pp. 139-147.
14. Varakin A. T., et al. Use of different types of cakes for milk production. Effective animal husbandry. 2024. No 5 (195). Pp. 39-41.
15. Sapsaleva T. L., et al. The possibility of using rapeseed cake in feeding calves in the first stage of growth. Scientific support for sustainable development of the agro-industrial complex: collection of materials from the International scientific and practical conference. Caspian Agrarian Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2021. Pp. 1468-1473.
16. Batanov S. D., Berezkina G. Yu., Kilin V. V. Influence of mineral additive "Stimulus" on blood biochemical parameters. Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman. 2014. V. 220. Pp. 38-42.
17. Tyapugin E. A., et al. Copper requirements of pregnant ewes in the arid zone of Russia. Russian Agricultural Science. 2018. No 2. Pp. 50-54.
18. Varakin A. T., et al. Hematological parameters of boars-producers at use of a natural mineral additive in a diet. International Journal of Innovative. Technology and Exploring Engineering. 2019. V. 9. I. 1. Pp. 3837-3841.
19. Mokrousov V. E., Gaiyrbegov D. Sh., Aligazieva P. A. Consumption, digestibility of nutrients and nitrogen metabolism in 3-month-old calves depending on the level of crezacin content in diets. Problems of development of the regional agrarian and industrial complex. 2024. No 1. Pp. 118-123.
20. Varakin A. T., et al. Metabolism in dairy calves depending on the level of crezacin in diets. Proceedings of LV Agro-University Complex: science and higher education. 2024. No 2 (74). Pp. 170-178.
21. Varakin A. T., et al. The influence of the feed additive "Krezacin" on the metabolism of replacement pigs. Proceedings of LV Agro-University Complex: science and higher education. 2023. No 1 (69). Pp. 332-338.
22. Mokrousov V. E., et al. Use of calcium and phosphorus by calves from the diet under the influence of the feed additive "Krezacin" at the end of the milk period. Dagestan GAU Proceedings. 2024. No 4 (24). Pp. 197-201.
23. Gairbegov D. Sh., et al. Chemical composition and energy value of bull meat depending on the type of feeding. Problems of development of the regional agro-industrial complex. 2017. Vol. 29. No 1 (29). Pp. 71-74.
24. Salomatin V. V., Ryadnova T. A., Ryadnov A. A. Influence of Ligfol stress corrector adaptogen in combination with growth-stimulating drug Selenolin on hematological parameters of young pigs. Veterinary medicine. 2020. No 12. P. 55-58.
25. Simonov G. A., et al. The influence of mineral supplements on the level of total protein and its fractions in the blood serum of cows. Bulletin of Samara State Agricultural Academy. 2022. No 1. Pp. 73-79.

Информация об авторах

Варакин Никита Александрович, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: varakinnikita26@gmail.com

Злепкин Виктор Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), ORCID 0000-0002-0804-7634, e-mail: vzlepkin@mail.ru

Степурина Мария Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: marinaserov@yandex.ru

Варакин Александр Тихонович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), ORCID 0000-0003-0375-7108, e-mail: varakinat58@mail.ru

Саломатин Виктор Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), ORCID 0000-0001-6663-1663, e-mail: viktor.salomatin@internet.ru

Authors' Information

Varakin Nikita Aleksandrovich, postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: varakinnikita26@gmail.com

Zlepkin Viktor Aleksandrovich, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID 0000-0002-0804-7634, e-mail: vzlepkin@mail.ru

Stepurina Maria Aleksandrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: marinaserov@yandex.ru

Varakin Aleksandr Tikhonovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID 0000-0003-0375-7108, e-mail: varakinat58@mail.ru

Salomatin Viktor Vasilievich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID 0000-0001-6663-1663, e-mail: viktor.salomatin@internet.ru

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ /
AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-50

THE ASSESSMENT OF THE MAN-MADE EFFECTS POTENTIAL HARM OF THE MACHINE
AND TRACTOR UNITS AND TECHNOLOGICAL PROCESSES IN CROP PRODUCTION¹Dzhabborov N. I., ¹Dobrinov A. V., ²Eviev V. A., ³Fomin S. D., ²Kurepina N. L., ²Okonov M. M.¹*Institute of Agro-engineering and Environmental Problems of Agricultural Production (IAEP) –
Branch of the Federal Scientific Center for VIM
St. Petersburg, Russian Federation*²*Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov
Elista, Republic of Kalmykia, Russian Federation*³*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: aviev@yandex.ru

Received 15.10.2025

Submitted 17.11.2025

Abstract

Introduction. The relevance of the research topic is related to the problem of increasing the efficiency of agricultural production technologies and predicting the potential harm from the man-made impact of technological processes and the corresponding means of their mechanization. Potential harm from the man-made impact of machine and tractor units and technological processes represents the possible costs associated with changes in the qualitative and quantitative indicators characterizing the state of the environment, which ultimately affect the efficiency of agricultural production. **Purpose of the work.** The purpose of this research is to develop a methodology for calculating and assessing the potential harm from the man-made impact of technical means and technological processes in agricultural cultivation technologies. **Materials and methods.** The work utilized methods of mathematical modeling, systems analysis, and generalization of the results of our own research and those obtained by various authors on this issue. **Results and discussion.** Based on a literature review and expert assessment, significant indicators for assessing the potential harm from the anthropogenic impact of technological processes and technical equipment in crop production were selected. These indicators meet a number of requirements: increasing soil fertility, reducing diffuse load, and reducing emissions of climate-active substances during crop production. A mathematical model has been developed that describes the formation of potential harm from the anthropogenic impact of technical equipment during various technological processes. An example of calculating the potential harm from the technological process of plowing and the operation of the MTZ-82.1+PLN-3-35 plowing unit is provided. Using the example of calculations under the conditions of the agro-ecological testing ground of the Institute of Agricultural Policy and Ethnography (IAEP), a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Center for VIM, it was found that the total amount of potential harm from emissions of climate-active substances (greenhouse gases) and the biogenic load from plowing with an arable unit will amount to 2026.7 rubles per 1 hectare. The essence of the developed mathematical model and calculation methodology lies in the synthesis of multiple indicators for assessing potential harm in the complex process of its formation and their impact on the financial efficiency of crop production in agricultural production. The proposed mathematical model and methodology enable the calculation of potential harm from the man-made impact of technical means and technological processes and the development of technical and technological solutions for its mitigation. The results of the potential harm calculation can be used to justify and evaluate the feasibility of using certain technological processes, optimize their number, select a strategy for developing agricultural production technologies, and justify quotas for emissions of climate-active substances.

Keywords: man-made impacts, climatically active substances, matrix calculation, assessment of potential harm, environmental costs of enterprises.

Citation. Jabborov N. I., Dobrinov A. V., Eviev V. A., Fomin S. D., Kurepina N. L., Okonov M. M. The assessment of the man-made effects potential harm of the machine and tractor units and technological processes in crop production. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 450-464 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-50.

Authors' contribution. All authors contributed equally to the work, participated equally in writing the manuscript, and bear equal responsibility.

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

УДК 631.95:504.06:631.3

**ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ВРЕДА ОТ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ**¹Джаббаров Н. И., доктор технических наук, профессор¹Добринов А. В., кандидат технических наук, доцент²Эвиев В. А., доктор технических наук, профессор³Фомин С. Д., доктор технических наук, доцент²Курепина Н. Л., доктор экономических наук, профессор²Оконов М. М., доктор сельскохозяйственных наук, профессор¹Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова»
Республика Калмыкия, г. Элиста, Российская Федерация³ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Актуальность темы исследований связана с проблемой повышения эффективности технологий производства сельскохозяйственной продукции и прогнозирования возможного вреда от техногенного воздействия технологических процессов и соответствующих средств их механизации. Потенциальный вред от техногенного воздействия машинно-тракторных агрегатов и технологических процессов представляет возможные затраты, связанные с изменением качественных и количественных показателей, характеризующих состояние окружающей среды, которые в конечном итоге влияют на эффективность производства сельскохозяйственной продукции. **Цель работы.** Целью настоящих исследований, является разработка методики расчета и оценка потенциального вреда техногенного воздействия технических средств и технологических процессов в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур. **Материалы и методы.** При проведении работы применялись методы математического моделирования, системного анализа и обобщения результатов собственных исследований и полученные различными авторами, посвященные данной проблеме. **Результаты и обсуждение.** На основе анализа литературных источников и экспертной оценки были выбраны весомые показатели оценки потенциального вреда техногенного воздействия технологических процессов и технических средств в растениеводстве, соответствующие ряду требований: повышению плодородия почвы, снижению диффузной нагрузки и выбросов климатически активных веществ при производстве продукции растениеводства. Разработана математическая модель, описывающая процесс формирования потенциального вреда техногенного воздействия технических средств при выполнении различных технологических процессов. Приведен пример расчета потенциального вреда технологического процесса вспашки и работы пахотного агрегата МТЗ-82.1+ПЛН-3-35. На примере расчета в условиях агроэкологического полигона ИАЭП – филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ установлено, что общая сумма потенциального вреда от выбросов климатически активных веществ (парниковых газов) и биогенной нагрузки от вспашки пахотным агрегатом составит 2026,7 рублей на 1 га. Сущность разработанной математической модели и методики расчета заключается в синтезе многочисленных показателей оценки потенциального вреда в сложном процессе его формирования и их влияние на финансовую эффективность растениеводства в сельскохозяйственном производстве. Предложенные математическая модель и методика позволяют рассчитать потенциальный вред от техногенного воздействия технических средств и технологических процессов и разработать технико-технологические решения для его снижения. Результаты расчета потенциального вреда можно использовать для обоснования и целесообразности применения тех или иных технологических процессов, оптимизировать их количество, выбрать стратегию развития технологий производства сельскохозяйственной продукции, а также обосновать квоту на выбросы климатически активных веществ.

Ключевые слова: техногенные воздействия, климатически активные вещества, матричный расчет, оценка потенциального вреда, экологические затраты предприятий.

Цитирование. Джаббаров Н. И., Добринов А. В., Эвиев В. А., Фомин С. Д., Курепина Н. Л., Оконов М. М. Оценка потенциального вреда от техногенного воздействия машинно-тракторных агрегатов и технологических процессов в растениеводстве. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 450-464. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-50.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В современных реалиях агропромышленного производства одним из ключевых условий для устойчивого развития сельскохозяйственной деятельности является экологизация технологических процессов получения продукции растениеводства, обеспечивающая рациональное использование природных ресурсов и снижения техногенной нагрузки на агроэкосистему.

Имеющиеся естественные природные ресурсы экосистемы, такие как почва, водные объекты, окружающий чистый воздух, при интенсивном ведении сельскохозяйственной деятельности подвергаются ежегодному риску ухудшению их качества. При этом происходит снижение уровня плодородия почвы из-за переуплотнения, уменьшение содержания органических веществ и т.д., загрязнение водных объектов из-за выноса биогенных элементов с сельскохозяйственных угодий, выбросы парниковых газов из-за сжигания двигателями тракторов топлива, применения различных способов обработки почвы, изменения биологической активности почвы и других многочисленных факторов.

Следует отметить, что за последние десятилетия интенсивность использования тяжелой энергонасыщенной техники резко возросла. Применение тяжелых энергонасыщенных колесных тракторов, как известно, оказывает повышенное давление на почву, приводя к её уплотнению на значительной глубине. Уплотнение почвы негативно влияет на рост и развитие корневой системы растений, биологическую активность почв, что ведет к недооценённым потерям значительной части урожая. Исследования показывают¹, что нагрузка на колесо трактора увеличивается в среднем на одну тонну каждые 15 лет. За последние 15 лет этот рост ускорился, при этом нагрузка на колесо увеличилась на 15-20 %.

В целом, техногенное воздействие технологий и технических средств влияет на размер экологических затрат сельскохозяйственных предприятий.

В 2023 г. расходы российских предприятий² на экологию достигли 1,3 трлн руб., увеличившись по сравнению с предшествующим годом на 191,5 млрд руб., или на 17,3 %. Суммарные экологические затраты распределились следующим образом: 69,2 % составили текущие эксплуатационные расходы (проведение природоохранных мероприятий, обеспечение текущей работы технологических процессов и производств, содержание и эксплуатация оборудования, функционирующего с целью предотвращения, уменьшения или очистки загрязнений) и оплата услуг природоохранного назначения сторонним специализированным организациям (очистка сточных вод, обращение с отходами, контроль за выбросами и экологический аудит).

В РФ для устойчивого и сбалансированного развития экономики страны принят ряд нормативных документов: Федеральный закон № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов»³, Федеральный закон № 34-ФЗ «О проведении эксперимента по ограничению выбросов парниковых газов в отдельных субъектах Российской Федерации»⁴ и издан Приказ Минэкономразвития России № 452 «Об утверждении методики определения проектируемых квот выбросов парниковых газов в рамках проведения эксперимента по ограничению выбросов парниковых газов в отдельных субъектах Российской Федерации»⁵.

В связи с тем, что до сих пор не установлена научно обоснованная ставка платы за превышение квоты выбросов парниковых газов на территории Сахалинской области РФ были начаты эксперименты по их ограничению. С этой целью было принято Постановление Правительства Российской Федерации от 18 августа 2022 г. № 1441 «О ставке платы за превышение квоты выбросов парниковых газов в рамках проведения эксперимента по ограничению выбросов парниковых газов на территории Сахалинской области»⁶.

¹Уменьшение сельхозтехники в экологических приоритетах: <https://www.agroxxi.ru/selhoztehnika/novosti/umenshenie-selhoztehniki-v-ekologicheskikh-prioritetah.html> Better Soil Management. Автор: Гвидо Бакема, Wageningen Environmental Research.

²Природоохранные расходы предприятий достигли 1,3 трлн рублей: https://www.profiz.ru/eco/blog/post_14481/sales/sales/sales/sales/ (дата обращения 28.10.2025 г.)

³ Федеральный закон № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов» от 02.07.2021 г.

⁴ Федеральный закон № 34-ФЗ «О проведении эксперимента по ограничению выбросов парниковых газов в отдельных субъектах Российской Федерации» от 06.03.2022 г.

⁵ Приказ Минэкономразвития России от 24.08.2022 N 452 «Об утверждении методики определения проектируемых квот выбросов парниковых газов в рамках проведения эксперимента по ограничению выбросов парниковых газов в отдельных субъектах Российской Федерации» (Зарегистрировано в Минюсте России 31.08.2022 N 69858).

⁶ Постановление Правительства Российской Федерации от 18 августа 2022 г. № 1441 «О ставке платы за превышение квоты выбросов парниковых газов в рамках проведения эксперимента по ограничению выбросов парниковых газов на территории Сахалинской области» (срок действия 1 марта 2023 г. – 31 декабря 2028 г.).

«При сопоставлении данных 2014-2015 гг. выявлено, что, хотя объем инвестиций с учетом инфляции и ниже фактического их значения в 1,5 раза, количество загрязненных городов все же уменьшилось с 30 до 11, что связано с положительным влиянием вложения в тот период крупных денежных средств в природоохранные мероприятия, в частности, в охрану воздуха. В целом России целесообразно постепенно увеличивать финансирование, направленное на поддержание и улучшение экологической ситуации в регионах. Если этого не делать, то вопрос об экологическом состоянии регионов и страны в целом встанет острее, что приведет к неблагоприятным последствиям, которые не только ухудшат экологическую ситуацию, но и заставят задуматься всех людей о пересмотре своего отношения к потреблению природных ресурсов и предотвращении серьезных последствий, которые невозможно будет исправить» [1].

В статье [2] рассматривается проблема платы за негативное воздействие на окружающую среду предприятиями Вологодской области. В ходе работы было установлено, что за семь лет большинство показателей водопользования были улучшены: уменьшилось количество изымаемой из природной среды и используемой воды, уменьшился сброс и нормативно чистых и нормативно очищенных вод, увеличилось оборотное и повторное использование воды. В плане усиления природоохранной деятельности негативная тенденция выявлена по показателю сброса вод без очистки, а также слабое снижение количества сброса недостаточно очищенных вод.

В работе [3] приведены результаты анализа существующих экономических средств регулирования в области охраны окружающей среды. Установлено, что основное направление в управлении природопользованием и охраны окружающей среды сводится к решению задач экономического регулирования, которые позволяют достичь целей политики государства в области экологической стабильности.

Предложено новое понятие – «экологическое здоровье» региона – состояние, при котором взаимодействие всех систем региона (производственной, социальной, инновационной, финансовой, инвестиционной), способных выполнять свои функции, позволяет достичь баланса, динамического равновесия с окружающей средой. Опираясь на составляющие экономической эффективности экологического здоровья, определены его критерии: осуществление затрат на природоохранные мероприятия, увеличение финансового результата, наличие специалистов в области эколого-экономического управления, осуществление исследований и разработок, направленных на охрану окружающей среды, возможность реализации «чистой» экологичной продукции и т.д. [4].

Автором работы [5] рентабельность R предприятия предлагается определять с учетом последствия его воздействия на окружающую среду по формуле:

$$R = (\Pi - Y) / (\Phi - \Pi P), \quad (1)$$

где Π – прибыль, руб.; Y – размер экологического ущерба, руб.; Φ – нормируемые оборотные средства, руб.; ΠP – стоимость используемых природных ресурсов, руб.

«Из этого следует, что чем меньше природных ресурсов потребляет производитель и чем меньший урон наносит он природе, тем выше будет показатель рентабельности. Если деятельность предприятия из-за нерационального использования ресурсов или загрязнения среды наносит ущерб обществу, то это приведет к изменению всех экономических показателей. Так, на величину установленного ущерба уменьшаются объем производства и прибыль, пропорционально им снижаются фондоотдача, производительность и т.д.» [5].

«Ресурсосбережение и охрана природы должны быть выдвинуты на одно из первых мест в социально-экономической стратегии региона, и усилия региональных властей должны быть направлены не только на ликвидацию негативных последствий антропогенной деятельности, но и на предотвращение загрязнения окружающей среды. Знание важнейших факторов, влияющих на состояние окружающей среды региона, позволит принять соответствующие хозяйственные решения, которые скажутся в ближайшем будущем» [6].

Авторы работы [7] в результате исследований пришли к выводу, что «чем выше уровень социально-экономического развития общества, тем определеннее стратегия общества в сфере экономической эффективности природопользования, более четко выражены экологические потребности в отношении качества окружающей среды, осознана необходимость платить за экологическое благополучие. Авторами данной работы установлено,

что экономический эффект, или результат природоохранных затрат, проявляется в предотвращении экономического ущерба от техногенного воздействия субъекта хозяйствования на окружающую среду и получении дополнительного дохода в результате улучшения его производственной деятельности в условиях более благоприятной экологической обстановки». С учетом сказанного авторы работы [7] экономический эффект предлагают определять по формуле:

$$P = \Pi + \Delta D, \quad (2)$$

где Π – величина годового предотвращенного экономического ущерба от загрязнения среды, руб.; ΔD – годовой прирост дохода от улучшения производственных результатов, руб.

Методика формирования экологического эффекта изложена в ГОСТ Р 53056 – 2008⁷. При расчете экологический фактор выражается единым стоимостным нормативом в расчете на один израсходованный килограмм топлива при выполнении технологической операции. В среднем по Российской Федерации данная норма в 2008 году была равна 0,15 руб./кг. На текущий момент начала 2025 года с учетом вариативности курса рубля они могут быть приняты равными 0,3 руб. на каждый 1 кг использованного топлива.

Общий экологический ущерб авторы работы [8] предлагают определить по формуле:

$$Y = Y_{\text{атм}} + Y_{\text{вод}} + Y_{\text{п}} + Y_{\text{ак}}, \quad (3)$$

где $Y_{\text{атм}}$ – ущерб от загрязнения атмосферы, руб., $Y_{\text{вод}}$ – ущерб от загрязнения гидросферы, руб., $Y_{\text{п}}$ – ущерб от загрязнения почвы, руб., $Y_{\text{ак}}$ – ущерб от загрязнения акустической среды, руб.

Экономическая оценка ущерба от загрязнения атмосферы за один год определяется по соотношению [9]:

$$Y_a = \gamma_a \cdot \sigma_a \cdot f \cdot M_a, \quad (4)$$

где Y_a – оценка ущерба (руб./год); γ_a – нормируемый показатель на условную тонну выбросов – 412,5 руб./т; согласно Постановлению Совета Министров РФ от 9.01.91 № 13 этот показатель включил в себя изменения цен на сегодняшний день; σ_a – показатель относительной опасности загрязнения воздуха над различными территориями; f – поправка, учитывающая характер рассеивания примесей ЗВ в атмосфере, рассчитывается в зависимости от скорости оседания частиц, скорости ветра и высоты источника (трубы), принимается равной 10; M_a – приведённая масса годового выброса загрязнений (т/год).

Методика определения экологического ущерба от загрязнения окружающей среды в промышленных предприятиях, транспорте проработана достаточно хорошо. При этом количественная оценка ущерба от загрязнения окружающей среды определяются в натуральном, денежном и в балльном соотношении⁸.

В работе [10] авторы в качестве показателей, отражающих воздействие хозяйственной деятельности человека на окружающую среду и природные ресурсы, использовали: утилизацию и обезвреживание отходов производства и потребления, образование отходов производства и потребления, сброс загрязненных сточных вод, объем сброса сточных вод и выбросы загрязняющих атмосферу климатически активных веществ (КАВ).

В статье [11] изложена сформированная авторами доказательная базы зависимость уровня плодородия земель от параметров агроэкологического воздействия, необходимых для понимания механизмов построения системы рационального землепользования в сельском хозяйстве. Экспериментально установлено, что «рост внесения минеральных удобрений сопровождается повышением урожайности зерновых культур и одновременно увеличением отрицательного баланса элементов питания в почве и, соответственно, экологического ущерба» [11].

Анализ литературных источников позволил установить, что известные методики позволяют, в общем, рассчитать размер экологического ущерба и затраты на охрану окружающей среды от загрязнения почвы, атмосферы, водных объектов и других факторов.

При этом отсутствует методика более точного определения и прогнозирования размера потенциального вреда от техногенного воздействия МТА и выполняемых ими технологических процессов в растениеводстве.

⁷ ГОСТ Р 53056- 2008 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. Москва. Стандартинформ. 2009. – 20 с.

⁸ Экология. Теоретические обоснования и расчеты: учебное пособие для высшего профессионального Т. А. Дмитриевская, О. А. Пчеленок. – Орел: ФГОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2011 – 108 с.

Потенциальный вред от техногенного воздействия машинно-тракторных агрегатов и технологических процессов представляет возможные затраты, связанные с изменением качественных и количественных показателей, характеризующих состояние окружающей среды, которые в конечном итоге влияют на эффективность производства сельскохозяйственной продукции.

В принципе, потенциальный вред от техногенного воздействия МТА и технологических процессов это возможный вред, а реальный вред, или экологический ущерб это конкретный, который можно представить в национальной валюте и необходимо возместить.

Поэтому наша работа нацелена на заполнение этого пробела знаний и представляет актуальность исследований в области определения размера потенциального вреда от функционирования мобильных технических средств и выполняемых ими технологических процессов. Это в будущем позволит оптимизировать затраты на природоохранные мероприятия в растениеводстве и улучшить состояние агроэкосистемы.

Материалы и методы. При выполнении исследований применялись аналитические методы математического моделирования процессов, обобщения результатов работ отечественных и зарубежных авторов в области определения и оценки экологического ущерба от негативного влияния технологий и технических средств возделывания сельскохозяйственных культур на окружающую среду.

Объектом изучения послужили технологический процесс основной отвальной обработки почвы пахотным агрегатом МТЗ-82.1+ПЛН-3-35, нормативные документы, устанавливающие ограничения на показатели оценки экологической безопасности технологий и технических средств, результаты собственных исследований авторов настоящей статьи, отечественных и зарубежных ученых, полученных по существу рассматриваемого вопроса.

Исследования процесса основной отвальной обработки почвы проводились в условиях агроэкологического полигона опытной станции ИАЭП – филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ в октябре 2023 года при следующих условиях:

- средняя температура атмосферного воздуха, °С – 10-11;
- длина гона поля, м – 100;
- влажность почвы, % – 16;
- средняя скорость ветра, м/с – 1-2;
- атмосферное давление – 760 мм рт. ст.;
- тип почвы: среднесуглинистая дерново-подзолистая;
- твердость почвы (МПа) до обработки в слое 10-20 см – 2,15.

Результаты и обсуждения. В растениеводстве мобильные сельскохозяйственные агрегаты наряду с выполнением технологических процессов оказывают негативное влияние на окружающую среду, которое заключается [12]:

- в возможной утечке топлива и смазочных материалов, отрицательно влияющих на состояние почвенной флоры и фауны;
 - в многократном движении по полю, которое уплотняет почву и тем самым приводит к снижению ее плодородия;
 - в выбросе вредных и токсичных веществ в атмосферу при сгорании топлива, которые вместе с воздухом попадают в органы дыхания и на кожный покров обслуживающего персонала, а часть накапливается в почве и в растениях и т.д.;
 - в повышенном шуме и вибрации, которые отрицательно сказываются на здоровье обслуживающего персонала и уменьшению количества полезных микроорганизмов и т.д.
- Выполняемые мобильными сельскохозяйственными агрегатами технологические процессы также оказывают негативное влияние на окружающую среду, которое заключается:
- в возможном увеличении в почве содержания пестицидов при их внесении для защиты растений от вредителей и болезней;
 - в возможном неравномерном распределении удобрений в почве;
 - в разрушении почвенного слоя рабочими органами машин (включая изменение содержания эрозионно опасных частиц);
 - в нарушении допустимого предела пористости почвы;
 - в накоплении в верхнем слое почвы ядовитых корневых выделений, возбудителей, вредителей, резком снижении урожайности сельскохозяйственных культур, ухудшении качества урожая, в развитии у растений грибковых и инфекционных заболеваний и т.д.

В целом негативное влияние технических средств и технологических процессов на окружающую среду приносит определенный потенциальный вред.

Расчет потенциального вреда от техногенного воздействия технологических процессов и технических средств необходимо производить с учетом наиболее весомых показателей, которые представляют собой систему, объединенную в три подсистемы [13, 14, 15]:

- плодородие почвы;
- вынос биогенных элементов с сельскохозяйственных угодий;
- выбросы климатически активных веществ (или парниковых газов).

Размер потенциального вреда от техногенного воздействия технологических процессов и технических средств (средства на возмещение экологического ущерба) зависит [13-16]:

- от уровня плодородия почвы;
- от потенциальной (прогнозируемой) урожайности культур;
- от количества выноса биогенных элементов с сельскохозяйственных угодий;
- от количества выброса климатически активных веществ (или парниковых газов);
- от установленной (или проектируемой) квоты выброса климатически активных веществ;
- от установленной (или проектируемой) квоты выноса биогенных элементов с сельскохозяйственных угодий;
- от удельного веса конкретного технологического процесса в системе технологических процессов, предусмотренных в технологиях.

Исходя из сказанного, в общем виде потенциальный вред от техногенного воздействия технологических процессов и технических средств можно представить:

$$B_{\Pi} = f(L_{Fs}, A_{NP}^I, \lambda_{Q_{gkg}}, Y_{\Pi}, \mu_{уд}, C_{KB}), \quad (5)$$

где L_{Fs} – уровень плодородия почвы; A_{NP}^I – количество выноса биогенных элементов с 1 га сельскохозяйственных угодий, т/га; $\lambda_{Q_{gkg}}$ – уровень выделяемых климатически активных веществ CO_2 , N_2O и CH_4 ; Y_{Π} – потенциальная (прогнозируемая) урожайность сельскохозяйственных культур, т/га; $\mu_{уд}$ – удельный вес конкретного технологического процесса в системе технологических процессов, предусмотренных в технологиях; C_{KB} – установленная (или проектируемая) ставка платы за превышение квоты выброса климатически активных веществ (парниковых газов) и выноса биогенных элементов с сельскохозяйственных угодий, руб./т.

С учетом (5) потенциальный вред от техногенного воздействия технических средств и технологических процессов в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур предлагается определить по формуле:

$$B_{\Pi} = [(L_{Fs}^{opt} - L_{Fs}^{\phi}) \cdot Y_{\Pi} \cdot C_{пу}] + [(A_{NP}^{\phi} - A_{NP}^{lopt}) \cdot C_{KB}^{бэ}] + [(\lambda_{Q_{gkg}}^{\phi} - \lambda_{Q_{gkg}}^{opt}) \cdot C_{KB}^{пг}], \quad (6)$$

где L_{Fs}^{ϕ} – «фактическое значение коэффициента, показывающий уровень плодородия почвы» [13]; L_{Fs}^{opt} – «оптимальное значение коэффициента, показывающий уровень плодородия почвы» [13]; Y_{Π} – потенциальная (или прогнозируемая) урожайность возделываемой культуры, т/га; $C_{пу}$ – стоимость производимой продукции, руб./т; A_{NP}^{ϕ} – «фактическое количество выноса биогенных элементов с 1 га сельскохозяйственных угодий» [14], т; A_{NP}^{lopt} – «оптимальное (допустимое) количество выноса биогенных элементов с 1 га сельскохозяйственных угодий» [14], т/га; $C_{KB}^{бэ}$ – «размер платы за превышение квоты выноса биогенных элементов с сельскохозяйственных угодий», руб./т; $C_{KB}^{пг}$ – размер платы за превышение квоты выбросов КВ, руб./т; $\lambda_{Q_{gkg}}^{\phi}$ – «фактическое значение коэффициента, учитывающего уровень выброса парниковых газов (или КВ)» [15]; $\lambda_{Q_{gkg}}^{opt}$ – «оптимальное значение коэффициента, учитывающего уровень выброса парниковых газов (или КВ)» [15].

С учетом (1) и (2) размер потенциального вреда от техногенного воздействия технологических процессов и технических средств можно определить из выражения:

$$B_{\Pi} = [(L_{Fs}^{opt} - L_{Fs}^{\phi}) \cdot Y_{\Pi} \cdot C_{пу} \cdot \mu_{уд}^{пп}] + [(A_{NP}^{\phi} - A_{NP}^{lopt}) \cdot C_{KB}^{бэ} \cdot \mu_{уд}^{бэ}] + [(\lambda_{Q_{gkg}}^{\phi} - \lambda_{Q_{gkg}}^{opt}) \cdot C_{KB}^{пг} \cdot \mu_{уд}^{пг}], \quad (7)$$

где $\mu_{уд}^{пп}$ – удельный вес технологического процесса в изменении показателей плодородия почвы в технологии возделывания сельскохозяйственных культур, который определяется методом матричного расчета, который приведен в таблице 1; $\mu_{уд}^{бэ}$ – удельный вес технологического процесса в изменении показателей оценки выноса биогенных элементов с сельскохозяйственных угодий в технологии возделывания сельскохозяйственных культур, который определяется методом матричного расчета, который приведен в табл. 1; $\mu_{уд}^{пг}$ – удельный вес технологического процесса в изменении показателей оценки выброса парниковых газов в технологии возделывания сельскохозяйственных культур, который определяется методом матричного расчета, который приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Матрица для анализа и определения технологических процессов, обеспечивающих снижение негативного воздействия на окружающую среду
Table 1 – Matrix for analyzing and identifying technological processes that reduce the negative impact on the environment
Критерии экологической оценки при воздействии технологических процессов технологий возделывания с.х. культур на ОС /
Criteria for environmental assessment of the impact of agricultural technologies on the environment

Технологические процессы / Technological processes		n/n		Критерии экологической оценки при воздействии технологических процессов / Criteria for environmental assessment of the impact of agricultural technologies on the environment																								Сумма баллов / The amount of points											
				Степень плодородия почвы / The degree of soil fertility ($L_F \rightarrow max$)										Баллы / Points					Диффузная нагрузка / Diffuse load ($A_{LP} \rightarrow min$)					Баллы / Points						Парниковые газы (КАВ) / Greenhouse gases ($A_{Q_{gas}} \rightarrow min$)									
				Показатели оценки																										Показатели оценки									
				Дд	Бд	Ув	Эч	Кп	См	Ки	Со	Сг		Су	Сп	Гл	Кп	Со	Баллы / Points	Вд	Гл	Су	См	Сп	Кп	Эч	Со			Баллы / Points	Вд	Гл	Су	См	Сп	Кп	Эч	Со	
1	Вспашка / Plowing	2	2	2	2	1	1	0	0	1	11	0	0	0	1	0	1	2	2	0	1	0	2	2	1	10	22												
2	Культивация / Cultivation	1	1	1	2	1	1	0	0	1	8	0	0	1	1	0	2	1	1	0	1	0	1	2	1	7	17												
3	Внесение удобрений / Application of fertilizers:																																						
	минеральные / - mineral	2	1	1	0	0	0	1	2	0	7	2	0	1	0	1	4	1	1	2	0	0	1	1	2	8	19												
	органические / organic	2	1	1	0	0	0	0	0	0	4	2	0	1	0	2	5	1	1	2	2	0	1	0	2	9	18												
4	Посев / Sowing	2	1	1	2	0	0	0	0	0	6	2	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	1	0	2	10													
5	Междурядная обработка почвы / Row-by-row tillage	1	1	1	1	1	1	0	0	1	7	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	6	14													
6	Обработка средствами защиты растений / Treatment with plant protection products:																																						
	- химические / chemical	1	0	0	0	0	2	0	1	0	4	2	2	0	1	0	5	1	0	0	2	1	0	1	7	16													
	- биологические / biological	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	1	0	2	5													
7	Десикация / Desiccation	0	0	1	0	1	1	0	0	0	3	0	2	0	1	0	3	1	0	0	1	2	1	0	5	11													
8	Уборка (зерновые / картофель) / Harvesting (grain/ potatoes)	2	2	2	1	0	1	0	1	0	9	2	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	1	0	2	13													
9	Транспортировка / Transportation	2	2	1	1	2	2	0	1	0	11	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	12													
	Итого / Total										71						27								59	157													

Показатели оценки:

- D_o – давление движителей на почву, МПа / pressure of propellers on the soil, MPa
 B_o – буксование движителей энергетического средства, % / slipping of the vehicle's propellers, %
 $Ув$ – уровень вибрации, дБ / vibration level, dB
 $Эч$ – содержание эрозийно-опасных частиц, % / content of erosive-dangerous particles, %
 $Кп$ – коэффициент пористости почвы, % / soil porosity coefficient, %
 $См$ – содержание микроорганизмов в почве, % / microbial content in soil, %
 $Ки$ – кислотность почвы, pH / soil acidity, pH
 $Со$ – содержание глинистых частиц в почве, % / content of clay particles in soil, %
 $С_o$ – содержание органического вещества (гумуса) в почве, % / content of organic matter (humus) in the soil, %
 $С_y$ – содержание питательных веществ (удобрений) в почве, кг/га / nutrient (fertilizer) content in the soil, kg/ha
 $С_n$ – содержание в почве пестицидов, мг/кг / pesticide content in soil, mg/kg
 $Гл$ – глубина обработки почвы, см / soil tillage depth, cm
 $Вд$ – выбросы вредных веществ двигателями МТА, г/га / emissions of harmful substances by MTA engines, g/ha

Удельный вес $\mu_{уд}^{пп}$ технологического процесса в изменении показателей плодородия почвы в технологии возделывания сельскохозяйственных культур определяется по формуле:

$$\mu_{уд}^{пп} = \frac{\sum N_{тп}^{пп}}{\sum N_{общ}^{пп}}, \quad (8)$$

где $\sum N_{тп}^{пп}$ – сумма баллов по конкретному технологическому процессу, соответствующая критерию $L_{Fs} \rightarrow \max$; $\sum N_{общ}^{пп}$ – сумма баллов по всем технологическим процессам в технологии, соответствующая критерию $L_{Fs} \rightarrow \max$.

Удельный вес $\mu_{уд}^{бэ}$ технологического процесса в изменении показателей оценки выноса биогенных элементов с сельхозугодий в технологии возделывания сельскохозяйственных культур можно определить из равенства:

$$\mu_{уд}^{бэ} = \frac{\sum N_{тп}^{бэ}}{\sum N_{общ}^{бэ}}, \quad (9)$$

где $\sum N_{тп}^{бэ}$ – сумма баллов по конкретному технологическому процессу, соответствующая критерию $A_{NP}^l \rightarrow \min$; $\sum N_{общ}^{бэ}$ – сумма баллов по всем технологическим процессам в технологии, соответствующая критерию $A_{NP}^l \rightarrow \min$.

Удельный вес $\mu_{уд}^{пг}$ технологического процесса в изменении показателей оценки выброса парниковых газов в технологии возделывания сельскохозяйственных культур определяется по формуле:

$$\mu_{уд}^{пг} = \frac{\sum N_{тп}^{пг}}{\sum N_{общ}^{пг}}, \quad (10)$$

где $\sum N_{тп}^{пг}$ – сумма баллов по конкретному технологическому процессу, соответствующая критерию $\lambda_{Q_{ghg}} \rightarrow \min$; $\sum N_{общ}^{пг}$ – сумма баллов по всем технологическим процессам в технологии, соответствующая критерию $\lambda_{Q_{ghg}} \rightarrow \min$.

Например, для технологического процесса отвальной обработки почвы (вспашки, таблица 1):

$$\mu_{уд}^{пп} = \frac{\sum N_{тп}^{пп}}{\sum N_{общ}^{пп}} = 11/71 = 0,1549 \text{ (или 15,5 \%)};$$

$$\mu_{уд}^{бэ} = \frac{\sum N_{тп}^{бэ}}{\sum N_{общ}^{бэ}} = 1/27 = 0,0370 \text{ (или 3,70 \%)};$$

$$\mu_{уд}^{пг} = \frac{\sum N_{тп}^{пг}}{\sum N_{общ}^{пг}} = 10/59 = 0,1695 \text{ (или 16,95 \%)}.$$

При отсутствии размера платы (квоты) за превышение выноса биогенных элементов с сельскохозяйственных угодий $C_{кв}^{бэ}$ и выброса КАВ $C_{кв}^{пг}$, размер потенциального вреда от МТА и выполняемой им технологического процесса с учетом (7), можно определить по формуле:

$$B_{п} = \left[(L_{Fs}^{опт} - L_{Fs}^{\phi}) \cdot Y_{п} \cdot C_{пу} \cdot \mu_{уд}^{пп} \right] + \left[(Y_{п} - Y_{\phi}) \cdot C_{пу} \cdot \mu_{уд}^{бэ} \right] + \left[(\lambda_{Q_{gkg}}^{\phi} - \lambda_{Q_{gkg}}^{опт}) \cdot C_{кв}^{пг} \cdot \mu_{уд}^{пг} \right], \quad (11)$$

где $Y_{п}$ – потенциальная (или программируемая) урожайность данного сорта (или гибрида) в конкретной зоне его возделывания, т/га; Y_{ϕ} – фактическая урожайность данного сорта (или гибрида) в конкретной зоне его возделывания в зависимости от уровня $\lambda_{пв}$ обеспечения почвы удобрениями, т/га.

В общем случае вероятностный коэффициент L_{Fs} , показывающий уровень плодородия почвы определяется по формуле [13]:

$$L_{F_s} = \frac{1}{9} \cdot \left(L_{X_{гум}} + L_{pH} + L_W + L_{N_{п}} + L_{P_2O_5} + L_{K_2O} + \right. \\ \left. + L_{X_{пор}} + L_{K_{мо}} + L_{n_{гл}} \right), \quad (12)$$

где $L_{X_{гум}}$ – коэффициент, показывающий уровень содержания органического вещества (гумуса) в почве [13]; L_{pH} – коэффициент, показывающий уровень кислотности почвы [13]; L_W – коэффициент, показывающий уровень влажности почвы [13]; $L_{N_{п}}$ – коэффициент, показывающий уровень содержания подвижных форм азота в почве [13]; $L_{P_2O_5}$ – коэффициент, показывающий уровень содержания в почве подвижных форм фосфора [13]; L_{K_2O} – коэффициент, показывающий уровень содержания в почве обменного калия [13]; $L_{X_{пор}}$ – коэффициент, показывающий уровень пористости почвы [13]; $L_{K_{мо}}$ – коэффициент, показывающий уровень обеспечения почвы микроорганизмами (бактериями и грибами) [13]; $L_{n_{гл}}$ – коэффициент, показывающий уровень содержания глинистых частиц в почве [13].

Количество биогенных элементов с 1 га (тонна), которые могут поступить в водные объекты с сельскохозяйственных угодий можно рассчитать по формуле [14]:

$$A_{NP}^l = 10^{-3} \cdot Q_{п} \cdot \psi_{NP}, \text{ т} \quad (13)$$

где $Q_{п}$ – величина потери воды на сброс [14], м³; ψ_{NP} – содержание (концентрация) азота и фосфора в стоке⁹, кг/м³.

Величину потери воды на сброс $Q_{п}$ можно определить из выражения [14]:

$$Q_{п} = Q_{в} - Q_{уп}, \text{ м}^3 \quad (14)$$

где $Q_{в}$ – количество воды, подданной на 1 га (атмосферные осадки или оросительные воды) [14], м³; $Q_{уп}$ – количество влаги (воды), которое может удержать почва [14], м³.

Величину потери воды на сброс $Q_{п}$ можно определить из выражения [14]:

$$Q_{п} = Q_{в} - Q_{уп}, \text{ м}^3 \quad (15)$$

где $Q_{в}$ – количество воды, подданной на 1 га (атмосферные осадки или оросительные воды) [14], м³; $Q_{уп}$ – количество влаги (воды), которое может удержать почва [14], м³.

Количество влаги (воды) $Q_{уп}$, которое может удержать почва, определяется из выражения [14]:

$$Q_{уп} = 10^{-4} \cdot W^п \cdot F \cdot h, \text{ м}^3 \quad (16)$$

где $W^п$ – полная влагоёмкость почвы, %; F – площадь поля, м²; h – глубина обработки почвы, см.

Значение содержание азота и фосфора можно определить по формуле [14]:

$$\psi_{NP} = \left[\left(N_N - V_N^{пв} - V_N^{паст} - V_N^{исп} - V_N^{адс} \right) + \right. \\ \left. + \left(N_P - V_P^{пв} - V_P^{паст} \right) \right] \cdot f_a \cdot Q_{в}^{-1}, \text{ кг/м}^3 \quad (17)$$

где N_N – количество внесенных на 1 га азотных удобрений, кг; N_P – количество внесенных на 1 га фосфорных удобрений, кг; $V_N^{пв}$ – вынос азота с 1 га в подпочвенные горизонты, кг; $V_N^{паст}$ – вынос азота с 1 га растениями, кг; $V_N^{исп}$ – улетучивание азота в виде аммиака и закиси азота, которое зависит от температуры и влажности почвы, кг. Потери азота из-за улетучивания в среднем составляют 15% от внесенного¹⁰ его количества; $V_N^{адс}$ – потери азота с 1 га в процессе адсорбции, кг; $V_P^{пв}$ – вынос фосфора с 1 га в подпочвенные горизонты, кг; $V_P^{паст}$ – вынос фосфора с 1 га растениями, кг; f_a – коэффициент¹¹, учитывающий влияние агротехнического фона на концентрацию биогенных веществ в стоке.

Полная влагоёмкость соответствует состоянию полной насыщенности почвы водой, когда ею заполнены все поры. Её величина зависит от пористости почвы и рассчитывается по формуле¹²:

$$W^п = P / \rho_{п}, \quad (18)$$

где $W^п$ – полная влагоёмкость (в % от сухой почвы); P – пористость (в % от объема почвы); $\rho_{п}$ – плотность почвы (г/см³).

⁹ Нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: <https://base.garant.ru/71586774/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/#friends> (06 октября 2023 г. В 9 ч 51 мин.).

¹⁰ Агрохимия. Под ред. Б. А. Ягодина. – М.: Колос, 2002 – 584 с.

¹¹ О. Н. Урбанова, Д. А. Семанов, А. Т. Горшкова, А. И. Каримова, Н. В. Бортникова. Вынос биогенных элементов с водосборов малых рек республики Татарстан // Вестник Удмуртского университета. 2015. Т.25, вып. 4. С. 45-52.

¹² Руководящий документ РД 52.33.219–2022. Руководство по определению агрогидрологических свойств почвы.

Коэффициент $\lambda_{Q_{ghg}}$, показывающий уровень выделяемых климатически активных веществ CO_2 , N_2O и CH_4 определяется из выражения [15]:

$$\lambda_{Q_{ghg}} = \frac{1}{7} \cdot \left(\lambda_{X_{ov}} + \lambda_{C_y} + \lambda_{\frac{NPK}{орг.удобр.}} + \lambda_{e_i} + \lambda_{\frac{C}{N}} + \lambda_T + \lambda_W \right), \quad (19)$$

где: $\lambda_{X_{ov}}$ – коэффициент, учитывающий уровень содержание органического вещества (гумуса) в почве (гумуса) в почве; λ_{C_y} – коэффициент, учитывающий уровень содержание углерода в почве; $\lambda_{\frac{NPK}{орг.удобр.}}$ – коэффициент, учитывающий уровень соотношения NPK с органическими удобрениями; λ_{e_i} – коэффициент, учитывающий уровень выбросов вредных веществ в окружающую среду при сгорании топлива двигателями внутреннего сгорания; $\lambda_{\frac{C}{N}}$ – коэффициент, учитывающий уровень соотношения углерода к азоту в почве; λ_T – коэффициент, учитывающий уровень изменения температуры почвы; λ_W – коэффициент, учитывающий уровень изменения влажности почвы.

Фактическую урожайность от снижения плодородия почвы, при выносе биогенных элементов с поля, можно определить (прогнозировать) из выражения» [16]:

$$Y_{\phi} = C_{\Pi} \cdot M_{пв} \cdot k_{лф}^{об} \cdot Y_{\Pi} \cdot \lambda_{пв}^2, \quad (20)$$

где $C_{\Pi} = 10^{-3}$ – поправочный коэффициент для перевода кг в тонны; $M_{пв}$ – норма внесения удобрений, кг/га; $\lambda_{пв}$ – уровень обеспечения почвы удобрениями, кг/га; $k_{лф}^{об}$ – обобщенный коэффициент, объединяющий в себя коэффициенты, учитывающие влияние удобрений, погодных условий (температуры), использования сортов или гибридов, влагообеспеченность, влияние агротехнических мероприятий [16].

Ниже представлен вариант расчета размера потенциального вреда на примере конкретного технологического процесса – отвальной обработки почвы (вспашки).

При отсутствии размера платы (квоты) за превышение выноса биогенных элементов с сельскохозяйственных угодий $C_{кв}^{бэ}$ и выброса КАВ $C_{кв}^{пг}$, размер потенциального вреда от МТА и выполняемой им технологического процесса можно определить по формуле (11).

Выражение (11) можно представить как сумму из трех составляющих:

$$B_{\Pi} = B_{\Pi}^{пп} + B_{\Pi}^{бэ} + B_{\Pi}^{пг}, \quad (21)$$

где $B_{\Pi}^{пп}$ – потенциальный вред от снижения плодородия почвы, $Y_{\Pi}^{пп} = [(L_{F_s}^{опт} - L_{F_s}^{\phi}) \cdot Y_{\Pi} \cdot \Pi_{пу} \cdot \mu_{уд}^{пп}]$, руб./га; $B_{\Pi}^{бэ}$ – потенциальный вред от выноса биогенных элементов с сельскохозяйственных угодий, $Y_{\Pi}^{бэ} = [(Y_{\Pi} - Y_{\phi}) \cdot \Pi_{пу} \cdot \mu_{уд}^{бэ}]$, руб./га; $B_{\Pi}^{пг}$ – потенциальный вред от выброса климатически активных веществ, $B_{\Pi}^{пг} = [(\lambda_{Q_{ghg}}^{\phi} - \lambda_{Q_{ghg}}^{опт}) \cdot C_{кв}^{пг} \cdot \mu_{уд}^{пг}]$, руб./га.

1) Размер потенциального вреда от снижения плодородия почвы:

$$B_{\Pi}^{пп} = [(L_{F_s}^{опт} - L_{F_s}^{\phi}) \cdot Y_{\Pi} \cdot \Pi_{пу} \cdot \mu_{уд}^{пп}] = \\ = [(1 - 0,86) \cdot 7 \cdot 12000 \cdot 0,1549] = 1821,6 \text{ руб./га} \quad (22)$$

$L_{F_s}^{опт} = 1$ – оптимальное значение коэффициента, показывающее уровень плодородия почвы; $L_{F_s} = 0,86$ – фактическое значение коэффициента, показывающее уровень плодородия почвы (таблица 2).

Таблица 2 – Показатели и вероятностные коэффициенты оценки плодородия почвы

Table 2 – Indicators and probability coefficients for assessing soil fertility

Значение / Meaning	$X_{гум},$ %	pH	$W,$ %	$N_{\Pi},$ мг/кг	$P_2O_5,$ мг/кг	$K_2O,$ мг/кг	$X_{пор},$ %	$K_{MO},$ КОЕ в 1 г почвы	$n_{гд},$ %
Коэффициент / Coefficient L_i	0,9	0,93	0,88	0,73	0,80	0,82	0,91	0,80	0,93

Значения коэффициентов $L_{X_{гум}}, L_{pH}, L_W, L_{N_{\Pi}}, L_{P_2O_5}, L_{K_2O}, L_{X_{пор}}, L_{K_{MO}}$ и $L_{n_{гд}}$ определяются экспериментальным путем на основе измерения фактических значений показателей $X_{гум}, pH, W, N_{\Pi}, P_2O_5, K_2O, X_{пор}, K_{MO}$ и $n_{гд}$.

С учетом данных таблицы 2 и выражения (12) получим:

$$L_{F_s} = \frac{1}{9} \cdot \left(L_{X_{гум}} + L_{pH} + L_W + L_{N_{п}} + L_{P_{2O_5}} + L_{K_{2O}} + \right. \\ \left. + L_{X_{пор}} + L_{K_{мо}} + L_{n_{гл}} \right) = \\ = \frac{1}{9} (0,90 + 0,93 + 0,88 + 0,73 + 0,80 + 0,82 + 0,91 + 0,80 + 0,93) = 0,86. \quad (23)$$

где $Y_{п}$ – потенциальная (или программируемая) урожайность данного сорта (или гибрида) в конкретной зоне его возделывания, т/га; $Y_{п} = 7$ т/га – для зерновых культур; $C_{пу} = 12000$ руб./т – стоимость 1 т зерна.

Удельный вес вспашки в комплексе технологических процессов, входящих в технологию, равен:

$$\mu_{уд}^{пп} = \frac{\sum N_{тп}^{пп}}{\sum N_{общ}^{пп}} = 11/71 = 0,1549 \text{ (или 15,5 \%)}; \quad (24)$$

где $\sum N_{тп}^{пп} = 11$ – количество баллов по вспашке (таблица 1); $\sum N_{общ}^{пп} = 71$ – количество баллов по всем процессам (таблица 1).

1) Размер потенциального вреда $B_{п}^{\delta\delta}$ от выноса биогенных элементов с сельскохозяйственных угодий (биогенная нагрузка):

Из матрицы (табл. 1) видно, что количество баллов по вспашке составляет всего 1 балл. При этом удельный вес вспашки равен $\mu_{уд}^{\delta\delta} = \frac{\sum N_{тп}^{\delta\delta}}{\sum N_{общ}^{\delta\delta}} = 1/27 = 0,0370$ (или 3,70 %).

Необходимо отметить, что при качественной отвальной обработке, из-за увеличения пористости почвы и ее влагоемкости в гумидной зоне земледелия практически не происходит сток излишней влаги, и тем самым отсутствует биогенная нагрузка.

С учетом сказанного, в нашем примере можно допустить, что размер потенциального вреда от выноса биогенных элементов с сельскохозяйственных угодий (биогенная нагрузка) равен нулю, то есть:

$$B_{п}^{\delta\delta} = 0. \quad (25)$$

2) Размер потенциального вреда от выброса КАВ (или парниковых газов):

$$3) \quad B_{п}^{пг} = \left[\left(\lambda_{Q_{gkg}}^{\phi} - \lambda_{Q_{gkg}}^{пт} \right) \cdot C_{кв}^{пг} \cdot \mu_{уд}^{пг} \right] = [(2,21 - 1) \cdot 1000 \cdot 0,1695] = 205,09 \text{ руб./га} \quad (26)$$

$\lambda_{Q_{gkg}}^{пт} = 1$ – оптимальное значение уровня выброса КАВ; $\lambda_{Q_{gkg}}^{\phi} = 2,21$ – фактическое значение коэффициента $\lambda_{Q_{ghg}}$, учитывающего уровень выброса парниковых газов (или КАВ), таблица 3:

Таблица 3 – Показатели и вероятностные коэффициенты оценки выделения парниковых газов
Table 3 – Indicators and probability coefficients for assessing greenhouse gas emissions

Значение / Meaning	$X_{ОВ},$ %	$C_{уг},$ %	$N:P: \frac{K}{орг} \cdot \text{удобр.}$	$B_i,$ г	$C:N$	$T, ^\circ C$	$W, \%$
Коэффициент / Coefficient λ	3	4	2	1,1	2,5	1,205	1,666

Из данных таблицы 3 можно вычислить значение коэффициента $\lambda_{Q_{ghg}}$, учитывающего уровень выброса парниковых газов (или КАВ):

$$\lambda_{Q_{ghg}} = \frac{1}{7} \cdot \left(\lambda_{X_{ов}} + \lambda_{C_y} + \lambda_{\frac{NPK}{орг.удобр.}} + \lambda_{e_i} + \lambda_{\frac{C}{N}} + \lambda_T + \lambda_W \right) = \frac{1}{7} (3 + 4 + 2 + 1,1 + 2,5 + 1,205 + 1,666) = 2,210. \quad (27)$$

Значение ставка платы $C_{кв}^{пг}$ за превышение квоты выброса климатически активных веществ (парниковых газов) в данном расчете условно примем $C_{кв}^{пг} = 1000$ рублей основываясь на Постановление Правительства РФ от 18 августа 2022 года № 1441 «О ставке платы за превышение квоты парниковых газов в рамках проведения эксперимента по ограничению выбросов парниковых газов на территории Сахалинской области».

Удельный вес вспашки в комплексе технологических процессов, входящих в технологию равен:

$$\mu_{уд}^{пр} = \sum N_{тп}^{пр} / \sum N_{общ}^{пр} = 10 / 59 = 0,1695 \text{ (или } 16,95 \% \text{)}. \quad (28)$$

где $\sum N_{тп}^{пр} = 10$ баллов (см. матрицу расчета, таблица 1); $\sum N_{общ}^{пр} = 59$ баллов (см. матрицу расчета, таблица 1).

В итоге общий потенциальный вред от технологического процесса вспашки и работы пахотного агрегата МТЗ-82.1+ПЛН-3-35 с учетом (6), (7) и (8) составляет:

$$B_{п} = B_{п}^{мтп} + B_{п}^{бг} + B_{п}^{пр} = 1821,6 + 0 + 205,09 = 2026,69 \text{ руб./га} \quad (29)$$

Следует отметить, что общая сумма затрат на возмещение потенциального вреда установлена при отсутствии квоты на выбросы КАВ и биогенной нагрузки.

Результаты определения или прогнозирования размера потенциального вреда можно использовать при обосновании целесообразности применения тех или иных технологических процессов, оптимизации их количества, выборе стратегии развития технологий производства сельскохозяйственной продукции, а также при обосновании квот на выбросы климатически активных веществ и различных нормативов платежей.

Заключение. Разработана математическая модель, описывающая процесс формирования потенциального вреда техногенного воздействия технических средств. Предложенная модель и методика расчета позволяют определить и прогнозировать потенциальный вред от техногенного воздействия технических средств и технологических процессов в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур.

Обоснованы весовые показатели оценки потенциального вреда от техногенного воздействия технологических процессов и технических средств в растениеводстве, соответствующие ряду требований: повышение плодородия почвы, снижение диффузной нагрузки и выбросам климатически активных веществ при производстве продукции растениеводства.

Приведен пример расчета потенциального вреда технологического процесса вспашки и работы пахотного агрегата МТЗ-82.1+ПЛН-3-35 в условиях агроэкологического полигона ИАЭП – филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Установлено, что общая сумма потенциального вреда от выбросов климатически активных веществ (парниковых газов) и биогенной нагрузки от вспашки пахотным агрегатом составит 2026,7 рублей на 1 га.

Результаты расчета потенциального вреда можно использовать для обоснования и целесообразности применения тех или иных технологических процессов, оптимизировать их количество, выбрать стратегию развития технологий производства сельскохозяйственной продукции, а также обосновать квоту на выбросы климатически активных веществ.

Предложенная методика расчета позволяет прогнозировать размер потенциального вреда от техногенного воздействия машинно-тракторных агрегатов и технологических процессов и разработать технико-технологические решения по его снижению.

Conclusion. A mathematical model has been developed that describes the process of generating potential damage from the man-made impact of technical equipment. The proposed model and calculation methodology enable us to determine and predict the potential damage from the man-made impact of technical equipment and technological processes in agricultural crop cultivation.

Significant indicators for assessing the potential damage from the man-made impact of technological processes and technical equipment in crop production have been substantiated, meeting a number of requirements: increasing soil fertility, reducing diffuse loads, and reducing emissions of climate-active substances during crop production.

An example of calculating the potential damage from the plowing process and the operation of the MTZ-82.1+PLN-3-35 plowing unit under the conditions of the agro-ecological testing ground of the Institute of Agricultural Ecology and Ethnography (IAEP), a branch of the Federal Scientific Center for VIM, is provided. It has been established that the total potential damage from emissions of climate-active substances (greenhouse gases) and the nutrient load from plowing with a tillage machine will amount to 2,026.7 rubles per hectare.

The results of the potential damage calculation can be used to justify and evaluate the feasibility of using certain technological processes, optimize their quantity, select a strategy for developing agricultural production technologies, and justify quotas for emissions of climate-active substances.

The proposed calculation method allows us to predict the potential damage from the man-made impact of machinery and tractor units and technological processes and develop technical and technological solutions to mitigate it.

Библиографический список

1. Шеховцова Д. Н. Затраты на охрану окружающей среды с точки зрения статистики (на примере загрязнения воздуха). Актуальные проблемы и перспективы развития инновационной экономики и управления: сборник научных статей. Калининград: Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, 2019. С. 372-376.
2. Лебедева М. А. Оценка эффективности затрат на охрану водных ресурсов в Вологодской области. Colloquium-Journal. 2018. № 9-6 (20). С. 53-56.
3. Ерыгина А. В. Экономические средства обеспечения рационального природопользования и охраны окружающей среды. Перспективы науки. 2018. № 9 (108). С. 217-220.
4. Мерзликина Г. С. Экономическая эффективность "экологического здоровья" региона. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2019. Т. 81. № 2 (80). С. 312-319.
5. Петрова Е. Е. Система экологических показателей в инвестиционном анализе. Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2011. № 17. С. 131-144.
6. Жолудева В. В. Статистический анализ затрат на охрану окружающей среды и оценка их эффективности в регионе (на примере Ярославской области). Вестник АПК Верхневолжья. 2021. № 2 (54). С. 38-43.
7. Давыденко Л. Н., Василькович А. В. Экономическая эффективность природоохранной деятельности как фактор экономической устойчивости. Вестник Полоцкого государственного университета. Серия D. Экономические и юридические науки. 2012. № 13. С. 15-19.
8. Децук В. С. Оценка ущерба от загрязнения окружающей природной среды. Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь. Гомель: БелГУТ, 2015. 50 с.
9. Дмитриевская Т. А., Пчеленок О. А. Экология. Теоретические обоснования и расчеты: учебное пособие для высшего профессионального образования. Орел: ФГОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2011. 108 с.
10. Чепик О. В., Курочкина Е. Н. Эколого-экономическая составляющая качественной и комфортной жизни населения региона. Глобальный научный потенциал. 2020. № 7 (112). С. 123-126.
11. Дубовицкий А. А., Клементьева Э. А. Анализ факторов, определяющих величину экологического воздействия сельскохозяйственного производства на земельные ресурсы. Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24. № 3. С. 381-391.
12. Джаббаров Н. И., Захаров А. М., Жуйков И. И. Методика оценки и прогнозирования негативного влияния машинно-тракторных агрегатов на окружающую среду. АгроЭкоИнженерия. 2023. № 2 (115). С. 82-97.
13. Джаббаров Н. И. и др. Моделирование и оценка уровня плодородия почвы. Инженерные технологии и системы. 2024. Т. 34. № 3. С. 407-423.
14. Джаббаров Н. И. и др. Моделирование и прогнозирование выноса биогенных элементов с сельскохозяйственных угодий в зависимости от агрофизических свойств почвы. Инженерные технологии и системы. 2024. Т. 34. № 1. С. 101-114.
15. Джаббаров Н. И. и др. Методика оценки уровня выбросов парниковых газов при возделывании сельскохозяйственных культур. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2024. Т. 18. № 3. С. 75-81.
16. Джаббаров Н. И., Добринов А. В. Агроэкологические аспекты моделирования и прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур. АгроЭкоИнженерия. 2024. № 3 (120).

References

1. Shekhovtsova D. N. Environmental Protection Costs from a Statistical Perspective (using Air Pollution as an Example). Current Issues and Prospects for the Development of Innovative Economics and Management: A Collection of Scientific Articles. Kaliningrad: Immanuel Kant Baltic Federal University, 2019. Pp. 372-376.
2. Lebedeva M. A. Assessing the Effectiveness of Water Resources Protection Costs in the Vologda region. Colloquium Journal. 2018. No 9-6 (20). Pp. 53-56.
3. Erygina A. V. Economic means of ensuring rational nature management and environmental protection. Prospects of Science. 2018. No 9 (108). Pp. 217-220.
4. Merzlikina G. S. Economic efficiency of the "ecological health" of a region. Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2019. Vol. 81. No 2 (80). Pp. 312-319.
5. Petrova E. E. System of environmental indicators in investment analysis. Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University. 2011. No 17. Pp. 131-144.
6. Zholudeva V. V. Statistical analysis of environmental protection costs and assessment of their effectiveness in the region (using the Yaroslavl region as an example). Bulletin of the Upper Volga AIC. 2021. No 2 (54). Pp. 38-43.
7. Davydenko L. N., Vaskovich O. V. Economic efficiency of environmental activities as a factor of economic sustainability. Bulletin of Polotsk State University. Series D. Economic and legal sciences. 2012. No 13. Pp. 15-19.
8. Detsuk V. S. Assessment of damage from environmental pollution: textbook and forecasting the manual. Ministry of Transport and Communications of the Republic of Belarus. Gomel: BelSUT, 2015. 50 p.
9. Dmitrovskaya T. A., Pchelenok O. A. Ecology. Theoretical justifications and calculations: textbook for higher professional education. Orel: State University – UNPK, 2011. 108 p.
10. Chepik O. V., Kurochkina E. N. Ecological and economic component of high-quality and comfortable life of the region's population. Global scientific potential. 2020. No 7 (112). Pp. 123-126.
11. Dubovitsky A. A., Klimentova E. A. Analysis of factors determining the magnitude of the environmental impact of agricultural production on land resources. Agrarian Bulletin of the Urals. 2024. Vol. 24. No 3. Pp. 381-391.
12. Dzhabbarov N. I., Zakharov A. M., Zhuykov I. I. Methodology for assessing and forecasting the negative impact of machine and tractor units on the environment. AgroEcoEngineering. 2023. No 2 (115). Pp. 82-97.
13. Dzhabbarov N. I. et al. Modeling and assessment of soil fertility. Engineering technologies and systems. 2024. V. 34. No 3. Pp. 407-423.
14. Dzhabbarov N. I. et al. Modeling and forecasting the removal of biogenic elements from agricultural lands depending on the agrophysical properties of the soil. Engineering technologies and systems. 2024. Vol. 34. No 1. Pp. 101-114.
15. Dzhabbarov N. I. et al. Methodology for assessing the level of greenhouse gas emissions during the cultivation of agricultural crops. Agricultural machinery and technologies. 2024. V. 18. No 3. Pp. 75-81.
16. Dzhabbarov N. I., Dobrinov A. V. Agroecological aspects of modeling and forecasting the yield of agricultural crops. AgroEcoEngineering. 2024. No 3 (120).

Информация об авторах

Джаббаров Нозим Исмоилович, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Российская Федерация, 196634, г. Санкт-Петербург, Филътровское ш., 3), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8910-2625>, e-mail: nozimjon-59@mail.ru

Добринов Александр Владимирович, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Российская Федерация, 196634, г. Санкт-Петербург, Филътровское ш., 3), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3242-1235>, e-mail: a.v.dobrinov@yandex.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

Фомин Сергей Денисович, доктор технических наук, доцент, 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

Курепина Наталья Леонидовна, доктор экономических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова (Российская Федерация, 358000, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9337-3903>, e-mail: kurepinanl@mail.ru

Оконов Мутул Максимович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова (Российская Федерация, 358000, г. Элиста, ул. Пушкина, 11), e-mail: okonov.51@mail.ru

Authors' Information

Jabbarov Nozim Ismoilovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Leading Researcher, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – the branch of the Federal Scientific Agro-engineering Center VIM (Russian Federation, 196634, Saint Petersburg, Fil'trovskoye Shosse, 3), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8910-2625>, e-mail: nozimjon-59@mail.ru

Dobrinov Aleksandr Vladimirovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Russian Federation, 196634, Saint Petersburg, Fil'trovskoye Shosse, 3), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3242-1235>, e-mail: a.v.dobrinov@yandex.ru

Eviev Valery Andreevich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov (Russian Federation, 358000, Republic of Kalmykia, Elista, Pushkina St., 11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0329-2013>, e-mail: aviev@yandex.ru

Fomin Sergey Denisovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Center for Science-metric Analysis and International Indexing Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskii Ave., 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

Kurepina Natalia Leonidovna, Doctor of Economics, Professor 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/0000-0001-9337-3903>, e-mail: kurepinanl@mail.ru

Okonov Mutul Maksimovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, 358000, Republic of Kalmykia, Elista, Pushkina St., 11), e-mail: okonov.51@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-51

THE PRODUCTIVITY OF WINTER WHEAT UNDER THE VARIOUS CULTIVATION TECHNOLOGIES**Kambulov S. I., Podlesny D. S.***Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russian Federation*Corresponding author E-mail: sergey_belousov_87@mail.ru

Received 17.04.2025

Submitted 31.08.2025

Abstract

Introduction. The paper presents issues related to the operation of a new asymmetric working body for a steam cultivator. In science, it is known that the indicators of soil protection include: the content of erosive dangerous particles in the upper layer of the soil and the removal of wet layers to the surface of the field. The use of an asymmetric working organ causes the destruction of lumps, and the particles that appear after its passage ensure the accumulation of moisture in the surface layer. **Materials and methods.** During the tests, special attention was paid to meteorological conditions, such as precipitation and average annual air temperature. These parameters are essential, as they affect the moisture content in the soil, which, in turn, determines the potential yield. Understanding the interaction between tillage methods and meteorological factors will help determine the optimal conditions for successful cultivation of winter wheat on chernozems, which can increase both yield and product quality. Such an integrated approach to research will make it possible to identify the most effective technologies that contribute to the sustainable development of agriculture in a volatile climate. **Discussions and conclusion.** In conditions of climate variability and observed deviations of meteorological parameters that affect agronomic practice, it is especially important to highlight the peculiarities of winter wheat cultivation during dry periods. In the period from 2017 to 2022, when there was a lack of precipitation and elevated temperatures, the practical results of various tillage technologies became the subject of detailed analysis. According to the data obtained, the zero technology, that

is, the minimally invasive method, demonstrated the highest yield of winter wheat in the amount of 6.03 t/ha. This confirms that such an approach can be more resilient to negative climatic factors related to drought and temperature fluctuations. While traditional tillage methods, such as surface and dump tillage, have shown yields reduced from zero at the level of 0.33 % to 1.86 %, and the use of shallow tillage leads to a more significant loss of yield up to 8.08 %. This may be due to the fact that zero-tillage supports natural processes such as soil moisture retention and microbial diversity, which is especially important under stress conditions. Given the duration of many years of research, it becomes obvious that the zero technology is more sustainable, as it provided the highest yields for five years, while traditional technologies – only for four years. These results indicate that zero technology can be an adaptive strategy for modern conditions of sustainable agriculture, especially with changing climatic conditions. From the point of view of correlation analysis, it was found that the average annual air temperature had a negative effect on the yield of winter wheat with all processing methods, which is confirmed by correlation coefficients in the range from -0.80 to -0.60. This indicates a significant effect of temperature stress on plants, which can lead to a decrease in their productivity. Most notably, precipitation was positively correlated with yield, with correlation coefficients ranging from 0.43 to 0.57. This confirms the obvious relationship between the amount of moisture and the success of agricultural production, which underscores the importance of managing water resources in a volatile climate.

Keywords: winter wheat productivity, winter wheat cultivation technologies, climatic conditions of winter wheat cultivation.

Citation. Kambulov S. I., Podlesny D. S. The productivity of winter wheat under the various cultivation technologies. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 464-472 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-51.

Authors' contribution. All the authors of this article took part in the analysis, planning, research and mathematical calculations to justify the theoretical dependencies that reduce the vibrations of the rod using the new technology. The authors reviewed and approved the received version of the article.

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

УДК 633.11:631.51.01

ПРОДУКТИВНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ЕЕ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ

**Камбулов С. И., доктор технических наук, профессор
Подлесный Д. С., старший преподаватель**

ФГБОУ ВО Донской государственный технический университет
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Актуальность. Возделывание зерновых культур в Российской Федерации является одним из ключевых вопросов в обеспечении продовольственной безопасности населения. Одной из ключевых культур является озимая пшеница. Эффективность возделывания данной культуры напрямую зависит от климатических условий. На неорошаемых почвах совокупность ограничивающих факторов, действующих в период вегетации растений, негативно влияет как на урожайность культур, так и на качество получаемого урожая. В классическом варианте подготовка почвы предусматривает обработку на различную глубину. При использовании нулевой технологии высев семян осуществляется в неподготовленную почву. **Цель.** Исследовать технологию возделывания озимой пшеницы, основанную на многолетнем опыте, и проанализировать, как различные методы обработки почвы (в условиях существующей метеорологической ситуации) влияют на её урожайность.

Материалы и методы. При проведении испытаний особое внимание уделялось метеорологическим условиям, таким как сумма осадков и среднегодовая температура воздуха. Эти параметры имеют существенное значение, так как они влияют на содержание влаги в почве, что, в свою очередь, определяет потенциальную урожайность. Понимание взаимодействия между методами обработки почвы и метеорологическими факторами поможет определить оптимальные условия для успешного возделывания озимой пшеницы на черноземах, что может повысить как урожайность, так и качество продукции. Такой комплексный подход к исследованию позволит выявить наиболее эффективные технологии, способствующие устойчивому развитию сельского хозяйства в условиях изменчивого климата.

Обсуждение и выводы. В условиях изменчивости климата и наблюдаемых отклонений метеорологических параметров, которые влияют на агрономическую практику, особенно значимо выделить особенности возделывания озимой пшеницы в засушливые периоды. В период с 2017 по 2022 годы, когда наблюдался недостаток осадков и повышенные температуры, практические результаты различных технологий обработки почвы стали предметом детального анализа.

Согласно полученным данным, нулевая технология, то есть минимально инвазивный метод, продемонстрировала наивысшую урожайность озимой пшеницы в размере 6,03 т/га. Это подтверждает, что такой подход может быть более устойчивым к негативным климатическим факторам, связанным с засухой и температурными колебаниями. В то время, как традиционные методы обработки,

такие как поверхностная и отвальная обработка, показали урожайность, сниженную по сравнению с нулевой на уровне от 0,33 % до 1,86 %, а применение мелкой обработки почвы ведёт к более значительной потере урожайности до 8,08 %.

Это может быть связано с тем, что нулевая обработка поддерживает естественные процессы, такие как сохранение влаги в почве и поддержание разнообразия микроорганизмов, что особенно важно в условиях стресса. Учитывая длительность многолетних исследований, становится очевидным, что нулевая технология более устойчива, так как она обеспечивала наибольшую урожайность в течение пяти лет, в то время как традиционные технологии – только в течение четырёх лет. Эти результаты указывают на то, что нулевая технология может быть адаптивной стратегией для современных условий соблюдения устойчивого сельского хозяйства, особенно при изменении климатических условий.

С точки зрения корреляционного анализа, установлено, что среднегодовая температура воздуха имела отрицательное влияние на урожайность озимой пшеницы при всех методах обработки, что подтверждается коэффициентами корреляции в диапазоне от -0,80 до -0,60. Это свидетельствует о значительном влиянии температурного стресса на растения, что может приводить к снижению их продуктивности. Наиболее примечательным является и то, что сумма осадков положительно коррелировала с урожайностью, где коэффициенты корреляции варьировались от 0,43 до 0,57. Это подтверждает очевидную зависимость между количеством влаги и успешностью сельскохозяйственного производства, что подчеркивает важность управления водными ресурсами в условиях изменчивого климата.

Ключевые слова: урожайность озимой пшеницы, технологии возделывания озимой пшеницы, климатические условия возделывания озимой пшеницы.

Цитирование. Камбулов С. И., Подлесный Д. С. Продуктивность озимой пшеницы при различных технологиях ее возделывания. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 464-472. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-51.

Авторский вклад. Все авторы данной статьи принимали участие в анализе, планировании, исследовании и математических расчетах, для обоснования теоретических зависимостей снижающих колебания штанги с использованием новой технологии. Авторы ознакомились и одобрили полученный вариант статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Ранее проведенные исследования по выявлению взаимосвязи между продуктивностью сельскохозяйственных культур и гидротермическими параметрами почвы с учётом климатических условий окружающей среды показывают, что засухи, особенно продолжительные, угнетают физиологические системы растений пшеницы, влияют на скорости прохождения фаз вегетации независимо от генетического потенциала сорта [1].

В условиях недостатка влаги урожайность озимой пшеницы особенно восприимчива к малейшим изменениям климатических условий, высокие температуры вкупе с низкой влажностью, существенно снижают продуктивность её посевов [2, 3]. В зависимости от того на какую фазу вегетации выпадают засушливые условия, страдают формирование продуктивного стеблестоя, формирование зерен в колосе или налив зерна [4, 5].

Факторов внешней среды большое разнообразие, а их сочетание в процессе вегетации растений даёт неблагоприятные прогнозы. Наиболее ярко выраженными лимитирующими факторами окружающей среды, ограничивающими рост и развитие растений, являются осадки, температура воздуха, влажность воздуха. Особенно остро данные факторы оказывают своё влияние на неорошаемых почвах в засушливом или полусушливом климате [6, 7].

Для достижения экономической эффективности при разработке оптимальной технологии возделывания культур каждое конкретное хозяйство опирается на имеющиеся материально-технические ресурсы и опыт производства растениеводческой продукции с учётом агроэкологических требований культуры и сорта к условиям произрастания [8, 9, 10].

В связи с чем, в последнее три десятилетия в России стал приобретать популярность новый подход к возделыванию сельскохозяйственных культур с уклоном на ресурсосбережение в сочетании с экономической эффективностью технологии возделывания.

Такой подход при возделывании сельскохозяйственных культур подразумевает «нулевую» обработку почвы. Данный вид обработки представляет такой агротехнический приём, при котором полный цикл технологии возделывания сельскохозяйственных культур проходит без предварительной основной обработки почвы (т.е. полностью исключается любое рыхление почвы) с целью влагосбережения посредством сохранения сформированной естественным образом структуры почвы. Прямой посев семян проводят в необработанную почву посредством специальных посевных агрегатов, снабжённых дисковыми сошниками с колтерами. Если в технологии возделывания нулевую обработку почвы применяют в течение длительного времени (4 и более лет) [11], то такую технологию возделывания сельскохозяйственных культур

квалифицируют как нулевую (технология No till). Преимущество данной технологии заключается в снижении эрозионных процессов почвы и влагосбережения за счёт сохранения растительных остатков (стерни) на поверхности поля от предыдущей культуры, а также в снижении затрат и сокращении рабочего времени за счёт прямого посева [12, 13].

Кроме того, бытует мнение, что долгосрочное применение нулевой технологии приводит к восстановлению плодородия почвы за счёт снижения деградации почв вследствие ветровой и водной эрозии, поскольку агрономически ценные почвенные агрегаты остаются сохранными под покровом растительных остатков [8]. При этом повышается биологическая активность почвы в результате стабильности её структуры [13]. В такой почве наблюдается эффективная инфильтрация воды в нижние слои, что способствует накоплению почвенной влаги, а её сохранению способствует покров из слоя пожнивных остатков. В данной технологии борьба с сорняками механическим способом заменена на борьбу химическими средствами – гербицидами [14]. А способ механического рыхления заменён на грамотный севооборот культур, в котором чередуются культуры со стержневой и мочковатой корневой системами, способствующие биологическому саморыхлению почвенных слоёв [15].

Обобщая вышесказанное, следует отметить, что производство озимой пшеницы в засушливых условиях с недостаточным и неустойчивым увлажнением является трудоёмким процессом, сопряженным с рисками, зависящими от погодно-климатических условий каждого года.

Известно, что результирующим показателем любой технологии возделывания сельскохозяйственных культур являются урожайность. Когда урожайность культур держится на стабильно высоком уровне с высокими качественно-технологическими показателями продукции, то говорят об эффективном применении технологии возделывания, которую смогли приспособить под агроклиматический потенциал конкретного агроландшафта.

Определить закономерности повышения урожайности и качества сельскохозяйственной продукции нельзя иначе, чем при проведении длительных экспериментальных исследований в реальных почвенно-климатических условиях. Только в результате полевого эксперимента можно установить связь между изучаемыми свойствами культур и средствами воздействия на них, так как существует ряд вопросов, которые вообще не могут быть изучены за границами полевого опыта. К этим вопросам можно отнести, например, систему обработки почвы и ухода за растениями, севооборот, применение удобрений и др.

Основные акценты в технологии возделывания озимой пшеницы были сделаны на изучении основных способов обработки почвы, различающихся по глубине и виду обработки и типу применяемого агрегата.

Цель исследования – определить продуктивность озимой пшеницы при различных вариантах технологий возделывания.

Материалы и методы. Исследования проводились в условиях учебно-демонстрационного полигона ФГБОУ ВО «ДГТУ» при зернопропашном севообороте горох, озимая пшеница, кукуруза, озимая пшеница, подсолнечник, яровой ячмень.

Обработка почвы проводилась по четырем вариантам: отвальная на глубину 18-20 см с использованием навесного плуга ПН-5-35; комбинированная на глубину 13-14 см с использованием комбинированного агрегата КУМ-4; минимальная на глубину 6-8 см дисковой бороной Catros 6001; без обработки почвы.

Изучались следующие виды технологий:

- экстенсивная, ориентирована на использование естественного плодородия почвы;
- нормальная, с обеспечением минерального питания при посеве ($N_{25}P_{25}$) и одной подкормкой (N_{34});
- интенсивная, с обеспечением минерального питания при посеве ($N_{50}P_{50}$), двумя азотными подкормками (N_{34}) и одной карбамидом (N_{34});
- биологизированная, с обеспечением минерального питания при посеве ($N_{25}P_{25}$), обработкой листовой поверхности растений биоорганическим удобрением Nagro.

Результаты и обсуждение. По предшественнику горох высевался сорт мягкой озимой пшеницы Раздолье. Данный сорт показал сходные результаты по предшественнику горох, максимальная урожайность (как и у сорта Премьера по предшественнику кукуруза на зерно) была получена в варианте с нулевой обработкой почвы – 6,67-8,29 т/га, однако можно отметить, что снижение урожайности по глубоким обработкам было меньше – разница между отвальной вспашкой и нулевой обработкой составила 0,47-0,98 т/га в зависимости от технологии возделывания или 6,5-13,4 % (рисунок 1).

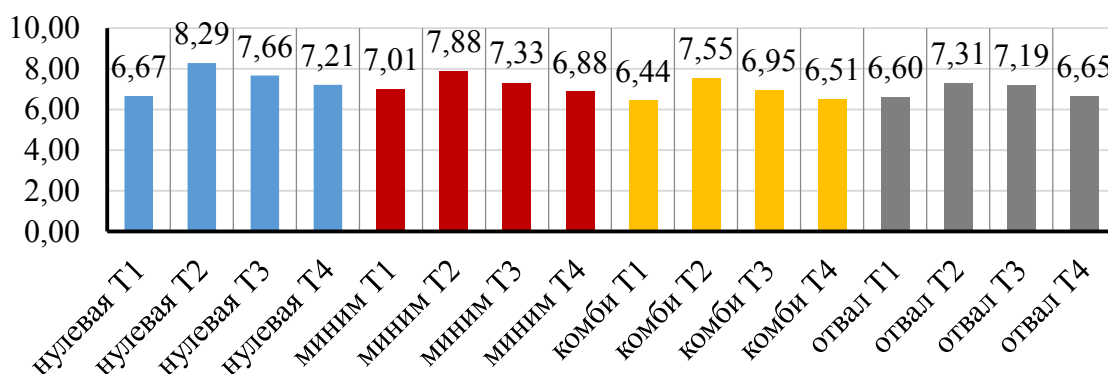


Рисунок 1 – Урожайность мягкой озимой пшеницы сорта Раздолье в зависимости от способа основной обработки почвы и варианта технологии возделывания по предшественнику горох
Figure 1 – Yield of soft winter wheat of the Razdolye variety, depending on the method of basic tillage and the variant of cultivation technology for the predecessor peas

Нормальная технология возделывания (T2) показала наилучший результат по урожайности сорта мягкой озимой пшеницы Раздолье. В зависимости от варианта основной обработки почвы урожайность достигала 7,31-8,29 т/га, снижаясь в вариантах интенсивной (T3) и биологизированной (T4) технологии возделывания на 1,6-11,4 %, и на 8,2-14,9 % соответственно.

Структурный анализ сорта Раздолье, показал, что в варианте обработки почвы с самой высокой урожайностью (нулевая обработка почвы) наблюдалось самое высокое количество продуктивных стеблей на единицу площади – 425 шт./м² (таблица 1).

Таблица 1 – Структурный анализ показателей урожайности мягкой озимой пшеницы сорта Раздолье в зависимости от способа основной обработки почвы и варианта технологии возделывания по предшественнику горох
Table 1 – Structural analysis of yield indicators of soft winter wheat of the Razdolye variety, depending on the method of basic tillage and the variant of cultivation technology for the predecessor peas

Вариант опыта / An experimental version	Число продуктивных колосьев, шт./м ² / Num- ber of produc- tive ears, pcs/m ²	Число зёрен в колосе, шт. / Number of grains per ear, pcs.	Масса зёрен в колосе, г / The mass of grains in an ear, g	Масса 1000 зёрен, г / Weight of 1000 grains, g	Высота расте- ний, см / Height of plants, cm	Длина колоса, см / Ear length, cm
1	2	3	4	5	6	7
Нулевая обработка почвы / No tillage						
Экстенсивная (T1) / Extensive (T1)	414	38,6	1,69	40,4	84,2	8,2
Нормальная (T2) / Normal (T2)	456	47,7	1,90	40,5	97,6	9,0
Интенсивная (T3) / Intensive (T3)	442	52,5	1,95	39,8	95,2	9,3
Биологизированная (T4) / Biologized (T4)	388	60,4	2,05	38,5	89,4	8,9
среднее / average	425	49,8	1,90	39,8	91,6	8,8
Минимальная обработка почвы / Minimal tillage						
Экстенсивная (T1) / Extensive (T1)	398	44,1	1,88	40,8	86,1	8,4
Нормальная (T2) / Normal (T2)	400	50,1	2,07	41,7	87,2	9,1
Интенсивная (T3) / Intensive (T3)	364	54,8	2,25	39,7	91,3	8,9
Биологизированная (T4) / Biologized (T4)	358	50,9	2,03	39,6	87,3	8,8
среднее / average	380	49,9	2,06	40,5	88,0	8,8

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
Комбинированная обработка почвы / Combined tillage						
Экстенсивная (Т1) / Extensive (T1)	311	51,7	2,08	40,5	79,5	8,4
Нормальная (Т2) / Normal (T2)	338	58,5	2,36	38,3	87,6	10,0
Интенсивная (Т3) / Intensive (T3)	331	54,2	2,18	38,8	85,7	8,8
Биологизированная (Т4) / Biologized (T4)	318	48,7	2,13	39,8	86,5	8,7
среднее / average	325	53,2	2,19	39,3	84,8	9,0
Отвальная вспашка / Dump plowing						
Экстенсивная (Т1) / Extensive (T1)	321	42,2	2,13	41,1	77,7	8,4
Нормальная (Т2) / Normal (T2)	338	57,2	2,43	34,9	87,1	9,5
Интенсивная (Т3) / Intensive (T3)	317	63,8	2,21	35,4	81,4	9,4
Биологизированная (Т4) / Biologized (T4)	309	53,4	2,14	36,8	79,1	9,0
среднее / average	321	54,1	2,23	37,0	81,3	9,0

По отвальной обработке наблюдалось минимальное количество продуктивных стеблей 321 шт./м², что на 32,4 % ниже, чем по нулевой обработке. Уменьшение количества продуктивного стеблестоя по отвальной вспашке привело к росту продуктивности колоса до 2,22 г (максимальная в опыте).

Качественные показатели сорта Раздолье также зависели главным образом от урожайности культуры. Максимальное содержание белка и клейковины в зерне наблюдалось по отвальной вспашке – 13,0 и 20,8 % соответственно (таблица 2).

Таблица 2 – Качественные показатели сорта мягкой озимой пшеницы Раздолье в зависимости от способа основной обработки почвы и варианта технологии возделывания
Table 2 – Qualitative indicators of the Razdolye soft winter wheat variety, depending on the method of basic tillage and the variant of cultivation technology

Способ основной обработки почвы / The method of basic tillage	Вариант технологии возделывания / A variant of cultivation technology	Натура, г/л / In kind, g/l	Белок, % / Protein, %	Клейковина, % / Gluten, %
Нулевая / No tillage	Экстенсивная / Extensive	804	12,2	19,9
	Нормальная / Normal	807	12,3	19,9
	Интенсивная / Intensive	808	12,8	19,7
	Биологизир. / Biologized	792	11,9	16,4
среднее / average		803	12,3	19,0
Минимальная / Minimal tillage	Экстенсивная / Extensive	792	12,1	17,4
	Нормальная / Normal	814	12,3	17,8
	Интенсивная / Intensive	811	12,7	19,4
	Биологизир. / Biologized	820	12,0	17,8
среднее / average		809	12,3	18,1
Комбинированная / Combined tillage	Экстенсивная / Extensive	805	12,7	18,7
	Нормальная / Normal	813	12,7	19,0
	Интенсивная / Intensive	816	12,6	18,7
	Биологизир. / Biologized	799	11,9	16,5
среднее / average		808	12,4	18,2
Отвальная / Dump plowing	Экстенсивная / Extensive	795	12,6	19,4
	Нормальная / Normal	786	13,2	21,8
	Интенсивная / Intensive	780	13,0	21,0
	Биологизир. / Biologized	780	13,1	20,8
среднее / average		785	13,0	20,8

По другим обработкам содержание белка и клейковины составило 12,3-12,4 % и 18,1-19,0 % соответственно. Варианты технологий возделывания показывали меньшее влияние, однако можно выявить тенденцию к увеличению содержания белка в зерне при интенсивной технологии возделывания (Т3) и снижении при биологизированной (Т4).

Расчёт экономической эффективности показал, что наилучшие экономические показатели возделывания сорта мягкой озимой пшеницы Раздолье по гороху были получены в варианте с нулевой обработкой почвы, где показатель условного чистого дохода составил 73004-95467 руб./га (таблица 3).

Таблица 3 – Расчёт производственной эффективности возделывания сорта мягкой озимой пшеницы Раздолье в зависимости от способа основной обработки почвы и варианта технологии возделывания по предшественнику горох

Table 3 – Calculation of the production efficiency of cultivating the Razdolye soft winter wheat variety, depending on the method of basic tillage and the variant of the pea precursor cultivation technology

Срок посева / The sowing period	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Затраты, руб./га / Costs, RUB/ha	Валовой доход, руб./га / Gross income, RUB/ha	Условный чистый доход, руб./га / Conditional net income, RUB/ha	Себестои- мость, руб./т / Cost, RUB/ton	Рентабель- ность, % / Profitability, %
Нулевая обработка почвы / No tillage						
Экстенсивная (Т1) / Extensive (T1)	6,67	9257	94705	85448	1388	923
Нормальная (Т2) / Normal (T2)	8,29	22209	117675	95467	2680	430
Интенсивная (Т3) / Intensive (T3)	7,66	35825	108829	73004	4674	204
Биологизированная (Т4) / Biologized (T4)	7,21	28500	102362	73862	3954	259
Минимальная обработка почвы / Minimal tillage						
Экстенсивная (Т1) / Extensive (T1)	7,01	11367	99612	88245	1620	776
Нормальная (Т2) / Normal (T2)	7,88	24183	111896	87713	3069	363
Интенсивная (Т3) / Intensive (T3)	7,33	37385	104086	66701	5100	178
Биологизированная (Т4) / Biologized (T4)	6,88	30641	97696	67055	4454	219
Комбинированная обработка почвы / Combined tillage						
Экстенсивная (Т1) / Extensive (T1)	6,44	10460	91448	80988	1624	774
Нормальная (Т2) / Normal (T2)	7,55	21071	107210	86139	2791	409
Интенсивная (Т3) / Intensive (T3)	6,95	36462	98690	62228	5246	171
Биологизированная (Т4) / Biologized (T4)	6,51	29719	92442	62723	4565	211
Отвальная обработка почвы / Dump tillage						
Экстенсивная (Т1) / Extensive (T1)	6,60	11929	93739	81810	1807	686
Нормальная (Т2) / Normal (T2)	7,31	24553	103802	79249	3359	323
Интенсивная (Т3) / Intensive (T3)	7,19	37933	102098	64165	5276	169
Биологизированная (Т4) / Biologized (T4)	6,65	31188	94430	63242	4690	203

По глубоким обработкам (комбинированной обработке и отвальной вспашке) условный чистый доход был существенно ниже составив 62228-86139 руб./га в зависимости от интенсивности технологии возделывания, что связано с увеличением затрат на глубокие обработки и снижением урожайности по ним. Нормальная технология возделывания (Т2) показала высокую эффективность по комбинированной и нулевой обработке почвы, превышая экстенсивную технологию (Т1) на 5151 руб./га и на 10019 руб./га.

Выводы. Наибольшая урожайность озимой пшеницы получена в варианте без обработки почвы 6,67-8,29 т/га. Отмечена тенденция снижения урожайности с увеличением глубины обработки почвы. Нормальная технология возделывания (Т2) показала наилучший результат по урожайности по всем вариантам основной обработки почвы. Максимальное содержание белка и клейковины в зерне наблюдалось по фону отвальной вспашки 13,0-20,8 % соответственно. Наилучшие экономические показатели получены в варианте нулевой технологии обработки почвы.

Conclusions. The highest yield of winter wheat was obtained in the variant without tillage of 6.67-8.29 t/ha. There is a tendency to decrease yields with an increase in the depth of tillage. The normal cultivation technology (T2) showed the best yield results for all variants of basic tillage. The maximum protein and gluten content in grain was observed in the background of dump plowing of 13.0-20.8 %, respectively. The best economic indicators were obtained in the variant of zero tillage technology.

Библиографический список

1. Hussain J., Khaliq T., Ahmad A. et al. Wheat Responses to Climate Change and Its Adaptations: A Focus on Arid and Semi-arid Environment. *Int. J. Environ. Res.* 2018. N 12. Pp. 117-126.
2. Лиховидова В. А., Газе В. Л., Ионова Е. В., Марченко Д. М. Влияние почвенной и воздушной засухи на развитие корневой системы сортов и линий озимой мягкой пшеницы. *Зерновое хозяйство России*. 2018. N 4. С. 39-42.
3. Дубинина О. А. Устойчивость озимой пшеницы к основным стрессовым факторам окружающей среды и погодных условий (обзор). *Зерновое хозяйство России*. 2017. N 49 (1). С. 23-26.
4. Письменная Е. В., Азарова М. Ю. Влияние почвенно-климатических условий на урожайность озимой пшеницы в условиях засушливой зоны Ставропольского края. *Наука и Образование*. 2019. Т. 2. N 4. С. 135.
5. Письменная Е. В., Азарова М. Ю., Беляева А. А. Влияние погодных-климатических условий на фенологические показатели и продуктивность озимой пшеницы, возделываемой по технологии прямого посева в засушливой зоне Ставропольского края. *Аграрный научный журнал*. 2021. N 6. С. 21-26.
6. Волкова Е. И. Связь урожайности с тепловлагообеспеченностью по фазам развития сельскохозяйственных культур. *Мелиорация переувлажненных земель*. 2006. N 2 (56). С. 85-93.
7. Pramanik P., Chakrabarti B., Bhatia A., Singh S., Maity A., Aggarwal P., Krishnan P. Effect of Elevated Temperature on Soil Hydrothermal Regimes and Growth of Wheat Crop. *Environ. Monit. Assess.* 2018. No 190. P. 217.
8. Меданова К. В. Совершенствование ресурсного обеспечения отрасли растениеводства в условиях неустойчивости сельскохозяйственного землепользования. *Электронный научный журнал «Век качества»*. 2023. N 4. С. 110-126.
9. Моргачев В. В. Формирование эффективного механизма материальнотехнического обеспечения сельскохозяйственных товаропроизводителей. *Экономика и предпринимательство*. 2016. N 10 (2). С. 205-210.
10. Рыбас И. А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2016. Т. 51. N 5. С. 617-626.
11. Иванов А. Л., Кулинцев В. В., Дригидер В. К., Белобров В. П. О целесообразности освоения системы прямого посева на черноземах России. *Достижения науки и техники АПК*. 2021. Т. 35. N 4. С. 8-16.
12. Кочмина Е. О., Чекаев Н. П. Влагосберегающая эффективность технологии No-till при возделывании озимой пшеницы. *Нива Поволжья*. 2016. № 1 (38). С. 35-41.
13. Гармашов В. М., Гармашова Л. В. Биологическая активность чернозема обыкновенного при освоении технологии No-till. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2020. N 12-1 (102). С. 131-135.
14. Немченко В. В., Филиппов А. С., Заргарян А. М. Применение общеистребительных гербицидов при минимальной и нулевой технологиях возделывания зерновых культур. *Защита и карантин растений*. 2015. N 11. С. 22-24.
15. Бакиров Ф. Г., Петрова Г. В. Эффективность технологии No-till на чернозёмах южных оренбургского Предуралья. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2014. № 1 (45). С. 23-26.

References

1. Hussain J., Khaliq T., Ahmad A. et al. Wheat Responses to Climate Change and Its Adaptations: A Focus on Arid and Semi-arid Environment. *Int. J. Environ. Res.* 2018. N 12. Pp. 117-126.
2. Likhovidova V. A., Gaze V. L., Ionova E. V., Marchenko D. M. The influence of soil and air drought on the development of the root system of varieties and lines of winter soft wheat. *Grain farming in Russia*. 2018. N 4. Pp. 39-42.
3. Dubinina O. A. Resistance of winter wheat to the main stress factors of the environment and weather conditions (review). *Grain farming in Russia*. 2017. N 49 (1). Pp. 23-26.
4. Pisennaya E. V., Azarova M. Y. The influence of soil and climatic conditions on the yield of winter wheat in the arid zone of the Stavropol Territory. *Science and Education*. 2019. V. 2. No. 4. P. 135.
5. Pisennaya E. V., Azarova M. Yu., Belyaeva A. A. The influence of weather and climatic conditions on the phenological parameters and productivity of winter wheat cultivated using direct sowing technology in the arid zone of the Stavropol Territory. *Agricultural scientific journal*. 2021. N 6. Pp. 21-26.
6. Volkova E. I. The relationship of productivity with heat and moisture availability by phases of crop development. *Reclamation of waterlogged lands*. 2006. N 2 (56). Pp. 85-93.
7. Pramanik P., Chakrabarti B., Bhatia A., Singh S., Maity A., Aggarwal P., Krishnan P. Effect of Elevated Temperature on Soil Hydrothermal Regimes and Growth of Wheat Crop. *Environ. Monit. Assess.* 2018. No 190. P. 217.
8. Medanova K. V. Improving the resource supply of the crop industry in conditions of instability of agricultural land use. *Electronic scientific journal "Century of Quality"*. 2023. N 4. Pp. 110-126.
9. Morgachev V. V. Formation of an effective mechanism of material and technical support for agricultural producers. *Economics and entrepreneurship*. 2016. N 10 (2). Pp. 205-210.
10. Rybas I. A. Increasing adaptivity in the breeding of grain crops. *Agricultural biology*. 2016. V. 51. N 5. Pp. 617-626.

11. Ivanov A. L., Kulintsev V. V., Dridiger V. K., Belobrov V. P. On the expediency of developing a direct seed-ing system on Russian chernozems. Achievements of science and technology of the agroindustrial complex. 2021. V. 35. N 4. Pp. 8-16.
12. Kochmina E. O., Chekaev N. P. Moisture-saving efficiency of No-till technology in winter wheat cultivation. Field of the Volga region. 2016. № 1 (38). Pp. 35-41.
13. Garmashov V. M., Garmashova L. V. Biological activity of ordinary chernozem during the development of No-till technology. International Scientific Research Journal. 2020. N 12-1 (102). Pp. 131-135.
14. Nemchenko V. V., Filippov A. S., Zargaryan A. M. The use of general destructive herbicides in minimal and zero technologies of grain cultivation. Plant protection and quarantine. 2015. N 11. Pp. 22-24.
15. Bakirov F. G., Petrova G. V. The effectiveness of No-till technology on chernozems of the southern Oren-burg region. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2014. № 1 (45). Pp. 23-26.

Информация об авторах

Камбулов Сергей Иванович, главный научный сотрудник, доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Аграрный научный центр «Донской» (Российская Федерация, 347740, Ростовская область, г. Зерноград, Научный городок, 3); профессор кафедры, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет» (Российская Федерация, 347740, Ростов-на-Дону, площадь Гagarина, 1), <https://orcid.org/0000-0001-8712-1478>, e-mail: kambulov.s@mail.ru

Подлесный Дмитрий Сергеевич, старший преподаватель, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет», (Российская Федерация, 344003, г. Ростов-на-Дону, площадь Гagarина, 1), <https://orcid.org/0000-0002-6069-138X>, e-mail: podlesniy.dmitri@yandex.ru

Authors' Information

Kambulov Sergey Ivanovich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Chief Researcher, Agricultural Research Center "Donskoy (Russian Federation, 347740, Rostov region, Zernograd, Scientific town, 3), Professor of the Department, of Technologies and Equipment for the Processing of Agricultural Products, Don State Technical University (Russian Federation, 347740, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1), <https://orcid.org/0000-0001-8712-1478>, e-mail: kambulov.s@mail.ru

Podlesny Dmitry Sergeevich, Senior Lecturer, Don State Technical University, (Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1), <https://orcid.org/0000-0002-6069-138X>, e-mail: podlesniy.dmitri@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-52

THE TECHNICAL MEANS OF MANAGING PLANT MOISTURE SUPPLY METHODS TAKING INTO ACCOUNT THE GLOBAL CLIMATE CHANGE

¹Kalinin A. B., ¹Smelik V. A., ¹Teplinsky I. Z., ²Fomin S. D., ¹Ruhev V. A., ¹Kalinina V. A.

¹Saint-Petersburg State Agrarian University
St. Petersburg, Russian Federation

²Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: smelik_va@mail.ru

Received 18.06.2025

Submitted 29.10.2025

Summary

The article presents the results of research to technical means that allow to manage of water resources during plant growing taking in account global climate.

Abstract

Introduction. The condition of the soil and its moisture regime, formed by tillage machines and implements during various technological operations, are fundamental factors in the production process when cultivating most agricultural crops. Soil moisture is the basis of plant life, therefore, soil tillage methods should be aimed at maximizing the absorption of precipitation and minimizing its removal from the field along with the fertile layer. Managing the soil's water regime is possible provided that the patterns of moisture transfer within the soil under the influence of natural phenomena are understood. Since the movement of water flow within the soil primarily occurs in large pores and capillary channels, a rational choice of technical means that allows for changing the ratio of large pores and capillaries will make it possible to manage the moisture supply regime of the root-inhabited layer. To minimize the risks of soil loss during heavy rainfall, especially on slopes and on profiled field surfaces (ridges), it is necessary to implement methods for retaining significant volumes of water. Previously developed technical means for soil-protective farming have not found widespread application in everyday practice due to their technical and technological imperfections. The aim of the study is to improve technical means in soil-protective farming, select and justify the parameters of their working bodies, allowing for the management of the soil's water regime in the root-inhabited layer, taking into account global climate change and the patterns of intra-soil moisture movement. **Materials and methods.** Numerous studies have shown that one of the main causes of soil degradation is compaction due to the use of mobile, wide-span, energy-intensive agricultural machinery and heavy vehicles. For the rapid measurement of soil density, this study used indirect indicators of this parameter that are most closely correlated with it: soil hardness, measured by a contact method using a penetrometer, and soil electromagnetic permeability, determined by a non-contact method using the Top Soil Mapper measuring system. The assessment of moisture availability in the root zone during the plant growing season was determined using

soil probes that recorded soil temperature and moisture at a depth of 90 cm in each 10 cm soil horizon. The studies showed that the absence of large pores in compacted soil horizons prevents the rapid drainage of significant volumes of moisture into the lower horizons during heavy rains under the influence of gravity, and without a branched network of vertically oriented capillaries, it is impossible to ensure the supply of moisture to the plant root system when it is deficient. Therefore, one of the effective ways to manage the soil water regime is to choose a rational combination of working elements of tillage machines that form an optimal ratio of large pores and capillaries when performing various tillage operations. **Results.** Based on the conducted research, it has been established that deep-ripping working elements, installed on implements for primary and inter-row soil cultivation, should be used to break up compacted soil horizons. Rotary-type dykers were used to retain moisture in areas where precipitation occurs. The dyker should be positioned in the wake of the deep-ripping tine to create the maximum volume of the furrow. This allowed for the even accumulation of moisture in the furrows in areas of precipitation, as well as creating conditions for its drainage into the lower horizons of the root zone. During the winter period, under the influence of moisture transfer patterns, this ensures intensive soil crumbling within the ridge surface without the use of mechanical tillage methods. This soil preparation technology requires the use of a combined potato planting unit, which leads to noticeable soil compaction in the inter-row spaces along the tracks of its running gear. To reduce moisture loss in compacted inter-row spaces, inter-row soil cultivation should be carried out with a row crop cultivator-deep ripper equipped with a hole maker no later than 2-3 hours after planting. The parameters of the hole makers are adapted to the width of the inter-row spacing used in various potato cultivation technologies. Studies of the row crop cultivator-deep ripper equipped with a hole makers showed that the use of the furrowing module in combination with the deep-ripping tine allowed all precipitation moisture to be diverted to the lower horizons of the root zone, preventing waterlogging in low-lying areas or runoff on slopes. This ensured a more even distribution of precipitation over the field area and an increase in total moisture reserves in the 90 cm layer to 198 mm. **Conclusions.** As a result of the improvements made to the technical means for continuous and inter-row soil cultivation, it has been established that, in order to create conditions that ensure a rational water regime in the root-inhabited layer and reduce the risks of adverse weather factors, it is necessary to equip the cultivators used for primary soil cultivation with a moisture-retaining module consisting of a deep-ripping tine and a rotary hole makers. The setting for the depth of soil cultivation with this tine should be at least 30 cm. The use of rotary hole makers is aimed at preserving moisture in the areas where it falls, regardless of the field slope. Compared to traditional soil cultivation technologies in potato cultivation, the use of the moisture-retaining module made it possible to increase the reserves of available moisture in the studied soil layer by 26 %.

Keywords: soil conservation farming, soil compaction, water erosion, water management, plant moisture supply techniques, digital measuring systems, cultivator-subsoiler, hole makers.

Citation. Kalinin A. B., Smelik V. A., Teplinsky I. Z., Fomin S. D., Ruhev V. A., Kalinina V. A. The technical means of managing plant moisture supply methods taking into account the global climate change. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 472-485 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-52.

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

УДК 631.311

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПРИЕМОВ УПРАВЛЕНИЯ ВЛАГООБЕСПЕЧЕНИЕМ РАСТЕНИЙ С УЧЕТОМ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

¹Калинин А. Б., доктор технических наук

¹Смелик В. А., доктор технических наук

¹Теплинский И. З., кандидат технических наук

²Фомин С. Д., доктор технических наук

¹Ружьев В. А., кандидат технических наук

¹Калинина В. А., преподаватель-исследователь

¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Состояние почвы и режим ее увлажнения, формируемые почвообрабатывающими машинами и орудиями при выполнении различных технологических приемов, являются базовыми факторами продукционного процесса при возделывании большинства сельскохозяйственных культур. Почвенная влага является основой жизни растений, поэтому приемы обработки почвы должны быть направлены на максимальное усвоение осадков и минимизацию их выноса за пределы поля вместе с плодородным слоем. Управление водным режимом почвы возможно при условии зна-

ния закономерности влагопереноса внутри почвы под действием природных явлений. Ввиду того, что движение водного потока внутри почвы преимущественно происходит в крупных порах и капиллярных каналах, рациональный выбор технических средств, который позволяет изменять соотношение крупных пор и капилляров, позволит управлять режимом влагообеспечения корнеобитаемого слоя. Для минимизации рисков потерь почвы при выпадении ливневых осадков, особенно на склонах и на профилированной поверхности поля (гребни, гряды), требуется выполнять приемы влагоудержания значительных объемов воды. Ранее разработанные для почвозащитного земледелия технические средства не нашли широкого применения в повседневной практике из-за их технического и технологического несовершенства. Цель исследования – совершенствование технических средств в почвозащитном земледелии, выбор и обоснование параметров их рабочих органов, позволяющих управлять водным режимом почвы в корнеобитаемом слое с учетом глобального изменения климата и закономерностей внутрипочвенного движения влаги. **Материалы и методы.** Многочисленные исследования показали, что одной из главных причин деградации почв является их переуплотнение вследствие применения мобильных широкозахватных энергонасыщенных сельскохозяйственных агрегатов и тяжелых транспортных средств. Для оперативного измерения плотности почвы в настоящем исследовании использовались наиболее тесно коррелируемые с ней оценки косвенных показателей данного параметра: твердость почвы, которая измерялась контактным методом с использованием пенетролога, а также электромагнитная проницаемость почвы, определяемая бесконтактным методом с помощью измерительного комплекса Top Soil Mapper. Оценка влагообеспеченности корнеобитаемого слоя в период вегетации растений определялась с помощью почвенных зондов, которые регистрировали температуру и влажность почвы на глубину 90 см в каждом 10 см почвенном горизонте. Исследования показали, что отсутствие крупных пор в переуплотненных почвенных горизонтах не позволяет оперативно отвести во время ливней значительные объемы влаги в нижние горизонты под действием сил гравитации, а без разветвленной сети вертикально ориентированных капилляров невозможно обеспечить подток влаги к корневой системе растений при ее недостатке. Поэтому одним из эффективных способов управления водным режимом почвы является выбор рационального сочетания рабочих органов почвообрабатывающих машин, формирующих оптимальное соотношение крупных пор и капилляров, при выполнении различных приемов ее обработки. **Результаты исследований.** На основании проведенных исследований установлено, что для разрушения переуплотненных почвенных горизонтов следует использовать глубокихрыхлительные рабочие органы, установленные на орудиях для основной и междурядной обработки почвы. Для удержания влаги в местах ее выпадения применялись лункователи ротационного типа. При этом лункователь должен устанавливаться по следу глубокихрыхлительной лапы для формирования максимального объема лунки. Это позволило равномерно накапливать влагу в лунках в местах выпадения осадков, а также создавать условия для отвода ее в нижние горизонты корнеобитаемого слоя. В зимний период под действием закономерностей влагопереноса это обеспечивает интенсивное крошение почвы внутри гребневой поверхности без использования механических приемов обработки. Такая технология подготовки почвы требует применения комбинированного картофелепосадочного агрегата, что приводит к заметному переуплотнению почвы в междурядьях по следу их ходовых систем. Для снижения потери влаги в уплотненных междурядьях следует проводить междурядную обработку почвы пропашным культиватором-глубокихрыхлителем, оснащенным лункователем не позднее 2-3 часов после посадки. Параметры лункователя адаптированы к ширине междурядий, применяемых при различных технологиях возделывания картофеля. Проведенные исследования пропашного культиватора-глубокихрыхлителя, оснащенного лункователем, показали, что использование модуля лункователя в комбинации с глубокихрыхлительной лапой позволило всю выпадающую с осадками влагу отвести в нижние горизонты корнеобитаемого слоя, не образуя застоя воды в низинах или ее стока на уклонах поля. Это обеспечило более равномерное распределение осадков по площади поля и повышение до 198 мм суммарных запасов влаги в слое 90 см. **Выводы.** В результате выполненного совершенствования технических средств для сплошной и междурядной обработки почвы установлено, что для создания условий, обеспечивающих рациональный водный режим в корнеобитаемом слое и снижения рисков влияния неблагоприятных погодных факторов, необходимо оснастить используемые культиваторы для основной обработки почвы влагоудерживающим модулем, состоящим из глубокихрыхлительной лапы и ротационного лункователя. При этом настроечное значение глубины обработки почвы такой лапой должна быть не менее 30 см. Использование лункователей ротационного типа направлено на сохранение влаги в местах ее выпадения независимо от уклона поля. По сравнению с традиционными технологиями обработки почвы при возделывании картофеля применение влагоудерживающего модуля позволило обеспечить увеличение на 26 % запасов доступной влаги в исследуемом слое почвы.

Ключевые слова: почвозащитное земледелие, переуплотнение почвы, водная эрозия, управление водными режимами, приемы влагообеспечения растений, цифровые измерительные системы, культиваторы-глубокихрыхлители, лункователи.

Цитирование. Калинин А. Б., Смелик В. А., Теплинский И. З., Фомин С. Д., Ружьев В. А., Калинина В. А. Технические средства приема управления влагообеспечением растений с учетом глобального изменения климата. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 472-485. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-52.

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. Формируемые почвообрабатывающими машинами и орудиями при выполнении различных технологических приемов сложение и структура почвы, а также ее водный режим являются базовыми факторами продукционного процесса при возделывании большинства сельскохозяйственных культур [1, 2].

Почва, являясь сложной биотехнологической системой, определяет условия жизни растений. При этом на почвенное состояние существенное влияние оказывает антропогенное воздействие, которое вследствие использования энергонасыщенных сельскохозяйственных агрегатов и тяжелых транспортных средств приводит к разрушению почвенных элементов, что ухудшает физико-механические свойства плодородного слоя и может служить причиной его деградации [3, 4].

Почвенная влага является основой жизни растений. Условия их развития во многом зависят от степени насыщенности корнеобитаемого слоя почвы водой. При этом недостаток влаги, равно как и ее избыток, приводят к существенному снижению продуктивности возделываемых культур, вплоть до их полной гибели. Ввиду того, что почва является естественным накопителем влаги, аккумулирующим воду, выпавшую с осадками или при поливе, степень влагообеспеченности растений во многом зависит от ее способности удерживать почвенный раствор в корнеобитаемом слое. Отсюда следует, что приемы обработки почвы, выполняемые машинами и орудиями, должны быть направлены на создание условий для максимального усвоения осадков и минимизацию их выноса за пределы поля вместе с плодородным слоем [5].

Управление водным режимом почвы с помощью технических средств возможно осуществить на основе знаний закономерности влагопереноса внутри почвы под действием природных явлений. Установлено, что движение водного потока внутри почвы преимущественно происходит в крупных порах и капиллярных каналах. Поэтому выбор технических средств, обеспечивающих при обработке почвы изменение соотношения крупных пор и капилляров, позволит осуществить управление режимом влагообеспечения растений в корнеобитаемом слое. Таким образом, управление водным режимом почвы с помощью подбора определенных технических средств для возделывания сельскохозяйственных культур позволит минимизировать риски, вызванные избытком или недостатком влаги, за счет рационального ее распределения в корнеобитаемом слое.

Последствия глобальных климатических изменений, наблюдаемые в последнее время, являются также существенным фактором, который влияет на продуктивность возделываемых культур. Исследования результатов наблюдения за погодными явлениями показали, что наряду с постепенным повышением среднегодовых температур отмечается увеличение объема осадков. При этом характер осадков в период вегетации растений носит ливневый характер, последствия которого могут приводить к развитию водной эрозии, приводящей к деградации почвы. Для минимизации рисков потерь почвы при выпадении ливневых осадков, особенно на склонах и на профилированной поверхности поля в виде гребней или гряд, требуется выполнять влагоудерживающие приемы обработки почвы, позволяющие рационально распределять значительные объемы воды. Разработанные ранее для почвозащитного земледелия технические средства не нашли в настоящее время широкого применения в повседневной практике из-за их технического и технологического несовершенства.

Поэтому целью настоящего исследования являлось совершенствование приемов и технических средств для почвозащитного земледелия, выбор и обоснование параметров рабочих органов орудий, позволяющих управлять водным режимом почвы в корнеобитаемом слое с учетом глобального изменения климата и закономерностей внутрипочвенного движения влаги.

Материалы и методы. Многочисленные исследования показали, что одной из главных причин деградации почв является их переуплотнение вследствие применения широкозахватных мобильных энергонасыщенных сельскохозяйственных агрегатов и тяжелых

транспортных средств [6]. В зависимости от типа применяемых почвообрабатывающих агрегатов уплотнение формируется ниже глубины хода рабочих органов машин и орудий, так как нижележащие слои почвы служат для них опорой (рисунок 1). Степень уплотнения этих слоев зависит от формы рабочей поверхности рабочих органов, режимов работы, а также от исходного почвенного состояния [7]. Наибольшее уплотняющее воздействие на почву создается при использовании лемешно-отвальных плугов, культиваторов со стрельчатыми лапами, вертикально-фрезерных машин, а также ходовых систем машинно-тракторных и транспортных агрегатов.

Определение плотности почвы в горизонтах корнеобитаемого слоя выполняют различными способами. Наиболее трудоемким из них является метод определения плотности путем взятия образцов почвы ненарушенного сложения с помощью цилиндра-бура определенного объема с последующим взвешиванием и высушиванием образцов. Для оперативного измерения плотности почвы в настоящее время используются цифровые измерительные системы. В данном исследовании для ее оценки использовались наиболее тесно коррелируемые с плотностью почвы косвенные показатели данного параметра в виде твердости почвы, измеренной контактным методом с использованием пенетролога и электромагнитная проницаемость почвы, определяемая бесконтактным методом с помощью измерительного комплекса Top Soil Mapper (рисунок 2). Оба устройства оснащены системами спутникового позиционирования, что позволяет выполнить построение цифровых карт поля с указанием расположения переуплотненных зон по глубине корнеобитаемого слоя вплоть до 90 см.

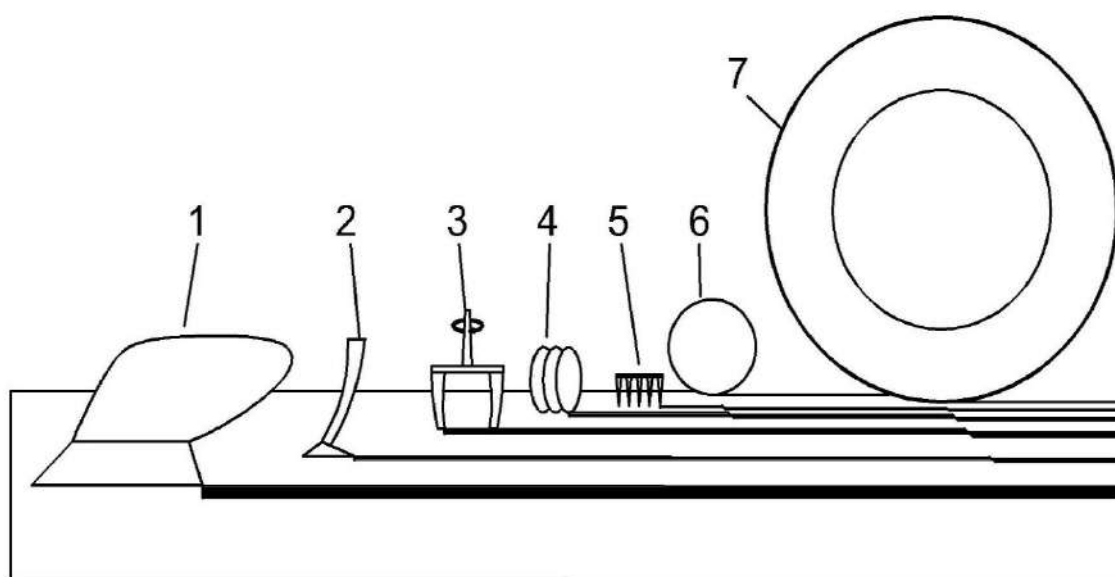


Рисунок 1 – Схема уплотняющего воздействия на почву со стороны рабочих органов машинно-тракторных агрегатов:

1 – корпус плуга; 2 – рыхлительная лапа культиватора; 3 – ножи вертикально-фрезерного культиватора; 4 – диски; 5 – зубовая борона; 6 – каток; 7 – колесо трактора

Figure 1 – Scheme of compaction on the soil from the working bodies of machine and tractor units:

1 – plough body; 2 – tiller loosening share; 3 – knives of the vertical-milling cultivator; 4 – discs; 5 – tooth harrow; 6 – roller; 7 – tractor wheel

Оценка влагообеспеченности растений в корнеобитаемом слое в период их вегетации определялась с помощью установки на исследуемом поле почвенных зондов, которые регистрировали температуру и влажность почвы на глубину 90 см в каждом 10 см почвенном горизонте. Объем и интенсивность выпадения осадков регистрировались с помощью пьювиометра (рисунок 3). Данные измерения проводились для определения суточной динамики изменения процессов тепло- и влагопереноса в месте установки зонда. Это позволило дать объективную оценку влагообеспеченности корнеобитаемого слоя при использовании различных рабочих органов, выполняющих приемы обработки почвы.



Рисунок 2 – Мобильный измерительный комплекс бесконтактного типа TopSoil Mapper
Figure 2 – Mobile non-contact measuring complex TopSoil Mapper



Рисунок 3 – Измерительный метеорологический комплекс с почвенным зондом
Figure 3 – Measuring meteorological complex with soil probe

Исследования почвенного состояния по параметру плотности почвы, выполненные на полях учебно-производственного центра ФГБОУ ВО СПбГАУ, показали, что при реализации интенсивной технологии производства зерновых культур и картофеля многочисленные проходы машинно-тракторных и транспортных агрегатов приводят к образованию внутри почвы переуплотненных зон на различной глубине. На рисунке 4. представлен график изменения оценок математических ожиданий твердости почвы по глубине, полученный на участке поля с длиной гона, равного 100 м с шагом $\Delta l=1$ м. Из этого графика видно, что на глубине 12-16 см отмечаются уплотненные горизонты, сформированные машинами и

орудиями для предпосевной подготовки почвы, а на глубине 30-45 см – уплотнения, сформированные в результате регулярного применения лемешно-отвальных плугов и проходов тяжелых транспортных агрегатов. Значение твердости почвы, равное 4,5 МПа, является критическим для развития корневой системы большинства сельскохозяйственных культур [8]. При этом исследованиями установлено [9], что степень уплотнения почвы можно условно разделить на 4 зоны. Показатели твердости почвы в диапазоне 0 – 1 МПа соответствуют зоне нормального уплотнения Н.У., в диапазоне 1,1 – 2,5 МПа соответствуют зоне среднего уплотнения С.У., 2,6 – 4,5 МПа – зоне высокого уплотнения В.У., а свыше 4,5 МПа – зоне переуплотнения П.У.

Исследования почвенного состояния с применением пенетролога и измерительного комплекса Top Soil Mapper, оснащенных спутниковыми системами позиционирования, позволили получить карты поля с указанием зон уплотнения исследуемого участка, которые представлены на рисунке 5.

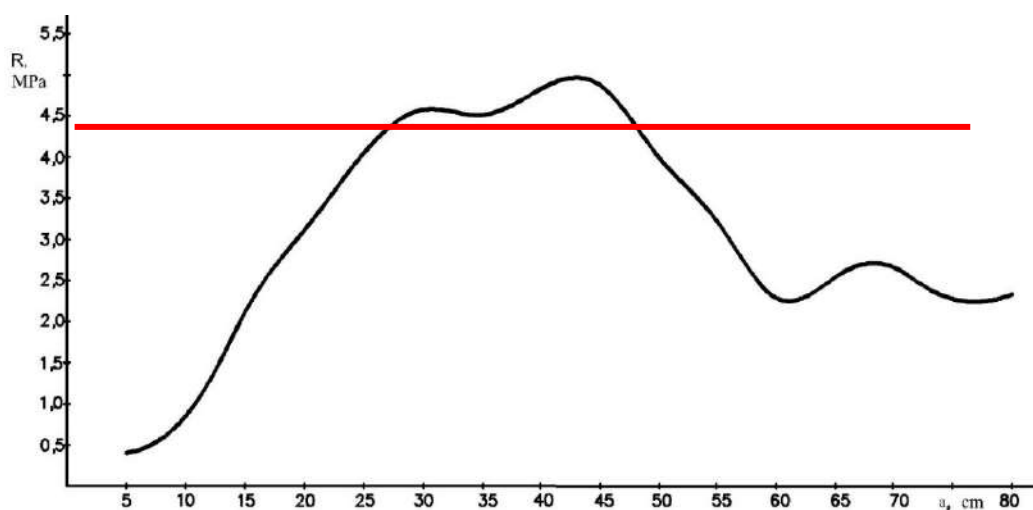


Рисунок 4 – График изменения твердости почвы на глубине корнеобитаемого слоя после уборки зерновых культур

Figure 4 – Graph of changes in soil hardness at the depth of the root layer after harvesting grain crops

Наличие столь значительного количества переуплотненных зон внутри корнеобитаемого слоя привело к значительному сокращению в нем количества крупных пор и капилляров, которые служат проводящей системой для внутрипочвенной влаги.

В Северо-Западном регионе РФ основным источником почвенной влаги являются природные осадки и при равномерном их распределении в течение года выпадающий объем осадков позволяет гарантированно обеспечивать реализацию биологического потенциала возделываемых культур. Последствия глобальных климатических изменений остро проявляются в последнее время. В Северо-Западном и Центральном регионах РФ отмечаются постепенное повышение среднегодовой температуры воздуха и увеличение объема выпадающих осадков [10, 11]. При этом осадки в летний период зачастую имеют ливневый характер и выпадают с большой неравномерностью.

Для оценки неравномерности влагообеспечения растений в период вегетации в таблице 1 представлены объемы среднемесячных осадков на примере данных метеостанции г. Москвы за последние 25 лет. Из этой таблицы видно, что в течение вегетации растений отмечается чередование экстремально засушливых и переувлажненных периодов. В засушливый период, когда отмечается низкий уровень выпадения осадков (выделены красным цветом), растения испытывают стресс от недостатка влаги, что ведет к снижению урожайности и потере качества продукции. В периоды выпадения ливневых осадков растения также испытывают стресс от недостатка воздуха и на полях развивается водная эрозия, приводящая к безвозвратной потере плодородного слоя почвы за счет смыва мелких почвенных частиц (рисунок 6).

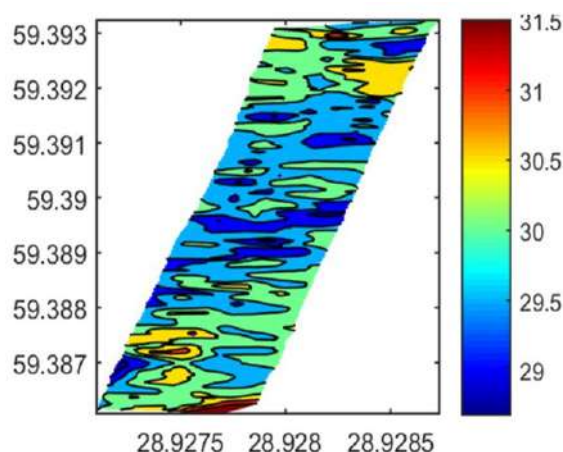


Рисунок 5 – Цифровая карта поля с указанием зон уплотнения по площади поля
Figure 5 – Digital map of the field showing compaction zones by field area

Таблица 1 – Среднемесячный уровень осадков в период вегетации растений за 1999-2024 гг. по метеоданным г. Москвы.

Table 1 – Average monthly precipitation during the vegetation period for 1999-2024 according to meteorological data from Moscow.

Год / Year	апрель / April	май / May	июнь / June	июль / July	август / August	сентябрь / September	октябрь / October
1999	27	38	10	68	86	48	33
2000	27	37	116	167	83	51	32
2001	29	112	72	89	57	38	70
2002	14	18	50	24	21	80	132
2003	46	41	80	66	145	100	53
2004	37	58	76	153	80	88	84
2005	49	81	89	87	29	12	45
2006	44	56	55	35	129	60	53
2007	24	34	21	81	87	57	109
2008	51	68	76	181	115	70	63
2009	25	59	46	91	86	43	136
2010	31	59	62	12	68	70	42
2011	44	25	38	71	62	75	63
2012	50	54	91	52	85	47	138
2013	64	92	49	118	78	183	30
2014	22	70	74	4	82	38	36
2015	44	120	93	119	14	88	21
2016	34	63	62	121	167	58	49
2017	77	83	139	103	68	38	93
2018	47	61	56	93	28	78	57
2019	9	55	67	71	58	29	58
2020	29	160	159	175	34	65	55
2021	90	93	63	43	110	85	41
2022	69	61	42	91	4	75	58
2023	30	35	71	151	63	6	114
2024	47	32	186	64	34	11	83

Анализ причин, приводящих к снижению урожайности возделываемых культур, показал, что переуплотнение корнеобитаемого слоя почвы является основным фактором ухудшения режима влагообеспечения растений, как при недостатке влаги, так и при ее избытке. Отсутствие крупных пор в переуплотненных почвенных горизонтах не позволяет оперативно отвести во время ливней значительные объемы влаги в нижние горизонты под действием сил гравитации, а без разветвленной сети вертикально ориентированных ка-

пилляров невозможно обеспечить подток влаги к корневой системе растений при ее недостатке. Отсутствие капилляров существенно ухудшает режим влагообеспечения растений из-за нарушения естественной циркуляции почвенного раствора в течение суток под действием температурного градиента [12, 13].

Таким образом, эффективными способами управления водным режимом почвы являются выбор рационального сочетания рабочих органов почвообрабатывающих орудий, формирующих оптимальное соотношение крупных пор и капилляров, а также приемов влагоудержания при почвообработке.



Рисунок 6 – Фрагмент поля с характерными признаками водной эрозии
Figure 6 – Fragment of a field with characteristic signs of water erosion

Анализ причин, приводящих к снижению урожайности возделываемых культур, показал, что переуплотнение корнеобитаемого слоя почвы является основным фактором ухудшения режима влагообеспечения растений как при недостатке влаги, так и при ее избытке. Отсутствие крупных пор в переуплотненных почвенных горизонтах не позволяет оперативно отвести во время ливней значительные объемы влаги в нижние горизонты под действием сил гравитации, а без разветвленной сети вертикально ориентированных капилляров невозможно обеспечить подток влаги к корневой системе растений при ее недостатке. Отсутствие капилляров существенно ухудшает режим влагообеспечения растений из-за нарушения естественной циркуляции почвенного раствора в течение суток под действием температурного градиента [12, 13].

Таким образом, эффективными способами управления водным режимом почвы являются выбор рационального сочетания рабочих органов почвообрабатывающих орудий, формирующих оптимальное соотношение крупных пор и капилляров, а также приемов влагоудержания при почвообработке.

Результаты исследований. На основании проведенных исследований отмечается, что для разрушения переуплотненных почвенных горизонтов следует использовать глубокихрыхлительные рабочие органы, установленные на орудиях для основной и междурядной обработки почвы [14, 15]. Для удержания влаги в местах ее выпадения необходимо применять лункователи ротационного типа [11]. При этом лункователь должен устанавливаться по следу глубокихрыхлительной лапы, обеспечивающей условия для максимального заглубления его лопастей с целью формирования максимального объема лунки.

Так, при возделывании картофеля для максимального накопления влаги в осенний период основная обработка почвы выполнялась комбинированным почвообрабатывающим агрегатом, включающим разработанные в СПБГАУ экспериментальный образец культиватора-глубокихрыхлителя и модуль с лункователями ротационного типа. Это позволило равномерно накапливать влагу в лунках в местах выпадения осадков, а также создавать усло-

вия для отвода ее в нижние горизонты корнеобитаемого слоя, формируя там значительные запасы. В зимний период под действием закономерностей влагопереноса, вследствие перепада температур, почвенный раствор поднимается в верхние горизонты, насыщая их влагой, которая при замерзании значительно увеличивается в объеме, что обеспечивает интенсивное крошение почвы внутри гребневой поверхности без использования механических приемов обработки. При этом гребневая поверхность поля в весенний период прогревается в более ранние сроки за счет интенсивного поглощения солнечной энергии. Таким образом, раннее созревание почвы и формирование ее мелкокомковатой структуры внутри гребней позволило исключить необходимость проведения предпосадочной обработки. Это обеспечило создание условий для ранней посадки картофеля с минимальными затратами энергии.

Такая технология подготовки почвы требует применения картофелепосадочного агрегата комбинированного типа, который за один прием выполняет несколько технологических операций: внутрипочвенное внесение удобрений, протравливание клубней и обработку семенного ложа пестицидами, посадку и заделку клубней с формированием гребней. Следует отметить, что внесение под клубни различных влагоудерживающих препаратов во время посадки позволяет существенно повысить урожайность и качество продукции [16]. Однако, как показали исследования, применение таких энергонасыщенных картофелепосадочных агрегатов в ранние сроки приводит к заметному переуплотнению почвы в междурядьях по следу их ходовых систем. На рисунке 7 показаны усредненные значения твердости почвы по глубине корнеобитаемого слоя до и после прохода комбинированного картофелепосадочного агрегата, измеренные по следу ходовых систем, полученные в условиях нормальной эксплуатации. Представленные на рисунке 7 данные экспериментальных исследований показали, что на глубине 25 см после прохода агрегата произошел почти двукратный прирост твердости почвы, что привело к формированию условий высокого уплотнения почвы, при котором развитие корневой системы картофеля внутри корнеобитаемого слоя существенно затруднено.

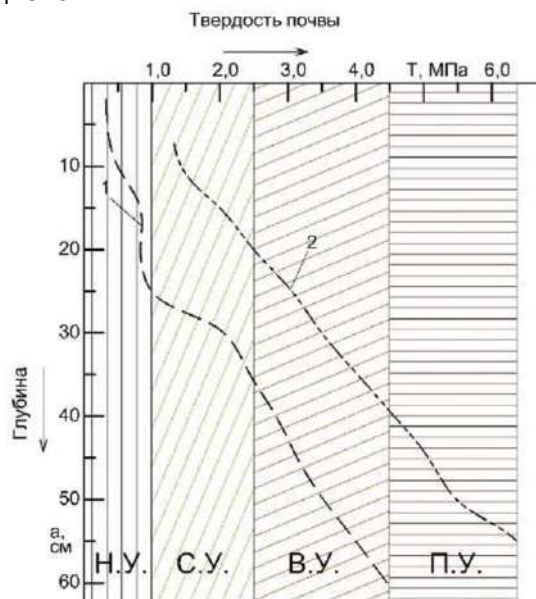


Рисунок 7 – Усредненные значения твердости почвы по глубине корнеобитаемого слоя при возделывании картофеля

- 1 – до прохода картофелепосадочного агрегата; 2 – после прохода картофелепосадочного агрегата
Figure 7 – Average values of soil hardness along the depth of the root layer during potato cultivation
1 – before the passage of the potato planting unit; 2 – after the passage of the potato planting unit

Для устранения переуплотнения в междурядьях и снижения потери влаги следует проводить междурядную обработку почвы пропашным культиватором-глубокорыхлителем, оснащенным лункователем, не позднее 2-3 часов после посадки. На рисунке 8 представлено конструктивно-технологическое решение такого пропашного культиватора-глубокорыхлителя. Он имеет секционную компоновочную схему. Каждая секция включает две рыхлительные лапы 1, установленных на пружинных стойках, глубокорыхлительную

лапу 2 на жесткой стойке, к которой крепится окучивающий корпус 3, прутковый профилированный каток 4 для упрочнения гребней и лункователь 5 ротационного типа. При настройке рыхлительных лап с целью гарантированного устранения переуплотнения с минимальными затратами энергии следует использовать методику, представленную в работе [17]. Расчетные параметры лункователя [11] адаптированы к ширине междурядий, применяемых при различных технологиях возделывания картофеля, и составляющих 70, 75 и 90 см [18].

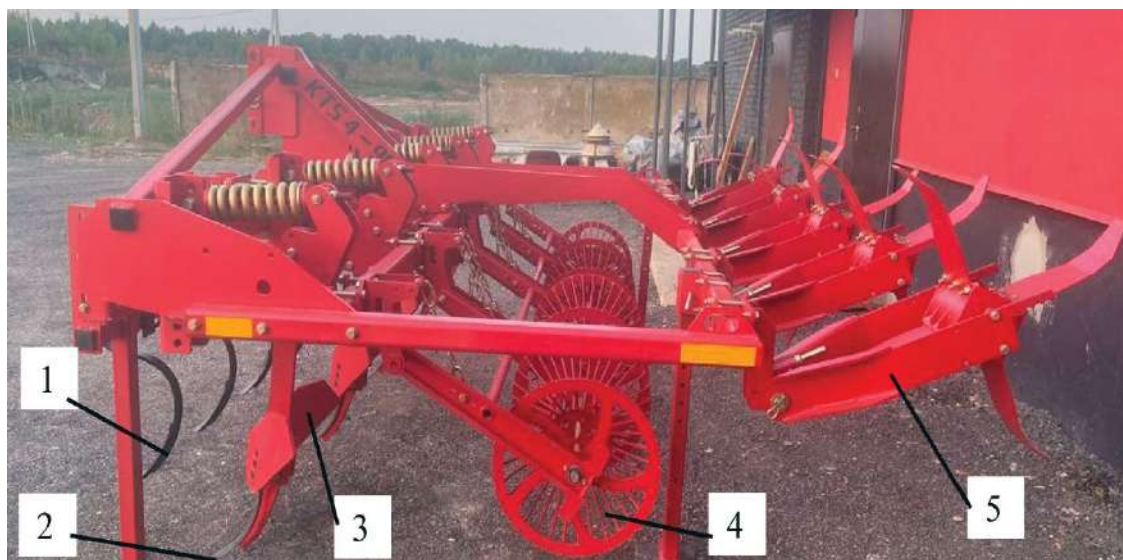


Рисунок 8 – Пропашной культиватор-глубокорыхлитель, оснащенный лункователем
Figure 8 – Row cultivator-subsoiler equipped with a hole driller

Проведенные исследования пропашного культиватора-глубокорыхлителя, оснащенного лункователем, показали, что использование модуля лункователя в комбинации с глубокорыхлительной лапой позволило всю выпадающую с осадками влагу, независимо от интенсивности ее поступления, отвести в нижние горизонты корнеобитаемого слоя, не образуя застоя воды в низинах или ее стока по уклонам поля. Это обеспечило более равномерное распределение осадков по площади поля. На рисунке 9 представлен график послойного распределения запасов влаги за весь период вегетации картофеля на поле, обработанном культиватором-глубокорыхлитель, оснащенный исследуемыми модулями. Представленные данные свидетельствуют о концентрации влаги на глубине 30 и более сантиметров. Суммарное количество влаги W в слое 90 см составило 198 мм, что на 26 % превысило ее запасы, накопленные за тот же период при использовании стандартного культиватора.

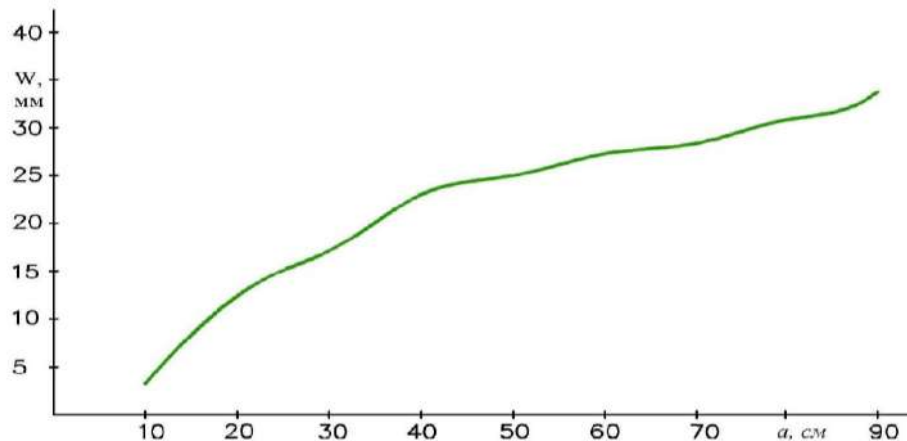


Рисунок 9 – График послойного распределения запасов влаги за весь период вегетации картофеля
Figure 9 – Graph of layer-by-layer distribution of moisture reserves for the entire growing season of potatoes

Выводы. В результате предлагаемого совершенствования технических средств для сплошной и междурядной обработки почвы установлено, что для создания условий, обеспечивающих рациональный водный режим в корнеобитаемом слое и снижения рисков влияния неблагоприятных погодных факторов, необходимо оснастить используемые культиваторы для основной обработки почвы влагоудерживающим модулем, состоящим из глубокорыхлительной лапы и ротационного лункователя. Глубина установки рыхлительной лапы такого модуля должна обеспечить устранение зон переуплотнения и создание разветвленной сети пор и капилляров в обрабатываемом слое почвы для оперативного усвоения значительных объемов влаги, выпадающих во время ливневых осадков, а также создать условия для эффективного ее движения под действием температурного градиента в зимний период с целью саморазуплотнения верхнего слоя. Проведенные исследования показали, что настроечное значение глубины обработки почвы такой лапой должно быть не менее 30 см. Применение цифрового измерительного комплекса TopSoil Mapper позволило минимизировать затраты энергии за счет точного определения положения переуплотненных горизонтов в корнеобитаемом слое. Использование лункователей ротационного типа позволяет накопить влагу в местах ее выпадения независимо от уклона поля. Установка лункователей на культиваторах для основной обработки почвы позволила исключить потери почвенных частиц во время таяния снежного покрова, а на пропашных культиваторах – накапливать в лунках влагу при выпадении ливневых осадков. По сравнению с традиционными технологиями обработки почвы при возделывании картофеля применение влагоудерживающего модуля позволило обеспечить увеличение на 26 % запасов доступной влаги в исследуемом с помощью зондов слое почвы.

Conclusions. As a result of the proposed improvements to technical means for continuous and inter-row soil cultivation, it has been established that, in order to create conditions ensuring a rational water regime in the root-inhabited layer and reduce the risks of adverse weather factors, it is necessary to equip the cultivators used for primary soil tillage with a moisture-retaining module consisting of a deep-ripping tine and a rotary dyker. The depth of the ripping tine of this module should ensure the elimination of compacted zones and the creation of a branched network of pores and capillaries in the cultivated soil layer for the rapid absorption of significant volumes of moisture falling during torrential rains, as well as create conditions for its effective movement under the influence of a temperature gradient in the winter period for the purpose of self-decompacting the upper layer. The conducted studies showed that the setting depth of soil cultivation with such a tine should be at least 30 cm. The use of the TopSoil Mapper digital measuring complex made it possible to minimize energy costs by accurately determining the position of compacted horizons in the root-inhabited layer. The use of rotary dykers allows for the accumulation of moisture in the places where it falls, regardless of the field slope. Installing furrowers on cultivators for primary soil tillage made it possible to eliminate the loss of soil particles during snowmelt, and on row crop cultivators – to accumulate moisture in the furrows during torrential rains. Compared to traditional soil cultivation technologies in potato cultivation, the use of a moisture-retaining module made it possible to increase the reserves of available moisture in the soil layer studied using probes by 26 %.

Библиографический список

1. Дорохов А. С. и др. Разработка концептуальной технико-технологической модели машинного производства лука, моркови, столовой свеклы и картофеля. Агроинженерия. 2023. Т. 25. № 1. С. 4-10.
2. Smelik V. A., Smelik O. V., Troyanovskaya I. P. et al. Justification of the Parameters of the Press Roller of Haulm Harvester when Cultivation Potato. // Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B – Biological Sciences. – 2023. – P. 1-7. – DOI 10.1007/s40011-023-01521-z. – EDN AXSYKG.
3. Федоренко В. Ф., Сибирев А. В. Современные подходы к развитию ресурсоэнергоэффективных технических систем обработки почвы в овощеводстве. Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК. Москва: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2025. С. 149-156.
4. Amami R., Ibrahimi K., Sher F. et al. Effects of conservation and standard tillage on soil physico-chemical properties and overall quality in a semi-arid agrosystem. Soil Research. 2021.
5. Estevam R. F. H., Peixoto D. S., Filho J. F. et al. Soil properties sensitive to degradation caused by increasing intensity of conventional tillage. Soil Research. 2021. No 59 (8). 819.
6. Кирюшин В. И. Проблема минимизации обработки почвы: перспективы развития и задачи исследований. Земледелие. 2013. № 7. С. 3-6.
7. Лобачевский Я. П., Старовойтов С. И. Теоретические и технологические аспекты работы рыхлительного рабочего органа. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. № 5. С. 17-23.
8. Медведев В. В. Твердость почвы. Харьков, 2009. 152 с.
9. Калинин А. Б., Теплинский И. З., Шпиганович П. М. Методы и средства управления режимами влагообеспечения в технологии возделывания оригинальных семян картофеля в условиях глобального изменения климата. Аграрный научный журнал. 2023. № 4. С. 112-118.
10. Ивашова О. Н. и др. Возделывание двух урожаев картофеля ранних сортов в условиях Московской области. Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2021. 132 с.

11. Калинин А. Б., Теплинский И. З., Немцев И. С. Совершенствование методов и технических средств борьбы с водной эрозией при возделывании картофеля на профилированной поверхности поля. Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91. № 6. С. 673-682.
12. Дыдышко П. И. Термоэлектрическое явление в грунтах и других капиллярных системах при их аннотермическом состоянии. Вестник ВНИИЖТ. 1992. № 1. С. 12-17.
13. Калинин А. Б. и др. Снижение экологических рисков применения мобильных энергонасыщенных агрегатов при возделывании семенного картофеля с учетом закономерности тепло и влагопереноса внутри корнеобитаемого слоя почвы. Аграрный научный журнал. 2023. № 5. С. 132-139.
14. Давлетшин М. М., Мударисов С. Г. и др. Чизельные плуги и глубокорыхлители. Уфа, 2014. 152 с.
15. Kalinin A. B. et al. Selection and substantiation of cultivator adjustment parameters for differential soil treatment on potato based on the rheology state of soil horizons. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2019. Vol. 516. P. 012025.
16. Дыйканова М. Е. и др. Влияние концентрата глауконитовых песков на продуктивность картофеля. Картофель и овощи. 2020. № 4. С. 33-36.
17. Теплинский И. З., Калинин А. Б. Алгоритм настройки чизельных плугов на глубину обработки. Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1997. № 2. С. 22-24.
18. Старовойтова О. А. и др. Конкурентоспособные технологии семеноводства, производства и хранения картофеля. Москва: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2018. 236 с.

References

1. Dorokhov A. S. et al. Development of a conceptual technical and technological model of machine production of onions, carrots, table beets and potatoes. Agricultural engineering. 2023. V. 25. № 1. Pp. 4-10.
2. Smelik V. A., Smelik O. V., Troyanovskaya I. P. et al. Justification of the Parameters of the Press Roller of Haulm Harvester when Cultivation Potato. // Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B - Biological Sciences. – 2023. – P. 1-7. – DOI 10.1007/s40011-023-01521-z. – EDN AXSYKG.
3. Fedorenko V. F., Sibirev A. V. Modern Approaches to the Development of Resource-Efficient Technical Soil Treatment Systems in Vegetable Growing. Scientific and information support of innovative development of the agro-industrial complex. Moscow: Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Research on Engineering and Technical Support of the Agro-Industrial Complex, 2025. Pp. 149-156.
4. Amami R., Ibrahim K., Sher F. et al. Effects of conservation and standard tillage on soil physico-chemical properties and overall quality in a semi-arid agrosystem. Soil Research. 2021.
5. Estevam R. F. H., Peixoto D. S., Filho J. F. et al. Soil properties sensitive to degradation caused by increasing intensity of conventional tillage. Soil Research. 2021. No 59 (8). 819.
6. Kiryushin V. I. Problem of Minimizing Soil Cultivation: Development Prospects and Research Tasks. Agriculture. 2013. № 7. Pp. 3-6.
7. Lobachevsky Y. P., Starovoytov S. I. Theoretical and technological aspects of the work of the loosening working organ. Agricultural Machinery and Technologies. 2016. № 5. Pp. 17-23.
8. Medvedev V. V. Hardness of soil. Kharkov, 2009. 152 p.
9. Kalinin A. B., Teplinsky I. Z., Shpiganovich P. M. Methods and Means of Controlling Moisture Supply Regimes in the Technology of Cultivation of Original Potato Seeds under Global Climate Change. Agrarian Scientific Journal. 2023. № 4. Pp. 112-118.
10. Ivashova O. N. et al. Cultivation of Two Harvests of Early Varieties of Potatoes in the Conditions of the Moscow Region. Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 2021. 132 p.
11. Kalinin A. B., Teplinsky I. Z., Nemtsev I. S. Improvement of methods and technical means of water erosion control in potato cultivation on the profiled surface of the field. Tractors and agricultural machines. 2024. V. 91. № 6. Pp. 673-682.
12. Dydyshko P. I. Thermoelectric Phenomenon in Soils and Other Capillary Systems in Their Anisothermal State. Vestnik VNIIZhT. 1992. № 1. Pp. 12-17.
13. Kalinin A. B., et al. Reducing the Environmental Risks of the Use of Mobile Energy-Saturated Units in the Cultivation of Seed Potatoes, Taking into Account the Regularity of Heat and Moisture Transfer within the Root Layer of the Soil. Agrarian Scientific Journal. 2023. № 5. Pp. 132-139.
14. Davletshin M. M., Mudarisov S. G., et al. Chisel plows and subsoilers. Ufa, 2014. 152 p.
15. Kalinin A. B. et al. Selection and substantiation of cultivator adjustment parameters for differential soil treatment on potato based on the rheology state of soil horizons. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2019. Vol. 516. P. 012025.
16. Dyikanova M. E., et al. Effect of glauconite sands concentrate on potato productivity. Potatoes and vegetables. 2020. № 4. Pp. 33-36.
17. Teplinsky I. Z., Kalinin A. B. Algorithm for Tuning Chisel Ploughs to the Processing Depth. Tractors and agricultural machines. 1997. № 2. Pp. 22-24.
18. Starovoytova O. A. et al. Competitive Technologies of Seed Production, Production and Storage of Potatoes. Moscow: Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Research on Engineering Support of the Agro-Industrial Complex, 2018. 236 p.

Информация об авторах

Калинин Андрей Борисович, доктор технических наук, профессор кафедры, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 196601, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, 2А), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5004-9457>, e-mail: andrkalinin@yandex.ru

Смелик Виктор Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 196601, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, 2А), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5004-9457>, e-mail: smelik_va@mail.ru

Теплинский Игорь Зиновьевич, кандидат технических наук, профессор кафедры, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 196601, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, 2А), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5004-9457>, e-mail: teplinskij.igor.zinovevich@gmail.com

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

Ружьев Вячеслав Анатольевич, кандидат технических наук, заведующий кафедрой, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 196601, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, 2А), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3011-639X>, e-mail: ruzhev_va@mail.ru

Калинина Валентина Андреевна, преподаватель-исследователь, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 196601, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, 2А), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5496-5428>, e-mail: val.kalinina@gmail.com

Authors' Information

Kalinin Andrei Borisovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department, St. Petersburg State Agrarian University (Russian Federation, 196601, St. Petersburg, Pushkin, Peterburgskoe sh., 2A), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6301-5758>, e-mail: andrkalinin@yandex.ru

Smelik Viktor Aleksandrovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department, St. Petersburg State Agrarian University (Russian Federation, 196601, St. Petersburg, Pushkin, Peterburgskoe sh., 2A), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5004-9457>, e-mail: smelik_va@mail.ru

Teplinskij Igor Zinovevich, Candidate of Engineering Sciences, Professor of the Department, St. Petersburg State Agrarian University (Russian Federation, 196601, St. Petersburg, Pushkin, Peterburgskoe sh., 2A), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5004-9457>, e-mail: teplinskij.igor.zinovevich@gmail.com

Fomin Sergey Denisovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department, Head of the Center for Sciencemetric Analysis and International Indexing Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskij Avenue, 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

Ruzhev Vyacheslav Anatolievich, Candidate of Engineering Sciences, Chief of the Department, St. Petersburg State Agrarian University (Russian Federation, 196601, St. Petersburg, Pushkin, Peterburgskoe sh., 2A), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3011-639X>, e-mail: ruzhev_va@mail.ru

Kalinina Valentina Andreevna, Teacher-researcher, St. Petersburg State Agrarian University (Russian Federation, 196601, St. Petersburg, Pushkin, Peterburgskoe sh., 2A), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5496-5428>, e-mail: val.kalinina@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-53

THE MATHEMATICAL MODELING OF THE PATTERN OF CHANGES IN THE PARAMETERS OF POTATO CULTIVATION TECHNOLOGY WITH THE IRRIGATION USING MOISTURE SORBENTS

¹Tseplyaev A. N., ¹Novikov A. E., ¹Semenenko S. Y., ²Lebed N. I.

¹All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – branch of the "Federal Scientific Center named after A. N. Kostyakov"

²Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: semenenkosy.vniioz@yandex.ru

Received 24.10.2025

Submitted 02.12.2025

The materials of the article are presented on the results of the studies carried out in the implementation of the task on the topic FNFR-2025-004.

Abstract

Introduction. At present, the world's leading climate scientists are witnessing a significant increase in temperature on our planet. Over the past 100 years, on a global scale, it has increased by 0.74 °C, while in Russia, only over the past 10 years, there was a maximum increase – by 1.0 °C, which led to an increase in the frequency and period of droughts in summer, the formation of a low snow cover in winter. With the tightening of climatic factors, fresh water is becoming increasingly important for humanity. Agricultural production consumes about 70 % of the world's water intake, of which 2/3 is irrigated agriculture. Therefore, saving fresh water in this industry is a top priority. For scientists from reclamation science, the task is to create a design of new elements of irrigation technology, which, in combination with modern agricultural technologies, will ensure the most efficient use of irrigation water. Object of research. Water-saving technology for irrigation potato cultivation using hydro sorbents. **Materials and methods.** The study used the methods of field experiment, mathematical modeling and economic justification in determining the patterns of changes in the parameters of the technology for cultivating potatoes on irrigation when adding hydrogel. **Results and conclusions** Based on mathematical modeling, a nomogram was obtained in the form of experimental interdependent graphs, the use of which guarantees the reliable determination of the main parameters of the technology, including: hydrogel doses, potato yield, water consumption coefficient, production cost, as well as profit, based on the updated sales price. Thus, the agricultural producer has the opportunity to predict the economic indicators of the technology of cultivating potatoes on irrigation using hydraulic sorbents and, if necessary, promptly making a more effective management decision.

Keywords: potato cultivation technologies, potato irrigation, sorbents, copolymers, mathematical modeling.

Citation. Tseplyaev A. N., Novikov A. E., Semenenko S. Y., Lebed N. I. The mathematical modeling of the pattern of changes in the parameters of potato cultivation technology with the irrigation using moisture sorbents. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 485-194 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-53.

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

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

УДК 631.6+51-37

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ НА ОРОШЕНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЛАГОСОРБЕНТОВ

¹Цепляев А. Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

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

¹Семененко С. Я., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

²Лебедь Н. И., доктор технических наук

¹Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал
ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГим им. А. Н. Костякова»

²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Материалы статьи представлены по результатам исследований, проведенных при выполнении задания по теме FNFR-2025-004.

Актуальность. В настоящее время ведущими учеными-климатологами мира отмечается значительное повышение температуры на нашей планете. За последние 100 лет в мировом масштабе она увеличилась на 0,74 °С, при этом на территории России, только за последние 10 лет, наблюдалось максимальное увеличение – на 1,0 °С, что привело к возрастанию частоты и периода появления засух летом, формированию малоснежного покрова зимой. В условиях ужесточения климатических факторов все большее значение для человечества приобретает пресная вода. Сельскохозяйственное производство потребляет около 70 % мирового водозабора, из которых 2/3 приходится на орошаемое земледелие. Поэтому, экономия пресной воды в этой отрасли является первоочередной задачей. Для учёных от мелиоративной науки стоит задача создания конструкции новых элементов техники полива, которые, в сочетании с современными агротехнологиями, обеспечат максимально эффективное использование оросительной воды. **Объект исследования.** Водосберегающая технология возделывания картофеля на орошении с использованием гидросорбентов. **Материалы и методы.** В исследовании применялись методы полевого эксперимента, математического моделирования и экономического обоснования при определении закономерностей изменения параметров технологии возделывания картофеля на орошении при внесении гидрогеля. **Результаты и обсуждение.** На основе математического моделирования получена номограмма в виде экспериментальных взаимозависимых графиков, использование которых гарантирует достоверное нахождение основных параметров технологии, включая: дозы гидрогеля, урожайность картофеля, коэффициент водопотребления, себестоимость продукции, а также прибыль, исходя из актуализированной цены реализации. Таким образом, сельхозпроизводитель имеет возможность прогнозирования экономических показателей технологии возделывания картофеля на орошении с использованием гидросорбентов и, в случае необходимости, оперативного принятия более эффективного управленческого решения.

Ключевые слова: технологии возделывания картофеля, орошение картофеля, сорбенты, сополимеры, математическое моделирование.

Цитирование. Цепляев А. Н., Новиков А. Е., Семененко С. Я., Лебедь Н. И. Математическое моделирование закономерности изменения параметров технологии возделывания картофеля на орошении с использованием влагосорбентов. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 485-494. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-53.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Возделывание сельскохозяйственных культур на орошении связано с существенными затратами, в первую очередь, за счет подачи оросительной воды, которые могут достигать до 17 % от всех затрат на технологию получения продукции. На эти показатели основное влияние оказывают: возделываемая культура, тип почвы, источники воды, способы орошения и другие факторы. Указанные затраты вполне оправданы количеством и качеством получаемой продукции, которая многократно превышает показатели по тем же культурам, выращенным в богарных условиях. Что касается засушливых зон Нижнего Поволжья, характеризующихся почвами с низким содержанием гумуса (1,2...1,8), а также ма-

лым количеством осадков (220...280 мм в год), то получение урожаев в указанных условиях без орошения практически невозможно [1]. Известно, что по затратам оросительной воды на единицу полученной продукции наименьший показатель отмечается на капельном орошении. Он в 5,0...8,0 раз ниже, чем при орошении дождеванием [2]. Однако затраты на монтаж и эксплуатацию капельных систем значительно (в 3,8 раза) превышают использование дождевальной техники и кроме этого, характеризуются сезонностью применения всей системы, сложностью выполнения отдельных операций.

Основным способом орошения, при выращивании сельскохозяйственных культур на больших площадях, остается дождевание. Однако при таком способе орошения тяжёлоуглинистых светло-каштановых почв, в зависимости величины градуированности поверхности поля, размера поливной нормы, интенсивности дождя, наблюдается явление образования поверхностного стока, что приводит к водной эрозии, сопровождающейся перемещением ее частиц в сторону уклона рельефа поля.

Для подобного типа почв, отличающихся высокой плотностью, сток воды может формироваться раньше, чем произойдет полное промачивание почвенного горизонта, особенно при больших нормах полива. Поэтому, для повышения эффективности использования оросительной воды используют прецизионные технологии орошения, суть которых заключается в сочетании способов и технике поливов, использовании приёмов точного внесения минеральных и органических удобрений, регулировании, в режиме реального времени, степени увлажнения почвы с помощью датчиков влажности, применением почвенных мелиорантов и др. [3].

Для снижения негативного воздействия поверхностного стока оросительной воды на почву нами предлагается использовать гидросорбенты (гидрогели), способные накапливать влагу при ее избытке, а затем, по мере использования её растениями, передавать через их корневую систему, увеличивая тем самым период между поливами.

Опыты по изучению влияния гидросорбентов на почву, растения, урожайность культур проводились многими исследователями, в основном на богаре [4, 5, 6]. В качестве культур изучались: озимая пшеница, картофель, овощные и другие культуры [7, 8, 9].

Результатами этих исследований установлено: увеличение периода поддержания почвенной влаги в богарных условиях до 12...14 суток при засухе; повышение урожайности, в зависимости от культуры, от 13,8 % до 29,8 %; формирование более дружных всходов [7,8]. Следует также отметить улучшение структурности почвы, поскольку, судя по коэффициенту структурности, при использовании гидрогеля он возрастает с 1,90 на контроле до 2,95 в опытах [10, 11].

Гидрогели, полученные искусственным путем, характеризуются способностью к накоплению влаги и ее удержанию, при этом их способность к абсорбированию остаётся практически неизменной в течение периода влагонакопления и может достигать значения 1:1000, т.е. в 1 г вещества накапливается до 1 литра воды. Для сельскохозяйственных культур наиболее приемлемы сополимеры с абсорбционной способностью от 1:150 до 1:350 [12, 13, 14].

Материалы и методы. Нами проведены опыты с применением гидрогелей «Аква-син» и «Аква-сorb», насыщенных удобрениями, при возделывании картофеля сорта «Гулливер» на орошении дождеванием [15].

Опыты закладывались на территории землепользования Всероссийского НИИ орошаемого земледелия в течение 3 лет на участке общей площадью 0,07 га, учетной 0,05 га. Поливная норма составляла 300 м³/га, дозы гидрогеля от 100 до 250 кг/га. Внесение гидрогеля проводили локально, специально изготовленной и запатентованной машиной, от 7,4 г до 18,2 г на 1 погонный метр, при этом вместе с гидрогелем, также локально, в ту же бороздку, подавали удобрение «нитроаммофоска» с расходом 33,7 г./п.м.

Особенность гидрогеля заключается в том, что его показатели абсорбции рассчитываются по применению дистиллированной воды. Однако, вода для орошения из поверхностного источника имеет минерализацию и, чем она выше, тем меньше абсорбируется сополимером. Поэтому в расчеты доз гидрогеля введен коэффициент абсорбции « k », равный отношению объема абсорбции дистиллированной воды на 1 гр гидрогеля к объему абсорбции орошаемой воды. Его значение получено экспериментальным путём. Для гидрогеля «Аква-син» $k=1,53$, «Аква-сorb» $k_2=1,18$, т.е. на оси ординат (дозы гидрогеля) расчет проведен с учетом указанных значений.

Полученные графические зависимости после математической обработки были представлены аппроксимирующими функциями. Исследование производилось в ПО «Microsoft Excel», решение уравнений на их основе осуществлялось в облачной среде вычислений. Полученные алгоритмы внедрялись в специализированное приложение для автоматизированного расчета продуктивных показателей при возделывании сельскохозяйственных культур на орошении с использованием гидросорбентов, построенное на языке Object Pascal в среде визуального программирования Lazarus.

Результаты и их обсуждение. Результатами полевых исследований установлено, что экономия оросительной воды на данной технологии составила до 900 м³/га за сезон, урожайность картофеля возросла на 39,9 %, товарный выход увеличился на 49,8 %, при этом, за счет внесения обогащенного удобрениями гидрогеля в активный слой почвы, содержание основных питательных элементов возросло в среднем в 2,1...3,0 раза по сравнению с контролем.

Полученные в полевом опыте за трехлетний период зависимости урожайности от влажности почвы, доз минеральных удобрений, способа внесения гидрогеля и его объема, представлены математической моделью в виде номограммы, каждый график которой описан математическим уравнением регрессии.

На рисунке 1 представлена экспериментальная номограмма расчета продуктивных показателей при возделывании сельскохозяйственных культур на орошении с использованием гидросорбентов, насыщенных удобрениями. Номограмма построена из четырех точечных диаграмм с прямыми отрезками и маркерами, представляющими собой варианты полевых опытов возделывания картофеля с использованием гидросорбентов: «Аквасин» (цвет кривой графика – оранжевый), «Аквасорб» (синий), а также их комбинированного воздействия вместе с комплексным минеральным удобрением: «Аквасин»+NPK (зеленый), «Аквасорб»+NPK (желтый). Кроме этого, 4-я группа диаграмм добавляет еще варианты цены реализации продукции.

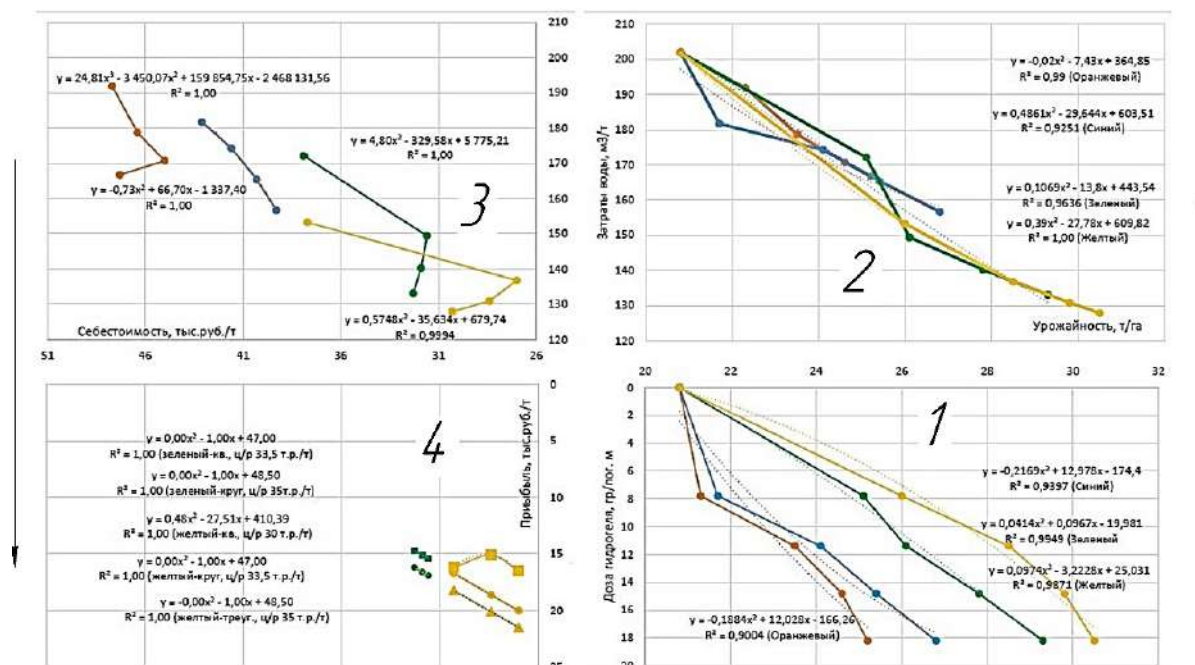


Рисунок 1 – Номограмма расчета продуктивных показателей при возделывании сельскохозяйственных культур на орошении с использованием гидросорбентов, насыщенных удобрениями
Figure 1 – Nomogram of calculation of productive indicators when cultivating crops on irrigation using hydro sorbents saturated with fertilizers

Номограмма включает следующие группы графиков зависимости: 1 – урожайности (т/га) от дозы гидросорбента (г/п.м) с учетом коэффициента абсорбции k ; 2 – урожайности от затрат поливной воды (м³/т); 3 – себестоимости (тыс. руб./т) продукции от затрат по-

ливной воды; 4 – прибыли (тыс. руб./т) от себестоимости продукции и цены реализации. Методика использования диаграммы для последующего ее геометрического использования при расчете продуктивных показателей предусматривает следующие этапы:

- 1) выбор варианта полевого опыта;
- 2) выбор дозы гидросорбента (гидрогеля);
- 3) начало геометрического расчета проводится от 1-й группы диаграмм, осуществляется проведение линии от оси y параллельно оси x до пересечения с кривого графика выбранного варианта полевого опыта с фиксацией искомой урожайности;
- 4) далее проводятся линии, параллельно оси y 2-й группы графиков, исходя из значения урожайности (на оси x) и вариантов полевого опыта, для определения затрат поливной воды;
- 5) расчет себестоимости продукции и прибыли для 3 и 4-й группы графиков выполняются аналогичным путем.

Таким образом, зная дозу применяемого гидросорбента и наличие комплексного минерального удобрения, геометрическим путем, при использовании предлагаемой номограммы, определены продуктивные и экономические показатели при выращивании картофеля на орошении.

Расчет проводили следующим образом. Согласно экспериментальным данным зависимости урожайности (т/га) от дозы гидрогеля (гр./пог.м) построили фактический график, а также дополнительно аппроксимирующей функции для составления закономерности наблюдаемых изменений (рисунок 1). Для использования полученных графических данных при расчете продуктивных показателей от возделывания сельскохозяйственных культур на орошении с использованием гидросорбентов, необходимо изначально использовать ось y – как значение известного диапазона, в примере $0 \dots 18,2$ гр./пог.м, с учетом коэффициента абсорбции, а ось x в представленном случае является пределом значений урожайности культур (т/га) и корнем уравнения, которое следует найти. Однако, при численном способе решения и дальнейшей алгоритмизации автоматизированных вычислений посредством ЭВМ, имеет место задача, условия которой определены при проведении аппроксимации экспериментальных значений с получением графика квадратичной функции:

$$y = ax^2 + bx + c, \quad (1)$$

при этом решение задачи состоит в нахождении выражений:

$$x_1 = \frac{-b+\sqrt{D}}{2a}, \quad x_2 = \frac{-b-\sqrt{D}}{2a}, \quad (2)$$

являющимися корнями уравнения.

По итогу, после проведения анализа и выбора наиболее достоверной функции, описывающей экспериментальные зависимости, получим следующее уравнение:

$$y = -0,1884x^2 + 12,028x - 166,26, \text{ при } R^2 = 0,9004. \quad (3)$$

Выбор полиномиальной функции 2-й степени обусловлен компромиссом между высоким коэффициентом детерминации и реализацией решения в терминах известных функций.

По результату имеем полное квадратное уравнение, решаемое традиционным численным путем.

Переносим y в левую часть уравнения:

$$-0,1884x^2 + 12,028x - 166,26 = y \quad (4)$$

Упрощаем полученное уравнение:

$$-0,1884x^2 + 12,028x - 166,26 - y = 0 \quad (5)$$

Вычисляем дискриминант квадратного уравнения:

$$D = b^2 - 4ac = 12,028^2 - 4 \cdot 0,1884 \cdot (-166,26 - y) = 19,379248 - 0,7536y. \quad (6)$$

Так как диапазон значений y известен ($0 \dots 18,2$), вычисляем $D = (19,379248 \dots 5,663728)$.

Поскольку $D > 0$, уравнение (3) имеет два различных действительных корня:

$$x_1 = \frac{-b+\sqrt{D}}{2a} = \frac{-12,028+\sqrt{19,379248-0,7536y}}{0,3768} = \frac{12,028-(19,379248-0,7536y)^{0,5}}{0,3768}, \quad (7)$$

$$x_2 = \frac{-b-\sqrt{D}}{2a} = \frac{-12,028-\sqrt{19,379248-0,7536y}}{0,3768} = \frac{12,028+(19,379248-0,7536y)^{0,5}}{0,3768}. \quad (8)$$

Из двух корней при алгоритмизации вычислений подставим значение координаты «у» точки (25,2; 18,2) с графика аппроксимирующей функции (1). Истинное решение в данном исследовании представляет собой корень уравнения, удовлетворяющий условию высокой достоверности результатов математического моделирования или сходимости экспериментальных и расчетных зависимостей.

Получим $x_1 = 25,6$; $x_2 = 38,2$. Согласно геометрическим параметрам номограммы и графику функции величина «х» составляет 25,2, что позволяет сделать выбор в пользу выражения « x_1 » в качестве действительного корня уравнения, а также использования его в алгоритмизации автоматизированных вычислений при встраивании в программный код специализированного приложения для ЭВМ.

Проведем аналогичные действия для остальных экспериментальных зависимостей вариантов опыта (в соответствии с цветами графиков: зеленый, синий, желтый), получим аппроксимирующие уравнения для математических моделей и численного решения, коэффициенты детерминации, а также истинные корни уравнений (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты математического описания и моделирования экспериментальных зависимостей для 1-й группы диаграмм

Table 1 – Results of mathematical description and simulation of experimental dependencies for the 1st group of diagrams

Вариант полевого опыта (цвет кривой графика) / Field experience option (graph curve color)	Уравнение / The equation	Коэффициент детерминации / Coefficient of determination	Решение (корень уравнения) / Solution (root of the equation)
Аквасин (оранжевый) / Aquasin (orange)	$y = -0,1884x^2 + 12,028x - 166,26$	0,9004	$x = \frac{12,028 - (19,379248 - 0,7536y)^{0,5}}{0,3768}$
Аквасорб (синий) / Aquasorb (blue)	$y = -0,2169x^2 - 12,978x - 174,4$	0,9397	$x = \frac{12,978 - (17,119044 - 0,8676y)^{0,5}}{0,4338}$
Аквасин+NPK (зеленый) / Aquasin+NPK (Green)	$y = 0,0414x^2 + 0,0967x - 19,981$	0,9949	$x = \frac{2500 \sqrt{\frac{207y}{1250} + 3,31820449 + 8057}}{207} - 1,17$
Аквасорб+NPK (желтый) / Aquasorb+NPK (yellow)	$y = 0,0974x^2 - 3,2228x + 25,031$	0,9871	$x = \frac{2500 \sqrt{\frac{487y}{1250} + 0,63436224}}{487} + 8057$

Таким же образом получим корни уравнений и истинные действительные варианты функциональных зависимостей для 3-й группы графиков по всем вариантам полевых опытов, где необходимо учитывать ось у – значения известного диапазона, а ось х – корни исходных уравнений. Результаты исследований и расчетов сведены в таблицу 2.

Полученные корни уравнений для 1 и 3-й, а также аппроксимирующие функции 2 и 4-й групп графиков использовались при разработке программного кода приложения. Специализированные приложения (рисунку 2) позволяет произвести расчет ряда продуктивных показателей при возделывании картофеля на орошении с использованием гидросорбентов, опираясь на исходные данные: дозу, с учетом коэффициента абсорбции и вид гидросорбентов, а также обеспечивают возможность графической визуализации и экспорт полученных результатов.

Таблица 2 – Результаты математических интерпретаций и моделирования экспериментальных зависимостей для 3-й группы графиков
Table 2 – Results of mathematical interpretations and modeling of experimental dependencies for the 3rd group of graphs

Вариант полевого опыта (цвет кривой графика) / Field experience option (graph curve color)	Уравнение / The equation	Коэффициент детерминации / Coefficient of determination	Решение (корень уравнения) / Solution (root of the equation)
«Аквасин» (оранжевый) / "Aquasin" (orange)	$y = 3,36x^2 - 307,18x - 7183,96$	0,29	$x = \frac{\sqrt{\frac{25y}{21} + 8918}}{2}$
«Аквасорб» (синий) / "Aquasorb" (blue)	$y = -0,73x^2 + 66,70x - 1337,4$	1	$x = \frac{-50 \cdot \sqrt{-\frac{73y}{25} + 543,682} + 3335}{73}$
«Аквасин»+ NPK (зеленый) / "Aquasin"+ NPK (green)	$y = 4,8x^2 - 329,58x - 5775,21$	1	$x = \frac{-5 \cdot \sqrt{\frac{96y}{5} - 2261,0556} + 34,33125}{48}$
«Аквасорб»+NPK (желтый) / «Aquasorb»+NPK (yellow)	$y = 0,57x^2 - 35,63x + 679,74$	1	$x = -\frac{50 \cdot \sqrt{\frac{57y}{25} - 280,3103}}{57} + 31,25$

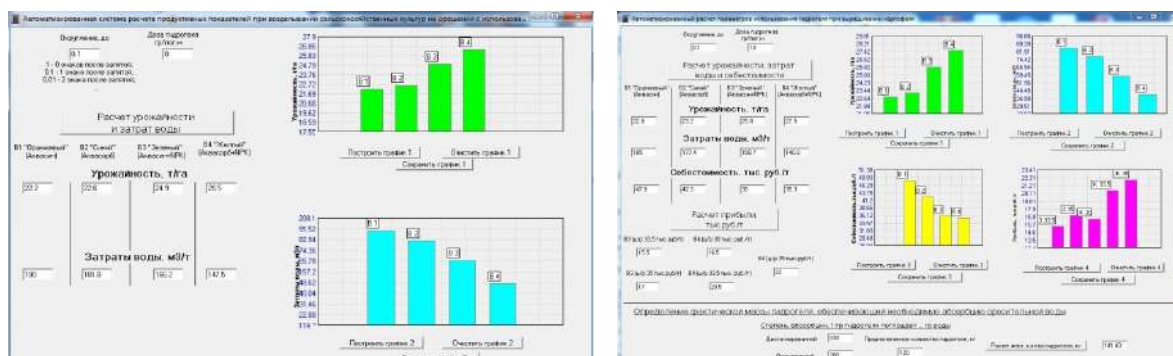


Рисунок 2 – Интерфейс специализированного приложения «Автоматизированная система расчета продуктивных показателей при возделывании сельскохозяйственных культур на орошении с использованием гидросорбентов»

Figure 2 – Interface of the specialized application "Automated system for calculating productive indicators when cultivating crops on irrigation using hydraulic sorbents"

В процессе проведения исследований разработан Комплекс (система) информационных ресурсов для обеспечения технологий прецизионного орошаемого земледелия с использованием водоудерживающих сорбентов. Комплекс содержит автоматизированную систему расчета продуктивных показателей и интеллектуальную систему прогнозного вычисления экономической эффективности возделывания картофеля на орошении с использованием гидрофильных акрилатных гелей, точное внесение которых позволяет повысить эффективность использования оросительной воды в 1,6 раза (Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ 2025664327 от 03.06.2025 г., 2025615295 от 03.03.2025 г.). Программы предназначены для расчета и графической визуализации результатов экспериментальных исследований по определению продуктивности и экономической эффективности производства сельскохозяйственных культур на орошении с использованием гидросорбентов. Функции программ: ввод начальных условий (доза и вид гидросорбентов и применяемых удобрений); степень абсорбции гидросорбента на дистиллированной и оросительной воде, а также его предполагаемого количества использования); расчет планируемой урожайности и затрат воды при возделывании сельскохозяйственных культур на орошении; определе-

ние себестоимости продукции и прибыли с учетом цены реализации; расчет фактической массы гидросорбента, обеспечивающего необходимую абсорбцию оросительной воды; визуализация прогнозируемых экономико-продуктивных показателей в виде диаграмм и экспорт полученных результатов в растровом графическом формате.

Показатели технологического процесса выращивания картофеля, выраженные через номограммы с взаимосвязанными графиками аппроксимированных уравнений зависимостей урожайности от доз гелей, удобрений, затрат оросительной воды и себестоимости, позволяют прогнозировать прибыль и обеспечивают сельхозпроизводителей возможностью вариативного принятия технологических и управленческих решений.

Выводы. Экспериментальная номограмма расчета продуктивных показателей получена на основе графиков, представляющих собой варианты полевых опытов возделывания картофеля с использованием гидросорбентов: «Аквазин» и «Аквасорб», а также их комбинированного воздействия вместе с комплексным минеральным удобрением: «Аквазин»+NPK, «Аквасорб»+NPK. Исходя из доз гидросорбента и его вида, а также наличия комплексного минерального удобрения, геометрическим путем также возможно определение продуктивных и экономических показателей. Для численного способа решения и дальнейшей алгоритмизации автоматизированных вычислений посредством ЭВМ предложена и решена задача, условия которой определены при проведении аппроксимации экспериментальных значений с получением квадратичных уравнений. Истинным решением стали корни уравнений, удовлетворяющие условию высокой достоверности результатов математического моделирования или сходимости экспериментальных и расчетных зависимостей. Полученные корни уравнений, а также аппроксимирующие функции были использованы при разработке программного кода приложения. Специализированное приложение использовано при расчете ряда продуктивных показателей возделывания картофеля на орошении с внесением в почву гидросорбентов. Кроме этого, опираясь на исходные данные: дозу и вид гидросорбентов, получена возможность графической визуализации показателей оценки технологии возделывания картофеля на орошении с применением гидросорбентов.

Conclusions. An experimental nomogram of the calculation of productive indicators was obtained on the basis of graphs representing options for field experiments in potato cultivation using hydro sorbents: Aquasin and Aquasorb, as well as their combined effect together with complex mineral fertilizer: Aquasin+NPK, Aquasorb+NPK. Based on the doses of hydro sorbent and its type, as well as the presence of complex mineral fertilizer, it is also possible to determine productive and economic indicators geometrically. For the numerical method of solving and further algorithmization of automated calculations by means of a computer, a problem is proposed and solved, the conditions of which are determined during approximation of experimental values to obtain quadratic equations. The true solution was the roots of the equations that satisfy the condition of high reliability of the results of mathematical modeling or the convergence of experimental and calculated dependencies. The obtained roots of the equations, as well as approximating functions, were used in the development of the application program code. A specialized application was used to calculate a number of productive indicators of potato cultivation on irrigation with the introduction of hydraulic sorbents into the soil. In addition, based on the initial data: the dose and the type of hydraulic sorbents, it was possible to graphically visualize the indicators for assessing the technology of cultivating potatoes on irrigation using hydraulic sorbents.

Библиографический список

1. 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. 01. 2018.
2. Овчинников А. С., Ахмедов А. Д., Липский Д. Д., Бабаев Д. Э. Обоснование основных показателей надежности и безотказности работ систем капельного полива при эксплуатации. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 1. С. 263-271.
3. Новиков А. Е., Дранников А. В. Прецизионные технологии орошения в повышении устойчивости земледелия к природным изменениям. Орошаемое земледелие. 2024. № 4. С. 45-50.
4. Агафонов О. М., Ревенко В. Ю. Возможности полимерного гидрогеля как накопителя почвенной влаги в зоне неустойчивого увлажнения Краснодарского края. Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2017. № 10. С. 35-38.
5. Wang L., Schjoerring K. J. Seasonal variation in nitrogen pools and $^{15}\text{N}/^{13}\text{C}$ natural abundances in different tissues of grassland plants. Biogeosciences. 2012. Vol. 9. Pp. 1583-1595.
6. Мещеряков М. П., Хавронина В. Н., Мещерякова Е. Г. Эффективность природных мелиорантов в сорбционных технологиях очистки. Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: сборник IX Всероссийской (национальной) научной конференции с международным участием. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2024. С. 1876-1878.

7. Годунова Е. И., Гундырин В. Н. Роль гидрогеля в улучшении влагообеспеченности озимой пшеницы по полупару в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края. Достижение науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 5. С. 57-59.
8. Старовойтов В. И., Старовойтова О. А., Манохина А. А. Возделывание картофеля с использованием водосберегающих полимеров. Вестник ФГБОУ ВПО «МГАУ им. В. П. Горячкина». 2015. № 1 (65). С. 15-19.
9. Чавдарь Н. С., Зеленичкин В. Г. Влияния гидрогеля на всхожесть и урожайность некоторых овощных культур и лекарственного растения расторопши пятнистой в условиях Приднестровья. Вестник Приднестровского университета. Серия: Медико-биологические и химические науки. 2014. № 2 (47). С. 156-163.
10. 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. № 2. www.science-sd.com/455-24275
11. Годунова Е. И., Шкабарда С. Н. Гидрогель и структурный состав обыкновенных черноземов зоны неустойчивого увлажнения Ставропольского края. Плодородие. 2018. № 3 (102). С. 31-33.
12. Шеркузиев Д. Ш., Арипов Х. Ш. Технология получения новых гидрогелей комплексного действия для сельского хозяйства. Промышленные биотехнологии. 2020. № 4 (73).
13. Данилова Т. Н., Аннабаева А. В. Возможности применения полимерных гелей для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур. Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития: материалы Международной научно экологической конференции. Краснодар, 2020. С. 540-542.
14. Годунова Е. И., Шкабарда С. Н. Эффективность гидрогеля на пятый год после внесения на обыкновенных черноземах в условиях Ставрополя. Агрохимический вестник. 2018. № 3. С. 8-11.
15. Новиков А. Е., Цепляев В. А., Семенов С. Я., Цепляев А. Н. Ресурсосберегающая технология возделывания картофеля с применением современных мелиоратор. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 1. С. 13-21.

References

1. 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. 01. 2018.
2. Ovchinnikov A. S., Akhmedov A. D., Lipsky D. D., Babaev D. E. Justification of the main indicators of reliability and reliability of drip irrigation systems during operation. Proceedings of the Nizhnevolzhsky agro-university complex: Science and higher professional education. 2024. №1. Pp. 263-271.
3. Novikov A. E., Drannikov A. V. Precision irrigation technologies in increasing the resistance of agriculture to natural changes. Irrigated agriculture. 2024. №4. Pp. 45-50.
4. Agafonov O. M., Revenko V. Yu. Possibilities of polymer hydrogel as a reservoir of soil moisture in the zone of unstable moisture in the Krasnodar region. International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2017. №10. Pp. 35-38.
5. Wang L., Schjoerring K. J. Seasonal variation in nitrogen pools and ¹⁵N/¹³C natural abundances in different tissues of grassland plants. Biogeosciences. 2012. Vol. 9. Pp. 1583-1595.
6. Meshcheryakov M. P., Khavronina V. N., Meshcheryakova E. G. Efficiency of natural meliorants in sorption cleaning technologies. The role of agrarian science in the sustainable development of rural areas: Collection of the IX All-Russian (national) scientific conference with international participation. Novosibirsk: "Golden Ear," 2024. Pp. 1876-1878.
7. Godunova E. I., Gundyryin V. N. The role of hydrogel in improving the moisture supply of winter wheat by half steam in the zone of unstable moisture in the Stavropol region. Achievement of science and technology of the agro-industrial complex. 2015. V. 29. № 5. Pp. 57-59.
8. Starovoitov V. I., Starovoitova O. A., Manokhina A. A. Cultivation of potatoes using water-saving polymers. Bulletin of the MSAU named after V. P. Goryachkin. 2015. № 1 (65). Pp. 15-19.
9. Chavdar N. S., Zelenichkin V. G. The influence of hydrogel on the germination and yield of some vegetable crops and the medicinal plant of milk thistle in Transnistria. Bulletin of the Transnistrian University. Series: Biomedical and Chemical Sciences. 2014. № 2 (47). Pp. 156-163.
10. 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
11. Godunova E. I., Shkabard S. N. Hydrogel and structural composition of ordinary chernozems of the unstable moisture zone of the Stavropol region. Fertility. 2018. № 3 (102). Pp. 31-33.
12. Sherkuziev D. Sh., Aripov H. Sh. Technology for the production of new hydrogels of complex action for agriculture. Industrial Biotechnologies. 2020. № 4 (73).
13. Danilova T. N., Annabaeva A. V. Possibilities of using polymer gels to increase the productivity of crops. Agrarian landscapes, their stability and features of development: materials of the International Scientific Ecological Conference. Krasnodar, 2020. Pp. 540-542.
14. Godunova E. I., Shkabarda S. N. The effectiveness of the hydrogel for the fifth year after application on ordinary chernozems in the Stavropol region. Agrochemical Bulletin. 2018. № 3. Pp. 8-11.
15. Novikov A. E., Tseplyaev V. A., Semenenko S. Ya., Tseplyaev A. N. Resource-saving technology for cultivating potatoes using modern land reclamation. Proceedings of the Nizhnevolzhsky agro-university complex: Science and higher professional education. 2024. № 1. Pp. 13-21.

Информация об авторах

Цепляев Алексей Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. им. Тимирязева, 9), e-mail: can_volgau@mail.ru

Новиков Андрей Евгеньевич, доктор технических наук, член-корреспондент РАН, директор, 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/0000-0002-8051-4786>, e-mail: ae_novikov@mail.ru

Семененко Сергей Яковлевич, главный научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, 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 ID: 0000-0001-5992-8127, e-mail: semenenkoy.vniioz@yandex.ru

Лебедь Никита Игоревич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, 26), e-mail: nik8872@yandex.ru

Authors' Information

Tseplyaev Aleksey Nikolaevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Leading Researcher, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev St., 9), orcid.org/0000-0003-1454-5784, e-mail: can_volgau@mail.ru

Novikov Andrey Evgenyevich, Doctor of Engineering Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev str., 9), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8051-4786, e-mail: ae_novikov@mail.ru

Semenenko Sergey Yakovlevich, Chief Scientific Officer, Doctor of Agricultural Sciences, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev str., 9), ORCID ID: 0000-0001-5992-8127, e-mail: semenenkoy.vniioz@yandex.ru

Lebed Nikita Igorevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: nik8872@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-54

THE DEVELOPMENT OF A MULTIFUNCTIONAL LABORATORY PNEUMATIC SEED CLASSIFIER

¹Dondokov Y. Z., ¹Drincha V. M., ²Borisenko I. B., ²Fomin S. D., ¹Kharlamov A. M., ¹Tarasov I. M.

¹Arctic State Agrotechnological University
Yakutsk, Russian Federation

²Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: borisenivan@yandex.ru

Received 27.08.2025

Submitted 31.10.2025

Summary

The results of experimental studies of the laboratory pneumatic separators for main agricultural seeds are presented.

Abstract

Introduction. In recent years, low profitability and high competition in both domestic and international grain production have led to a growing need for knowledge-intensive and cost-effective technological processes. Post-harvest grain processing and seed preparation are among the weak links that reduce the overall efficiency of grain production. Monitoring and optimal selection of parameters and operating modes for grain and seed cleaning machines is a significant resource for improving the quality of grain processing and seed preparation. However, specialized laboratory pneumatic separators, essential for effective post-harvest grain processing and seed preparation, are rarely used in modern grain production and, most importantly, seed production. **The purpose of the article** is the development of a universal laboratory pneumatic classifier of seeds and a comparative analysis of laboratory pneumatic grain separators. **Materials and methods.** The presented results summarize the authors' long-term experimental research into the development of laboratory and low-productivity machines for grain processing and seed preparation. Airflow velocity in the pneumatic duct of the developed pneumatic classifier was measured using a modern Testo 405 v1 hot-wire anemometer. Seed sorting quality was assessed based on the enrichment of the heavy fraction yield, characterized by a separation efficiency criterion using a special formula. Comparative studies of laboratory pneumatic separators were conducted using standard and specially developed methods. **Results and discussion.** The developed classification of laboratory pneumatic seed separators allowed us to group and determine the design and technological characteristics of the applied laboratory pneumatic seed separators. A comparative analysis of laboratory pneumatic separators showed that separators with batch and continuous loading are most widely used in seed laboratories. It was revealed that for cleaning and sorting seed samples of primary grain crops weighing 20-30 kg and more in pneumatic separators, pneumatic classifiers with a capacity of up to 500 kg/h are required. The universal laboratory pneumatic seed classifier "AGATU" with continuous action and a capacity of up to 400 kg/h for wheat seeds (based on the optimal grain load in the channel of 2.5 kg/h s²) was developed at the Department of Technological Systems of the AIC (Arctic State Agricultural Technical University). The separator is equipped with a vertical pneumatic separation channel with a rectangular cross-section (80 x 200 mm) and a total length of 1130 mm. The channel's upper height is 850 mm, while the lower height is 280 mm. The pneumatic classifier is also equipped with a frequency controller for the centrifugal fan drive, mounted above the settling chamber. The separator has undergone extensive testing on seeds of major grain crops, grass seeds, and forest crops in the Sakha Republic (Yakutia). This laboratory pneumatic seed classifier can be used in laboratories at research institutions and universities, in breeding and seed production, and on specialized grain farms.

Keywords: seed separation, pneumatic seed classification, discharge airflow, suction airflow, airflow velocity, pneumatic channel, separation efficiency.

Citation. Dondokov Y. Z., Drincha V. M., Borisenko I. B., Fomin S. D., Kharlamov A. M., Tarasov I. M. The development of a multifunctional laboratory pneumatic seed classifier. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 494-504 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-54.

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 631.53

РАЗРАБОТКА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО ПНЕВМОКЛАССИФИКАТОРА СЕМЯН

¹Дондоков Ю. Ж., кандидат технических наук, доцент

¹Дринча В. М., доктор технических наук, профессор

²Борисенко И. Б., доктор технических наук, профессор

²Фомин С. Д., доктор технических наук, доцент

¹Харламов А. М., магистрант

¹Тарасов И. М., аспирант

¹ФГБОУ ВО Арктический государственный агротехнологический университет

г. Якутск, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. В последние годы вследствие низкой рентабельности и высокой конкурентности как в отечественном, так и в зарубежном зернопроизводстве растет потребность в наукоемких и экономически высокоэффективных технологических процессах. Послеуборочная обработка зерна и подготовки семян одно из слабых звеньев, снижающих эффективность зернопроизводства в целом. Контроль и оптимальный выбор параметров и режимов работы зерно-семяочистительных машин является существенным резервом повышения качества обработки зерна и подготовки семян. Однако в современном зернопроизводстве и главное в семеноводстве практически не применяются специальные лабораторные пневмосепараторы, без которых невозможно эффективно выполнять послеуборочную обработку зерна и подготовку семян. **Целью статьи** является разработка универсального лабораторного пневмокласификатора семян и проведение сравнительного анализа лабораторных пневмосепараторов зерна. **Материалы и методы.** Представленные результаты являются обобщением многолетних экспериментальных исследований авторов статьи, посвященных исследованию и разработке лабораторных и малопроизводительных машин для обработки зерна и подготовки семян. Скорость воздушного потока в пневмоканале разработанного пневмокласификатора измеряли при помощи современного термоанемометра Testo 405 v1. Качество сортирования семян оценивали по степени обогащения выхода тяжелой фракции, характеризующейся критерием эффективности разделения по специальной формуле. Сравнительные исследования лабораторных пневмосепараторов проводили с применением стандартных и специально разработанных методик. **Результаты и обсуждения.** Разработанная классификация лабораторных пневмосепараторов семян позволила сгруппировать и определить конструктивно-технологические характеристики, применяемых лабораторных пневмосепараторов семян. Сравнительный анализ лабораторных пневмосепараторов показал, что наиболее широкое распространение в семенных лабораториях получили сепараторы с порционной и непрерывной загрузкой. Выявлено, что для очистки и сортировки в пневматических сепараторах образцов семян основных зерновых культур массой 20-30 кг и более необходимы пневмокласификаторы производительностью до 500 кг/ч. Разработанный на кафедре «Технологические системы АПК» (ФГБОУ ВО Арктический ГАУ) универсальный лабораторный пневмокласификатор семян «АГАТУ» непрерывного действия и производительностью на семенах пшеницы до 400 кг/ч (из расчета оптимальной зерновой нагрузки в канале $2,5 \text{ кг/ч}\cdot\text{с}^2$). Сепаратор оснащен вертикальным пневмосепарационным каналом прямоугольного сечения (80x200 мм), общей длиной 1130 мм. Высота канала верхней части – 850 мм, а нижней части – 280 мм. При этом пневмокласификатор оснащен частотным регулятором привода центробежного вентилятора, установленного над осадочной камерой. Сепаратор прошел обширные испытания на семенах основных зерновых культур, семян трав и лесных культур в условиях Республики Саха (РС(Я)). Разработанный лабораторный пневматический классификатор семян может быть применен в лабораториях научно-исследовательских учреждений и вузов, в селекции и семеноводстве, а также в специализированных зерновых хозяйствах.

Ключевые слова: сепарация семян, пневмокласификация семян, нагнетающий воздушный поток, всасывающий воздушный поток, скорость воздушного потока, пневмоканал, эффективность сепарации.

Цитирование. Дондоков Ю. Ж., Дринча В. М., Борисенко И. Б., Фомин С. Д., Харламов А. М., Тарасов И. М. Разработка многофункционального лабораторного пневмокласификатора семян. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 494-504. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-54.

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. Семенная индустрия является основой зернопроизводства, а также определяющим фактором технологической и экономической эффективности сельского хозяйства в целом. Ее развитие основывается на обширных знаниях о биологических, физиологических и физических свойствах семян с.-х. культур, цветочных и лекарственных растений, садовых насаждений и семян лесных культур, а также на знаниях, применяемых при разработке машинных систем послеуборочной обработки и обращения с семенами на всех этапах их производства [4, 11].

На протяжении последнего столетия потребность в лабораторных сепараторах увеличивалась как в отечественном, так и в зарубежном семеноводстве. Особым спросом пользовались лабораторные пневмокласификаторы, которые используют для сепарации воздушный поток. Широкое применение воздушного потока объясняется его универсальностью, т.е. им можно разделять семена, начиная от самых мелких (мак, клевер и др.) и кончая самыми тяжелыми (фасоль, горох и др.) [7, 8, 11].

Лабораторные пневмокласификаторы находят применение в семенной и зерновой индустрии, мукомольно-элеваторной промышленности, а также в других отраслях народного хозяйства для сепарации сыпучих материалов [6, 9].

В семеноводстве лабораторные пневмокласификаторы используются для выполнения следующих задач:

- изучения аэродинамических свойств семян;
- определения чистоты семян и наличия основных типов засорителей;
- определения качества семян, например их выполненности, степени щуплости и т.д.
- выбора оптимальных параметров и настройки режимов работы пневмосепарирующих зерно-семяочистительных машин;
- оценки качества работы пневмосепарирующих систем зерно-семяочистительных машин;
- пневмосепарации небольших партий семян в селекции и на этапах первичного семеноводства.

В отечественном и зарубежном семеноводстве применяют лабораторные пневмосепараторы, принципиально различающиеся между собой по функциональному исполнению, а также по конструктивному исполнению.

На основании проведенного анализа разработана классификация лабораторных пневмосепараторов по конструктивно-технологическим признакам (рисунок 1).

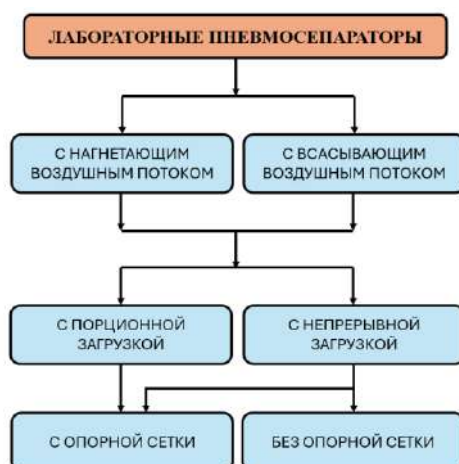


Рисунок 1 – Классификация лабораторных пневмосепараторов по конструктивно-технологическим признакам

Figure 1 – Classification of laboratory pneumatic separators by design and technological features

В лабораторных пневмосепараторах преимущественно используется вертикально восходящий воздушный поток (всасывающего типа), хотя встречаются пневмосепараторы и с нагнетающим воздушным потоком, например, в семенной лаборатории основного семенного завода Франции (г. Версаль).

Существующие пневмокласификаторы громоздки, их система регулирования скорости воздушного потока и способ замера ее величины несовершенны. Так, скорость воздушного потока регулируется дросселированием, а ее величина измеряется микроманометром с пневмометрической трубкой Пито-Прандтля, вводимой в канал с зерновоздушной смесью (Матвеев А.С. Изучение процесса взвешивания и сепарирования зерновых смесей вертикально-восходящим воздушным потоком // Труды ВИМ, т. 37, М., 1965, С. 81-87).

Скорость, измеренная по оси канала, принимается за среднюю скорость потока. Но такой способ определения средней скорости имеет существенные недостатки, которые сводятся к следующему:

- наличие зернового материала в воздушном потоке изменяет направление главного вектора скорости и затрудняет его нахождение при помощи пневмометрической трубки;
- точечный замер скорости (в центре канала) не характеризует средней скорости воздушного потока по его сечению;
- при замерах пневмометрические трубки забиваются мельчайшими частицами пыли;
- микроманометром с пневмометрической трубкой невозможно измерять малые скорости потока;
- вычислять величину скорости по динамическому напору и работать с микроманометром весьма неудобно.

В процессе исследований аэродинамических свойств семян и разделении их на фракции, а также для контроля качества работы и настройки оптимальных режимов работы пневмосепарационных систем зерно-семяочистительных машин преимущественно применяются порционные пневмокласификаторы. Эти приборы могут быть использованы также для определения чистоты и качества семян, например их выполненности, степени щуплости и т.д. До настоящего времени такие анализы производятся вручную надавливанием на семена и отделением оболочки от ядра.

Для стран, развивающих свою индустрию производства семян, применение системы лабораторных пневмосепараторов в технологических процессах производства семян является ключевым элементом. Однако выполнение эффективных процессов лабораторной очистки, определения качества семян и контроля применяемых семяочистительных машин требует наличия высокоэффективных пневмосепараторов, максимально адаптированных к их основному функциональному назначению.

В настоящее время отечественная промышленность практически не выпускает лабораторные пневмосепараторы, адаптированные для определения качественных показателей семян, а также контроля, настройки и эффективности работы пневматических систем зерно-семяочистительных машин.

Из-за отсутствия сведений о качестве работы лабораторных пневмосепараторов, в частности об их сортировальной способности, правильный выбор и использовании этих устройств затруднены.

В практике семенных лабораторий часто возникают потребности в пневмосепараторах с порционной загрузкой и с непрерывной подачей, так как приходится сепарировать совсем небольшие объемы зерна (иногда весом несколько грамм) и партии семян до 200...300 кг, а иногда и более. В связи с этим разработана универсальная лабораторная пневмокласификатора, который может быть применен при обработке разных объемов семян в лабораторных условиях, а также, который может быть применен на разных видах семян от мелкосемянных до крупносемянных культур.

Целью статьи является разработка универсальной лабораторной пневмокласификатора семян и проведение сравнительного анализа лабораторных пневмосепараторов зерна.

Материалы и методы исследования. Представленные материалы являются обобщенным результатом многолетних экспериментальных исследований авторов статьи, посвященных вопросам сепарации семян, а также многих работ отечественных и зарубежных авторов [1, 5, 12].

Скорость воздушного потока в пневмоканале разработанного пневмокласификатора измеряли при помощи современного термоанемометра Testo 405 v1 (рисунок 2).



а



б

Рисунок 2 – Общий вид термоанемометр Testo 405 v1 с телескопическим щупом
Figure 2 – General view of the Testo 405 v1 thermal anemometer with a telescopic probe

Термоанемометр Testo 405 v1 характеризуется высокой точностью измерения скоростей воздушного потока в диапазонах, которые имеют место в пневматических каналах сепараторов семян (таблица 1). Разрешение и точность термоанемометра Testo 405 v1 удовлетворяют требованиям измерений средней скорости воздушного потока в пневмоканале, а также поля скоростей по сечению канала.

Таблица 1 – Краткая техническая характеристика термоанемометра Testo 405 v1
Table 1 – Brief technical features of the Testo 405 v1 thermal anemometer

Диапазон измерений: скорости воздушного потока, м/с температуры, °C / Measurement range: air flow velocity, m/s temperature, °C	0...20 0...60
Погрешность измерения: скорости воздушного потока, Δ, м/с температуры, °C / Measurement error: air flow velocity, Δ, m/s temperature, °C	$\pm(0,1+0,05 V)$ в диапазоне (0,10...2,00) $\pm(0,3+0,05 V)$ в диапазоне (2,01...20,00) $\pm 0,5 / \pm(0,1+0,05 V)$ in the range (0.10... 2,00) $\pm(0.3+0.05 V)$ in the range (2.01... 20,00) $\pm 0,5$
Дополнительная погрешность измерения скорости воздушного потока, вызванная изменением температуры на 1 °C от нормальной температуры (20±5) °C, м/с / Additional error in the measurement of the air flow velocity caused by a temperature change of 1 °C from the normal temperature of (20±5) °C, m/s	$\pm 0,5 \Delta$,
Разрешение: при измерении скорости воздушного потока, м/с при измерении температуры, °C / Permission: when measuring the air flow velocity, m/s when measuring temperature, °C	0,01 0,1
Вес, г / Weight, g	180

В сравнении с пневмометрической трубкой Пито-Прандтля термоанемометр Testo 405 v1 является более практичным инструментом, обеспечивающим высокую точность измерений и существенно менее трудоемким в процессе измерения скоростей воздушного потока.

Сравнительные исследования пневмосепараторов проводились при оптимальной зерновой нагрузке на канал [3, 4].

$$Q = q \cdot S \quad (1)$$

где Q – производительность, кг/ч; S – площадь поперечного сечения канала, см²; q – удельная зерновая нагрузка (оптимальное значение $q=2,5$) кг/см²·ч.

Скорость воздушного потока регулировалась таким образом, чтобы в верхний выход поступало 10 % материала (по массе) от установленной фактической производительности. Опыты проводились с пятикратной повторностью. При каждом опыте отбирались пробы в соответствии со стандартом (ГОСТ 12036-2025. Межгосударственный стандарт. Семена сельскохозяйственных растений. Правила приемки и методы отбора проб (введен в действие Приказом Росстандарта от 02.07.2025 N 667-ст) 28 с).

Качество сортирования семян оценивали по степени обогащения выхода характеризующей критерием эффективности разделения

$$E = \frac{A_n - A_v}{T_n - T_v} \quad (2)$$

где A_n и A_v – абсолютная масса нижнего и верхнего выходов, полученная после разделения исходного материала на пневмокласификаторе; T_n и T_v – абсолютная масса нижнего и верхнего выходов, полученная при идеальном разделении вручную и условия, что легкие фракции составляют 10% от исходного материала (по массе).

Чтобы получить значение T_n и T_v , все семена в пробе исходного материала индивидуально взвешивали и раскладывали в ранжированный ряд в порядке возрастания массы. Начиная с самого легкого зерна отделяли 10 % навески (по массе), определяли абсолютную массу этой фракции (так называемый верхний выход) и оставшейся фракции (нижний выход). Таким образом, были получены предельные значения абсолютных масс верхнего и нижнего выходов при идеальном разделении.

Результаты и обсуждение. Перед выбором технологической схемы и обоснованием основных конструктивно-технологических параметров разрабатываемого лабораторного универсального пневмокласификатора семян провели сравнительный анализ двух наиболее распространенных типов лабораторных пневмосепараторов порционного и непрерывного действия.

В пневмосепараторах порционного действия загрузочная кассета, вертикальный пневмосепарирующий канал и отделительное устройство (циклон, осадочная камера и т.п.), соединенное с всасывающим окном вентилятора, образуют единый воздухопровод. Исследуемая навеска зернового материала засыпается в загрузочную кассету, сквозь которую проходит восходящий воздушный поток. Взвешенные при данной скорости воздушного потока частицы попадают в отделительное устройство и осаждаются в приемном стаканчике. Увеличивая постепенно скорость потока на величину классового промежутка, можно все частицы исходной навески распределить в вариационный ряд по скорости витания.

Пневмосепараторы непрерывного действия имеют ту же принципиальную схему компоновки основных узлов, что и устройство порционного действия, но технологическая схема процесса у них иная: исходный материал подается непрерывным потоком в пневмосепарирующий канал, что не позволяет регулировать продолжительность процесса.

Для очистки и сортировки в пневматических сепараторах образцов семян основных зерновых культур массой 20-30 кг и более необходимы пневмосистемы производительностью до 400...500 кг/ч.

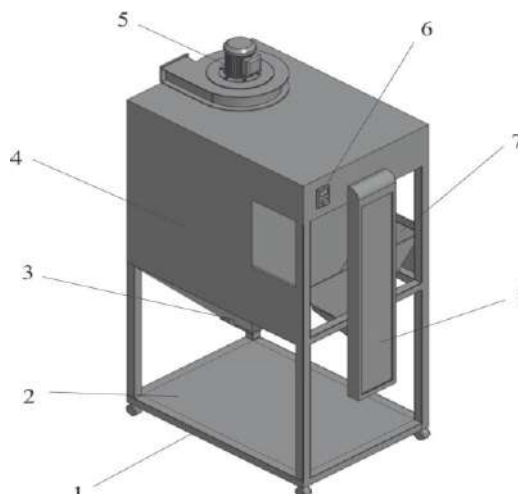
В лаборатории кафедры «Технологические системы АПК» (ФГБОУ ВО Арктический ГАТУ) разработан универсальный лабораторный пневмокласификатор семян «АГАТУ» непрерывного действия и производительностью на семенах пшеницы до 400 кг/ч (из расчета оптимальной зерновой нагрузки в канале 2,5 кг/ч·с²) (рисунок 3).

Выбор основных конструктивно-технологических параметров лабораторного пневмокласификатора определяли из практических задач обработки разных партий семян в семенных лабораториях.

Одна из главных задач в процессе разработки состояла в повышении универсальности данного типа сепаратора, состоящая в возможности оптимальной обработки различных видов семян (от мелкосемянных до крупносемянных культур) при широком диапазоне производительности.



а



б

Рисунок 3 – Лабораторный пневмокласификатор «АГАТУ»: а – фото (спереди); б – общий вид.
1 – рама; 2 – площадка для выгрузочной емкости легкой фракции семян; 3 – выпускное отверстие легкой фракции; 4 – осадочная камера; 5 – центробежный вентилятор; 6 – блок управления;
7 – загрузочный бункер; 8 – вертикальный пневмосепарационный канал
Figure 3 – Laboratory pneumatic classifier "AGATU": а – photo (front); б – general view. 1 – frame;
2 – platform for unloading tank of light fraction of seeds; 3 – outlet opening of light fraction;
4 – sedimentation chamber; 5 – centrifugal fan; 6 – control unit; 7 – loading hopper;
8 – vertical pneumatic separation channel

Основные конструктивно-технологические параметры разработанного пневмокласификатора близки к разрабатываемым ранее и применяющихся в настоящее время сепараторов (таблица 2).

Таблица 2 – Характеристики лабораторных пневмосепараторов
Table 2 – Characteristics of laboratory pneumatic separators

Показатель / Index	С непрерывной подачей / Continuous feed				С порционной подачей / Served in portions	
	«АГАТУ»* / «AGATHU»	К-293 «Петкус» / K-293 Petkus	«Поликейт» / Polykate	«Бейтс» / Bates	РПК-30 / RPK-30	КСП-1 / KSP-1
1	2	3	4	5	6	7
Габариты, мм / Dimensions, mm						
- Длина / Length	1100	500	1230	485	760	Ø380
- Ширина / Width	680	1050	610	305	700	-
- Высота / Height	1990	1500	1740	760	2350	670
Масса, кг / Weight, kg	159	80,0	61,0	20,0	45,0	2,8 (без привода)
Мощность электродвигателя, кВт / Electric motor power, kW	0,55	0,25	0,40	0,25	0,50	0,50
Частота вращения вентилятора, об./мин. / Fan speed, rpm	до 2760	1760	2780	до 5000	до 500	500
Способ регулирования скорости воздушного потока в канале / Method of regulating the velocity of the air flow in the channel	Изменением частоты вращения вентилятора / Changing the fan speed	Дросселем / Throttle	Дросселем / Throttle	Изменение частоты вращения вентилятора и дросселем / Changing the fan speed and throttle	Изменением частоты вращения вентилятора / Changing the fan speed	Дросселем / Throttle

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
Контроль величины скорости воздушного потока в канале / Control of the value of the air flow in the channel	Термоанемометром Testo405 v1 / Thermal anemometer Tes-to405 v1	Ротаметрами / Rotameters	Отсутствует / Missing	Отсутствует / Missing	Ротаметром / Rotameter	Отсутствует / Missing
Форма сечения канала / Channel Section Shape	Прямоугольная / Rectangular	Квадратная / Square	Прямоугольная** / Rectangular**	Кольцевая / Ring	Круглая / Round	Круглая / Round
Размеры сечения канала, мм / Channel cross-section, mm	200x80	50x50	120x25	Ø125 и 50	Ø45	Ø50
Площадь поперечного сечения канала в зоне ввода материала, мм ² / Cross-sectional area of the channel in the input area, mm ²	16 000	2500	3000	10 400	1580	1950
Высота канала, мм: / Channel height, mm:						
Общая / Total	1130	750	1380	60	700	480
верхней части / of the upper part	850	375	1020	25	570	480
нижней части / lower part	280	375	360	35	130	-

*емкость бункера – 0,08 м³; ** – пневмоканал расширяется снизу доверху

*hopper capacity – 0.08 m³; ** – the pneumatic duct expands from bottom to top

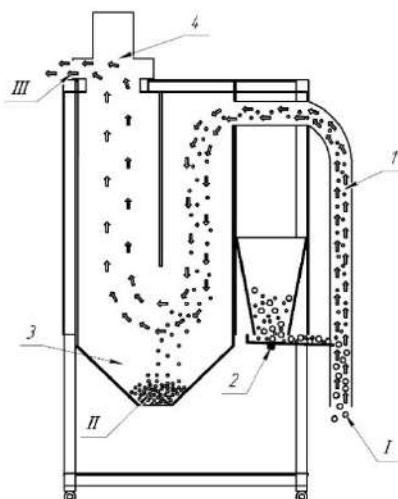


Рисунок 4 – Технологическая схема разработанного пневмокласификатора «АГАТУ»:

I – выход фракции тяжелого компонента; II – выход фракции легкого компонента; III – выход отработанного воздуха с пылевидными примесями; 1 – вертикальный пневматический канал; 2 – вибрационный питатель с загрузочным бункером; 3 – осадочная камера; 4 – вытяжной вентилятор
Figure 4 – The flow chart of the developed pneumatic classifier "AGATU": I – outlet of the heavy component fraction; II – outlet of the light component fraction; III - outlet of exhaust air with dust impurities; 1 – vertical pneumatic channel; 2 – vibrating feeder with a loading hopper; 3 – sedimentation chamber; 4 – exhaust fan

Технологический процесс разработанного пневмокласификатора «АГАТУ» (рисунок 4) включает подачу исходного семенного материала в вертикальный сепарационный канал 1 при помощи вибрационного питателя с загрузочным бункером 2. В канале 1 происходит расслоение семян по их аэродинамическим свойствам, более легкий компонент в канале 1 уносится воздушным потоком и попадает в осадочную камеру 3 и далее в приемник легкого

компонента (на рисунке не показан). Отработанный воздух с пылевидными частицами из осадочной камеры выводится за пределы сепаратора и поступает в циклон или другие сепарирующие устройства, отделяющий отработанный воздух от пыли.

Результаты экспериментальных исследований пневмокласификатора «АГАТУ» включали средние данные массы 1000 семян исходного материала семян пшеницы и разделенных фракций, значения коэффициентов эффективности разделения E , ошибки опытов и среднеквадратические отклонения значений E (таблица 3).

Таблица 3 – Эффективность сепарации семян на лабораторных пневмосепараторах
Table 3 – Efficiency of seed separation on laboratory pneumatic separators

Показатель / Index	С непрерывной подачей / Continuous Feed				С порционной подачей / Served in portions	
	«АГАТУ» / AGATHU	К-293 «Петкус» / K-293 Petkus	«Поликейт» / Polykate	«Бейтс» / Bates	РПК-30 / RPK-30	КСП-1 / CSP-1
Масса 1000 зерновок, г / Weight of 1000 caryops, g в исходном материале / in the source material в верхнем выходе / at the top exit в нижнем выходе / in the lower exit	38,512	44,763	45,279	45,997	45,821	44,414
	29,156	32,878	39,662	42,254	32,517	31,843
	40,527	46,244	46,964	47,123	48,041	46,290
Эффективности сортирования, % / Sorting efficiency, %	71	75,0	40,0	27,0	85,0	81,0
Среднее квадратическое отклонение критерия эффективности сортирования, % / Mean standard deviation of sorting efficiency criterion, %	1,815	1,600	1,661	1,931	1,749	3,340
Ошибка распределения критерия эффективности сортирования / Sorting efficiency criteria distribution error	$\pm 0,958$	$\pm 0,714$	$\pm 0,743$	$\pm 0,863$	$\pm 0,781$	$\pm 1,491$

Сравнительные результаты эффективности сепарации показали, что приборы с порционной подачей имеют более высокую эффективность сепарации в сравнении с устройствами с непрерывной подачей. Сравнительный анализ технологической эффективности лабораторных сепараторов показал, что лучшее качество сепарации семян пшеницы было получено на порционном классификаторе РПК-30.

Среди лабораторных пневмосепараторов с непрерывной подачей близкие показатели имели разработанный пневмокласификатор «АГАТУ» и К-293 «Петкус». Однако, производительность сепаратора «АГАТУ» в разы больше, чем К-293 «Петкус».

Разработанный лабораторный пневматический классификатор семян прошел обширные испытания в РС(Я) на семенах основных зерновых культур, трав, а также семенах лесных культур. Он может быть применен в лабораториях научно-исследовательских учреждений и вузов, в селекции и семеноводстве, а также в специализированных зерновых хозяйствах.

Выводы. Лабораторные пневмосепараторы являются неотъемлемой частью технологий послеуборочной обработки зерна и подготовки всех видов семян. Без наличия в номенклатуре комплексов машин зерно-семяочистительных линий адаптированных лабораторных пневмосепараторов они не могут эффективно использоваться, а сам процесс обработки сопровождается неизбежными потерями полноценного зернового материала в отходы.

Разработанный универсальный лабораторный пневмокласификатор семян оснащен вертикальным пневмоканалом прямоугольного сечения (80х200 мм), общей длиной 1130 мм. Высота канала верхней части – 850 мм, а нижней части – 280 мм. При этом пневмокласификатор оснащен частотным регулятором привода центробежного вентилятора, установленного над осадочной камерой.

Пневмокласификатор прошел обширные испытания на семенах основных зерновых культур, семенах трав и лесных культур в условиях Республики Саха (Якутия).

Применение разработанного multifunctional лабораторного пневмокласификатора семян «АГАТУ» позволяет сэкономить время и затраты труда, а также повысить точность в процессе проведения анализов в семенных лабораториях, в научно-исследовательских учреждениях, а также на машинно-испытательных станциях.

Conclusions. Laboratory pneumatic separators are used in domestic and international seed production, differing fundamentally in their functional design and construction. Based on the analysis, a classification of laboratory pneumatic separators based on their design and technological features has been developed.

Existing pneumatic classifiers are bulky, and their airflow speed regulation system and measurement method are imperfect. For example, the airflow speed is regulated by throttling, and its value is measured with a micromanometer with a Pitot-Prandl pneumometric tube inserted into the channel containing the grain-air mixture.

One of the main objectives during the development process was to increase the versatility of this type of separator, which consists in the possibility of optimal processing of various types of seeds (from small-seeded to large-seeded crops) over a wide range of productivity.

The developed laboratory pneumatic seed classifier has undergone extensive testing in the Republic of Sakha (Yakutia) on seeds of major grain crops, grasses, and forestry crops. It can be used in laboratories of research institutions and universities, in breeding and seed production, and on specialized grain farms.

Библиографический список

1. Бурков А. И. Разработка и совершенствование пневмосистем зерноочистительных машин: монография. Киров, 2016. 380 с.
2. Дринча В. М., Дондоков Ю. Ж., Аммосов И. Н., Слепцов Н. Е. Проблемы и перспективы совершенствования процессов пневмосепарации зерна. Вестник АГАТУ. 2023. № 4 (12). С. 92-101
3. Корн А. М., Космовский Ю. А., Матвеев А. С. Сравнительная оценка качества сортирования семян пневмосепараторами. Труды ВИМ. М., 1970. Т. 74. С. 42-46.
4. Леканов С. В., Стрикунов Н. И. Модернизированный вариант типового зерноочистительного агрегата. Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции. Барнаул, 2022. С. 52-54.
5. Леканов С. В., Стрикунов Н. И., Стрикунов И. Н. Разработка и внедрение в производство новых технических решений для технологий послеуборочной обработки зерна. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2023. № 3 (221). С. 98-104.
6. Стрикунов, Н. И., Леканов С. В., Ровенских А. В. Поточная линия для послеуборочной обработки зерна и семян. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2003. № 1 (9). С. 37-39.
7. Стрикунов, Н. И., Леканов С. В. Технологические основы компоновки оборудования семяочистительных линий. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 1 (207). С. 99-104.
8. Drincha V. M., Tsench Yu. S. Fundamentals and Prospects for the Technologies Development for Post-Harvest Grain Processing and Seed Preparation. Agricultural Machinery and Technologies. 2020. V. 14. No 4. Pp. 17-25.
9. Kharchenko S., Borshch Y., Kovalyshyn S., Piven M., Abduev M., Miernik A., Popardowski E., Kielbasa P. Modeling of Aerodynamic Separation of Preliminarily Stratified Grain Mixture in Vertical Pneumatic Separation Duct. Applied Sciences. 2021. V. 11 (10). 4383.
10. Lazykyn V., Burkov A., Glushkov A., Mokiyev V. Defining key design parameters for separation chamber of fractioning pneumatic seed separator. Engineering for rural development. Jelgava, 2021. Pp. 181-186.
11. Mykhailov Y., Zadosna N., Postnikova M., Pedchenko G., Khmelovskiy V., Bondar M., Ionichev A., Kozdęba M., Tomaszewska-Górecka W. Energy Assessment of the Pneumatic Sieve Separator for Agricultural Crops. Agricultural Engineering. 2021. V. 25 (1). Pp. 147-156.
12. Stepanenko S., Kotov B., Kuzmych A., Shvydia V., Kalinichenko R., Kharchenko S., Shchur T., Kocira S., Kwaśniewski D., Dziki D. To the Theory of Grain Motion in an Uneven Air Flow in a Vertical Pneumatic Separation Channel with an Annular Cross Section. Processes. 2022. V. 10 (10). 1929.

References

1. Burkov A. I. Development and improvement of pneumatic systems of grain cleaning machines: monograph. Kirov, 2016. 380 p.
2. Dryncha V. M., Dondokov Y. Zh., Ammosov I. N., Sleptsov N. E. Problems and Prospects for Improving the Processes of Grain Pneumoseparation. Bulletin of AGTU. 2023. № 4 (12). Pp. 92-101.
3. Korn A. M., Kosmovsky Y. A., Matveev A. S. Comparative Assessment of the Quality of Seed Sorting by Pneumatic Separators. Proceedings of VIM. Moscow, 1970. V. 74. Pp. 42-46.
4. Lekanov S. V., Strikunov N. I. Modernized Version of a Typical Grain Cleaning Unit. Agrarian Science for Agriculture: Collection of Materials of the XVII International Scientific and Practical Conference. Barnaul, 2022. Pp. 52-54.
5. Lekanov S. V., Strikunov N. I., Strikunov I. N. Development and Implementation of New Technical Solutions for Post-Harvest Grain Processing Technologies. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2023. № 3 (221). Pp. 98-104.

6. Strikunov, N. I., Lekanov S. V., Rovenskikh A. V. Production Line for Post-Harvest Grain and Seed Processing. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2003. № 1 (9). Pp. 37-39.
7. Strikunov, N. I., Lekanov S. V. Technological Bases of Arrangement of Seed Cleaning Line Equipment. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2022. № 1 (207). Pp. 99-104.
8. Drincha V. M., Tsench Yu. S. Fundamentals and Prospects for the Technologies Development for Post-Harvest Grain Processing and Seed Preparation. Agricultural Machinery and Technologies. 2020. V. 14. No 4. Pp. 17-25.
9. Kharchenko S., Borshch Y., Kovalyshyn S., Piven M., Abduev M., Miernik A., Popardowski E., Kielbasa P. Modeling of Aerodynamic Separation of Preliminarily Stratified Grain Mixture in Vertical Pneumatic Separation Duct. Applied Sciences. 2021. V. 11 (10). 4383.
10. Lazykyn V., Burkov A., Glushkov A., Mokiye V. Defining key design parameters for separation chamber of fractioning pneumatic seed separator. Engineering for rural development. Jelgava, 2021. Pp. 181-186.
11. Mykhailov Y., Zadosna N., Postnikova M., Pedchenko G., Khmelovskiy V., Bondar M., Ionichev A., Kozdęba M., Tomaszewska-Górecka W. Energy Assessment of the Pneumatic Sieve Separator for Agricultural Crops. Agricultural Engineering. 2021. V. 25 (1). Pp. 147-156.
12. Stepanenko S., Kotov B., Kuzmych A., Shvydia V., Kalinichenko R., Kharchenko S., Shchur T., Kocira S., Kwaśniewski D., Dziki D. To the Theory of Grain Motion in an Uneven Air Flow in a Vertical Pneumatic Separation Channel with an Annular Cross Section. Processes. 2022. V. 10 (10). 1929.

Информация об авторах

Дондоков Юрий Жигмитович, кандидат технических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет» (Российская Федерация, 677007, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, Сергеляхское ш. 3-й км, 3), e-mail: ooo-centaurus@mail.ru

Дринча Василий Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет» (Российская Федерация, 677007, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, Сергеляхское ш. 3-й км, 3), ORCID 0000-0003-1083-5370, e-mail: vdrincha@list.ru

Борисенко Иван Борисович, доктор технических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: borisenivan@yandex.ru

Фомин Сергей Денисович, доктор технических наук, профессор кафедры, заведующий центром: Центр НАМСИ, научный редактор, заместитель главного редактора, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26.), e-mail: fsd_58@mail.ru

Харламов Айсен Михайлович, аспирант, ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет» (Российская Федерация, 677007, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, Сергеляхское ш. 3-й км, 3).

Тарасов Иван Максимович, аспирант, ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет» (Российская Федерация, 677007, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, Сергеляхское ш. 3-й км, 3).

Authors' Information

Dondokov Yuriy Zhigmitovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department, Arctic State Agrotechnological University (Russian Federation, 677007, Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Sergelyakhskoye sh. 3rd km, 3), e-mail: ooo-centaurus@mail.ru

Drincha Vasilii Michailovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department, Arctic State Agrotechnological University (Russian Federation, 677007, Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Sergelyakhskoye sh. 3rd km, 3), ORCID 0000-0003-1083-5370, e-mail: vdrincha@list.ru

Borisenko Ivan Borisovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: borisenivan@yandex.ru

Fomin Sergey Denisovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department, Head of the Center: NAMS Center, Scientific Editor, Deputy Editor-in-Chief, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: fsd_58@mail.ru

Kharlamov Aisen Mikhailovich, graduate student, Arctic State Agrotechnological University (Russian Federation, 677007, Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Sergelyakhskoye sh. 3rd km, 3).

Tarasov Ivan Maksimovich, graduate student, Arctic State Agrotechnological University (Russian Federation, 677007, Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Sergelyakhskoye sh. 3rd km, 3).

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-55

THE FEATURES OF THE IRRIGATED FORAGE CROPS IDENTIFICATION USING THE EARTH REMOTE SENSING DATA

¹Dunaeva E. A., ²Yolkina E. S., ¹Kolodyazhny M. V.

¹Research Institute of Agriculture of Crimea
Simferopol, Russian Federation

²Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences
Moscow, Russian Federation

Corresponding author E-mail: water_crimea@hotmail.com

Received 28.07.2025

Submitted 31.10.2025

The work was supported by the Russian Science Foundation, grant No. 24-27-00251.

Abstract

Introduction. Quite a lot of applied and fundamental research is devoted to the identification of grain crops using Earth remote sensing data, which is due to their strategic importance for ensuring food security. Along with this, forage crops are also of significant scientific interest, since they form the resource base for livestock farming, thereby having an indirect impact on the sustainability of food systems. The purpose of the

study is to develop an algorithm for identifying irrigated forage crops using Earth remote sensing (ERS) data. **Materials and methods.** The features of vegetation of various types of crops and indirect decoding features that allow classification based on satellite monitoring data are described. A step-by-step process of automatic classification of fields with forage irrigated crops is described, this algorithm has been tested on the territory of three regions of the Republic of Crimea. **Results and conclusions.** The algorithm for identifying irrigated forage crops showed high convergence during their verification at the district level (the error was 6-9 %). The results of the experiment can be applied to other regions, while it should be taken into account that creating a training sample directly on the objects of the analyzed territory significantly increases the accuracy of classification, since differences in soil cover, relief and climatic features of the region affect the dynamics of crop vegetation and, accordingly, affect the selection of a set of key features.

Keywords: remote sensing, remote sensing of territories, GIS, fodder crops, irrigation of fodder crops, NDVI.

Citation. Dunaeva E. A., Yolkina E. S., Kolodyazhny M. V. The features of the irrigated forage crops identification using the earth remote sensing data. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 504-514 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-55.

Author's contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, implementation, or analysis of this study. All authors of this article have read and approved the presented final version.

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

УДК 528.854

ОСОБЕННОСТИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОРОШАЕМЫХ КОРМОВЫХ КУЛЬТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

¹Дунаева Е. А., кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

²Елкина Е. С., инженер

¹Колодяжный М. В., младший научный сотрудник

¹ФГБУН «НИИСХ Крыма»

г. Симферополь, Российская Федерация

²ФГБУН «Институт космических исследований РАН»

г. Москва, Российская Федерация

Работа поддержана Российским научным фондом, грант № 24-27-00251.

Актуальность. Идентификации культур зерновой группы с использованием данных дистанционного зондирования Земли посвящено достаточно много прикладных и фундаментальных исследований, что обусловлено их стратегическим значением для обеспечения продовольственной безопасности. Наряду с этим кормовые культуры также представляют существенный научный интерес, поскольку они формируют ресурсную базу для животноводства, тем самым оказывая опосредованное влияние на устойчивость продовольственной системы. Цель исследования – разработка алгоритма идентификации орошаемых кормовых культур с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). **Материалы и методы.** Изложены особенности вегетации различных типов культур и косвенные дешифровочные признаки, позволяющие провести классификацию на основе данных спутникового мониторинга. Описан пошаговый процесс автоматической классификации полей с кормовыми орошаемыми культурами, данный алгоритм протестирован на территории трёх районов Республики Крым. **Результаты и выводы.** Алгоритм идентификации орошаемых кормовых культур показал высокую сходимость при их верификации на уровне районов (ошибка составила 6-9 %). Результаты проведенного эксперимента могут быть применены и для других регионов, при этом необходимо учитывать, что создание обучающей выборки непосредственно на объектах анализируемой территории существенно повышает точность классификации, так как различия в почвенном покрове, рельефе и климатических особенностях региона влияют на динамику вегетации сельскохозяйственных культур и, соответственно, отражаются на выборе набора ключевых признаков.

Ключевые слова: ДЗЗ, дистанционное зондирование территорий, ГИС, кормовые культуры, орошение кормовых культур, NDVI.

Цитирование. Дунаева Е. А., Елкина Е. С., Колодяжный М. В. Особенности идентификации орошаемых кормовых культур с использованием данных дистанционного зондирования Земли. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 504-514. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-55.

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. В настоящее время активно проводятся исследования, направленные на экспертную или автоматическую идентификацию сельскохозяйственных культур [1-3], а также прогнозирование их урожайности [4-7]. Наиболее часто для этих целей применяются геоинформационные системы и данные спутникового мониторинга. Культуры зерновой группы (озимые и яровые) представляют собой приоритетные объекты для задач автоматизированного распознавания в рамках сельскохозяйственного мониторинга, что обусловлено их высокой распространённостью, экономической значимостью и необходимостью обеспечения точного контроля за состоянием посевов. Однако, учитывая, что в методиках идентификации зачастую рассмотрены не все типы сельскохозяйственных угодий (к примеру, неиспользуемые земли, залежи, сенокосы, поля с кормовыми и овощными культурами и т.д.), количество прочих земель, к которым относятся все не идентифицированные поля в границах земель сельскохозяйственного назначения, остается достаточно высоким. Так как стабильное выращивание кормовых культур в степной зоне Крымского полуострова возможно только на орошении, данная работа, посвященная идентификации их посевов (с целью дальнейшего анализа эффективности использования лимитированных водных ресурсов), имеет особую актуальность.

К кормовым культурам относятся многолетние и однолетние травы, а также некоторые корнеплоды и бахчевые культуры, выращиваемые на корм животным. При этом каждый тип культур имеет свои особенности вегетации, требующие отдельного исследования посредством спутникового мониторинга.

В период 2020-2024 гг. площадь посева кормовых культур на территории Крыма варьировала от 20,8 до 24,2 тыс. га (при их площади на орошении в 1990 г. – около 170 тыс. га), что составляет в среднем 2,8 % общей площади пахотных угодий (по данным <https://rosstat.gov.ru/>). При этом стоит отметить, что в засушливые годы происходит существенное снижение урожайности кормовых культур, что приводит к дефициту и недостаточной обеспеченности животноводства кормами. Это подчёркивает актуальность их изучения в условиях аридного климата, так как урожайность кормовых культур влияет не только на земледельческий, но и животноводческий сектор сельского хозяйства региона.

Несмотря на актуальность, вопросам классификации посевов с выделением полей с кормовыми культурами посвящено небольшое количество публикаций. Отечественные исследования преимущественно направлены на прогнозирование урожайности и анализ неоднородности посевов.

В исследовании [8], опубликованном более 20 лет назад, проанализирована взаимосвязь площади листовой поверхности, её отражательной способности в различных спектрах и урожайности кормовых культур на примере люцерны. Проведено сравнение данных дистанционного зондирования с ручным спектрометром, установлена высокая корреляция (варьирует в пределах от 0,48 до 0,98) между отражательной способностью волн 810 нм (ближний ИК) и фактической урожайностью. При этом отмечается более высокая точность данных ДЗЗ по сравнению с наземными наблюдениями.

Прогнозирование урожайности является одним из основных направлений при анализе кормовых культур с использованием спутниковых данных. Среди таких культур чаще всего рассматриваются сорго [9], люцерна [8], также большое внимание уделяется разнотравным пастбищам [10-12].

Тематика, связанная с идентификацией посевов кормовых культур, часто затрагивается в исследованиях учёных Китая и Индии [12, 13, 16, 17]. Основным направлением данных работ является определение потенциальной урожайности по данным ДЗЗ и возможные пути увеличения биопродуктивности посевов.

В исследованиях, проведенных на территории Пакистана [14], основой для отнесения полей к тому или иному классу служила специфика хода индекса NDVI (периоды максимальных и минимальных значений, темпы снижения или повышения вегетационной активности и т. д.). Точность идентификации типов культур составила 84 % по сравнению с фактическими данными.

В рамках исследования [15] проведена автоматическая идентификация озимых кормовых культур по данным ДЗЗ. Использовалась серия композитных космических снимков за 2020-2021 гг., с помощью которой отслеживалась вегетационная активность в течение всего сезона. Наиболее репрезентативные данные наблюдались за период апрель-июль, однако данный временной промежуток может изменяться в зависимости от климатических особенностей региона.

Аналогичный алгоритм идентификации рассмотрен в [17], исследование проводилось на территории Индии, где кормовые культуры особенно распространены из-за обилия крупного рогатого скота. Также был подобран ряд мультиспектральных снимков для синтеза NDVI-изображений, классификация проводилась с помощью метода ISODATA (Iterative self-organizing data analysis technique – метод иерархических правил принятия решений с последующим кластерным подходом). В данном случае точность составила 81 % по сравнению с фактической площадью полей с кормовыми культурами.

Несмотря на то, что в рамках исследований, связанных с анализом посевов кормовых культур, используются все более совершенные инструменты как для получения информации (спутниковые системы, дроны, RGB камеры), так и для ее обработки (большие данные, машинное и глубокое обучение), можно заключить, что на современном этапе исследований большее внимание уделяется оценке биопродуктивности и неоднородности посевов кормовых культур для принятия научно обоснованных управленческих решений с целью повышения эффективности их выращивания. При этом вопрос идентификации полей с кормовыми культурами затрагивается редко, так как исследования в большинстве случаев проводятся на пилот-территориях с заведомо известной структурой посевов, не требующей верификации.

Материалы и методы. Идентификация полей с кормовыми культурами проводилась посредством анализа динамики значений индекса NDVI, т.е. с учетом особенностей изменчивости фотосинтетически-активной биомассы в течение сезона. В рамках данного исследования в качестве пилот-территорий были приняты орошаемые и богарные поля в северной части Крымского полуострова (Правдовское сельское поселение Первомайского района). Рассматривалось 14 орошаемых полей общей площадью 880 га, 6 из которых заняты кормовыми культурами, 8 – яровыми. Для создания обучающей выборки также использовались богарные и орошаемые поля в иных районах Республики Крым, занятые различными культурами.

Как и иные типы сельскохозяйственных культур, кормовые имеют специфичный ход индекса NDVI, имеющий определённые характерные особенности (рисунок 1).



Рисунок 1 – График хода NDVI по данным MODIS для кормовых зерновых культур на примере тритикале за 2024 г. (а – первый укос, б – второй укос и посев на 2025 г.)

Figure 1 – Graph of NDVI progress according to MODIS data for forage grain crops using triticale as an example for 2024 (a – first cut, b – second cut and sowing for 2025)

Можно выделить основные отличительные черты представленных выше графиков. Поля с посевами кормовых культур имеют несколько пиков (в условиях Республики Крым, как правило, не более двух), соответствующих созреванию и достижению максимума биомассы. После максимальных значений следует непродолжительный период снижения значений NDVI, отображающий укосы или уборку в конце сезона. Далее следует возобновление вегетации, причем после укоса вегетативная активность имеет меньшие темпы по сравнению с первичным ростом непосредственно после посева.

На орошаемых землях (или при сложившихся благоприятных условиях на богаре) в течение сезона возможно проведение нескольких укосов. В случае с озимыми культурами, посев проводится в октябре (39-40 неделя), непосредственно после уборки культуры за предыдущий сезон. На орошении люцерна дает 3-4 укоса, а такая культура, как тритикале, обычно даёт два укоса (на 19-21 и 28-38 неделях), при этом во втором укосе биомасса

уменьшается примерно на 25 %. На богарном поле в условиях 2024 г. (рисунок 1) возможен лишь один укос тритикале, при этом объем вегетационной массы с первого укоса существенно (около 30 %) меньше, чем на орошении.

Также при идентификации кормовых культур необходимо учитывать изменчивость условий вегетации от сезона к сезону, которая, при прочих равных условиях, в первую очередь определяется водообеспеченностью года (на богаре) и доступностью водных ресурсов (на орошении), особенно в условиях их жесткого дефицита. При более холодной и продолжительной зиме возобновление вегетации начинается позже и с меньшей интенсивностью, а в летний сезон высокая температура и недостаток влаги сказываются на абсолютных значениях индекса NDVI (рисунок 2). По этой же причине может изменяться время укосов, их частота и т.д.

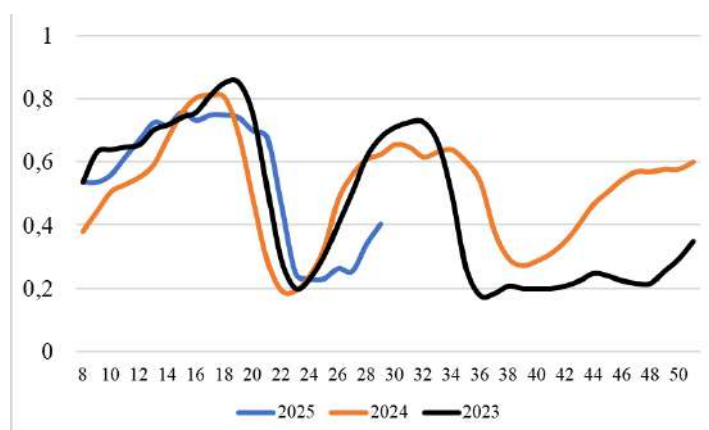


Рисунок 2 – График хода NDVI по данным MODIS для кормовых зерновых культур на примере тритикале за 2023-2025 гг.

Figure 2 – Graph of NDVI progress according to MODIS data for forage grain crops using triticale as an example for 2023-2025

Подобная динамика индекса NDVI приводит к сложностям и ошибкам при идентификации кормовых культур по данным ДЗЗ, так как при наличии неточностей в подготовленной опорной выборке возможно ошибочное определение озимых культур из-за аналогичного хода графика до 20-22 недели, многолетних насаждений по причине значений NDVI от 0,6 до 0,9 как в начале летнего сезона, так и в его конце. Также возможна идентификация неиспользуемых участков с обильно произрастающей сорной растительностью.

Стоит отметить, что нижеприведенный алгоритм репрезентативен лишь по отношению к кормовым культурам, которые выращивают на сенаж с несколькими укосами, что при низкой водообеспеченности территории Крыма (среднегодовое количество осадков для степной зоны Крыма составляет, м/с Клепинино 450 мм), возможно лишь при орошении.

Работа проводилась с использованием веб-сервиса BEGA-Science (УНУ «BS ИКИ-Мониторинг») [18] для поиска и подготовки космических снимков Sentinel-2A, проведения машинного обучения и общего анализа данных. Дальнейшая обработка результатов проводилась с помощью ПО QGIS 3.30.

При идентификации кормовых культур с использованием данных ДЗЗ был использован следующий пошаговый алгоритм.

1. Поиск и подготовка космических снимков.

Для корректной работы алгоритмов машинного обучения необходимо подготовить серию снимков, отображающую особенности вегетации кормовых культур на исследуемой территории. Помимо минимумов и максимумов значений NDVI необходимо отметить возобновление вегетации после первого укоса для обособления от остальных озимых культур, не продолжающих вегетацию после уборки. Для этого использовалась серия снимков Sentinel-2A за 17, 22, 32, 38 и 44 недели. Данный набор снимков позволяет определить особенности вегетации, характерные для кормовых орошаемых культур, а именно наличие нескольких укосов, что в условиях аридного климата Республики Крым возможно лишь на орошаемых участках.

2. Подготовка композитных изображений с отображением косвенных признаков идентификации орошаемых культур.

В данном исследовании для визуальной оценки применялось синтезированное композитное RGB-изображение, состоящее из трёх каналов: максимальная температура поверхности за вторую половину лета (на основе данных Sentinel-2), максимальное значение NDVI за сезон и медианное значение GNDVI («G» – зеленый) за сезон. Данные признаки являются одними из основных при идентификации орошаемых земель, так как при орошении происходит снижение температуры почвенного покрова, а также статистически чаще формируется больший объем зелёной массы, а её максимум наступает позже [19].

3. Создание обучающей выборки.

Необходимо выделить поля с посевами кормовых культур. Важно учитывать, что точность распознавания объектов напрямую связана с качеством опорной выборки. Это необходимо для более точной работы алгоритмов машинного обучения, так как даже незначительные изменения агрометеорологических условий могут существенно изменить ход графика NDVI. Наибольшую сложность в данном исследовании вызывало небольшое количество полей с кормовыми культурами по отношению к другим классам.

4. Проведение идентификации с использованием машинного обучения.

Для выполнения этой процедуры использовался инструмент «Классификация с обучением» сервиса BEGA-Science (УНУ «BS ИКИ-Мониторинг»). В качестве алгоритма классификации был выбран метод случайного леса (англ. Random Forest), отличающийся высокой устойчивостью к переобучению. За счет того, что он является непараметрическим, и для работы метода распределение признаков не обязательно должно быть нормальным, его можно эффективно использовать даже при ограниченном объеме обучающей выборки, при условии ее репрезентативности и достаточной информативности используемых признаков. Для снижения ошибки из алгоритма расчета были исключены водоёмы, населенные пункты, лесные массивы, т. е. все объекты, не совпадающие с маской сельскохозяйственных угодий на территории Крыма.

5. Верификация и корректировка полученных данных.

Результаты и обсуждение. В рамках данной работы для идентификации орошаемых посевов кормовых культур (на примере тритикале) с помощью веб-сервиса BEGA-Science синтезированы композитные RGB-изображения, основанные на данных Sentinel-2A/2B. Для их синтеза использовано три одноканальных разновременных снимка с данными NDVI. В качестве каналов в растровом изображении выбраны снимки с разницей в месяц, например:

R – первая декада мая (непосредственно перед первым укосом, т. е. точка максимального значения NDVI за сезон);

G – первая декада июня (после первого укоса, этап возобновления вегетации, т. е. наиболее низкое значение за сезон);

B – первая декада июля (второй пик вегетации перед вторым укосом).

Учитывая спектральные характеристики каждого из снимков (высокое значение в R/B-каналах и низкое в G), орошаемые поля с кормовыми культурами за данный период имеют характерный розовый цвет, не свойственный иным объектам, что существенно повышает точность их определения (рисунок 3).



Рисунок 3 – Синтезированное композитное изображение по данным Sentinel-2A/2B за май-июль 2025 года с фрагментом обучающей выборки
Figure 3 – Synthesized composite image of Sentinel-2A/2B data for May-July 2025 with a fragment of the training sample

Аналогичным образом построены еще 4 снимка за период, указанный выше. Подобная серия изображений позволяет наиболее точно отследить динамику вегетации за сезон, что позволяет классифицировать кормовые орошаемые культуры на основании косвенных признаков. Также специфичная цветовая гамма упрощает дальнейшую экспертную верификацию полученных результатов.

Для верификации наличия орошения на исследуемой территории также использовалось другое синтезированное композитное RGB-изображение, состоящее из следующих трёх каналов: максимальная температура поверхности за вторую половину лета (на основе данных Sentinel-2), максимальное значение NDVI за сезон и медианное значение GNDVI за сезон (рисунок 4). Богарные поля на данном снимке отображаются красным цветом, потенциально орошаемые – желтым, ярко голубые поля являются достоверно орошаемыми. Данное изображение также включается в серию снимков для проведения машинного обучения [20].



Рисунок 4 – RGB-композит на основе косвенных признаков орошения за 2024 год

Figure 4 – RGB composite based on indirect irrigation indicators for 2024

Прежде всего, для проверки корректности работы созданного алгоритма машинного обучения необходимо провести классификацию непосредственно на территории, на которой создана обучающая выборка. Так как идентификация объектов происходит по растровым данным, векторная маска используется для фильтрации полученного результата, что позволяет проанализировать точность классификации в границах каждого из полей (рисунок 5).

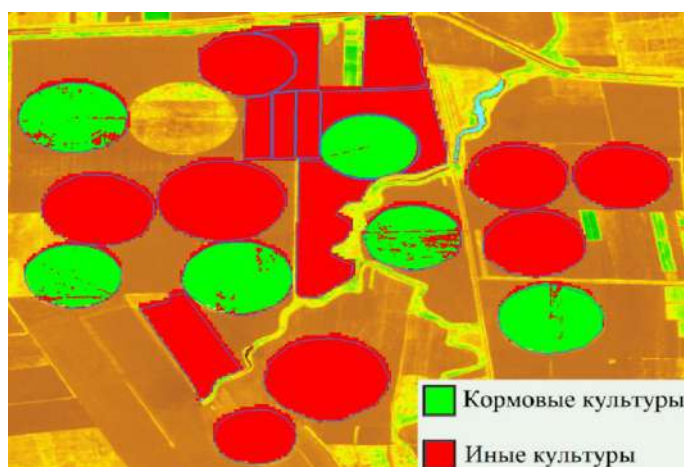


Рисунок 5 – Результат классификации орошаемых кормовых культур на пилот-территории

Правдовского с/п Первомайского района за 2024 год

Figure 5 – The result of the classification of irrigated forage crops in the pilot territory of Pravdovsky rural settlement of Pervomaysky district for 2024

Можно прийти к выводу, что в пределах данной территории алгоритм позволяет исключить все поля, не подходящие под признаки кормовых орошаемых культур, с точностью 100 %, что объясняется специфичным ходом NDVI. При идентификации полей с орошаемыми кормовыми культурами (в данном случае тритикале) существует незначительная погрешность (6-9 % от общей площади поля присваивается к другому классу), это связано с внутривидовой неоднородностью посевов, обусловленной гидрологическими характеристиками и особенностями почвенного покрова в границах поля.

При применении данного алгоритма на больших территориях можно отметить, что к классу орошаемых кормовых культур относится лишь малая доля полей (рисунок 6). Это обусловлено структурой земледелия на территории Республики Крым – орошаемые территории на данный момент немногочисленны, в засушливых условиях выращивание относительно влагоёмких кормовых культур является более сложным и менее рентабельным, кроме того, в условиях дефицита водных ресурсов приоритет отдается их использованию на питьевое водоснабжение.



Рисунок 6 – Результат классификации орошаемых кормовых культур на территории Сакского района на 2024 г.

Figure 6 – The result of the classification of irrigated forage crops in the territory of the Saki district for 2024

Апробация данного алгоритма проведена на территории Красновардейского, Первомайского и Сакского районов. Всего в 2024 году на данной территории выделено 12 участков с полями, занятыми кормовыми орошаемыми культурами (пример для территории Сакского района приведен на рисунке 7).

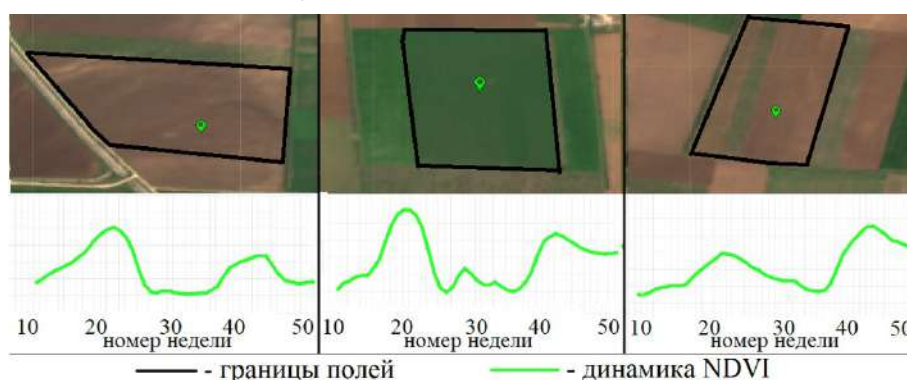


Рисунок 7 – Примеры полей, занятые кормовыми орошаемыми культурами (по результатам проведения классификации), в соотношении с графиками хода индекса NDVI
Figure 7 – Fields examples with irrigated forage crops (based on the classification results) in relation to the NDVI index progress graphs

На снимках видно, что укосы данных полей проводились постепенно, что может вносить искажения на графики NDVI, так как учитывается среднее значение по полю.

Анализ графиков, приведенных на рисунке 7, показывает, что посевы на каждом рассмотренном поле имеют специфичный ход графика NDVI, что свидетельствует о произрастании различных культур на данной территории. К таким культурам относится ряд мно-

голетних трав (люцерна, клевер, эспарцет, злаковые травы). Следует отметить, что рассматриваемый способ возделывания тритикале на сенаж, использованный при формировании обучающей выборки, не получил широкого распространения в аграрной практике региона, что связано со сложностью обеспечения доступности водных ресурсов соответствующего качества для орошения и невозможностью выращивания иных кормовых культур с большей биомассой.

При этом алгоритм идентификации орошаемых кормовых культур рассматривает период до конца 40 недели, что позволяет учитывать и однолетние, и многолетние посевы независимо от дальнейшей обработки поля. Использование машинного обучения позволяет анализировать большие территории и идентифицировать даже малые участки площадью в несколько гектаров.

В таблице 1 приведено сравнение результатов автоматической идентификации с использованием машинного обучения и данных статистической отчетности (согласно <https://rosstat.gov.ru/>) за 2023-2024 гг. По данным официальной статистики, на территории Сакского района поля с орошаемыми кормовыми культурами в эти годы отсутствовали.

Таблица 1 – Сопоставление площади под кормовыми орошаемыми культурами по данным статистической отчетности и площадей, полученных в результате автоматической классификации по данным спутникового мониторинга, га

Table 1 – Comparison of the area under irrigated forage crops according to statistical reporting data and the results of automatic classification according to satellite monitoring data

Район / District	2023 г.		2024 г.	
	Классификация / Classification	Росстат / Rosstat	Классификация / Classification	Росстат / Rosstat
Первомайский / Pervomaiskii	1399,0	1203,0	1182,0	182,0
Красногвардейский / Krasnogvardeiskii	626,0	458,0	601,0	458,0
Сакский / Saksii	332,0	0,0	382,0	0,0

Важно учитывать, что статистические данные могут содержать неполные сведения о площадях всех выращиваемых культур, так как практически невозможно вести полный учёт по всем хозяйствам республики, что особенно выделяется в Сакском и Первомайском районах, а также данные статистики не сопоставляются с данными ЕФИС ЗСН и данными спутникового мониторинга. При этом по данным, полученным от сельскохозяйственных производителей, на данной территории существует большее количество полей, занятых орошаемыми кормовыми культурами. С учетом приведенной информации, точность данного алгоритма составляет 75-84 % по сравнению со статистическими данными.

Заключение. В рамках данного исследования проведена апробация алгоритма идентификации кормовых орошаемых сельскохозяйственных культур на примере степной части Республики Крым. Результаты работы позволяют сделать вывод об успешно проведенном эксперименте: использование совокупности дешифровочных признаков позволило обеспечить корректную классификацию даже малораспространенных типов культур.

Основным признаком является специфичный ход графика NDVI, характерный для данных культур, максимальный объем биомассы и сроки наступления максимума вегетационной активности. Наличие орошаемых площадей определялось по температурным данным почвы. Использование серии мультиспектральных снимков является важным моментом, так как позволяет анализировать динамику значений NDVI, а также косвенно идентифицировать орошаемые участки.

При этом существует ряд ограничений при проведении автоматической классификации по данному алгоритму – подбор снимков, сложность построения обучающей выборки ввиду недостатка данных, а также потребность в экспертной верификации результатов.

При апробации предложенного подхода в других регионах необходимо создавать обучающую выборку непосредственно на анализируемой территории, так как различия в почвенном покрове, рельефе и климатических особенностях региона существенно влияют на динамику вегетации сельскохозяйственных культур. Несмотря на множество нюансов, возникших в процессе исследования, можно сделать вывод, что по ряду выбранных признаков можно идентифицировать орошаемые кормовые культуры с относительно высокой точностью.

Conclusion. As part of this study, an algorithm for identifying irrigated forage crops was tested using the steppe part of the Republic of Crimea as an example. The results of the work allow to conclude that the experiment was successful: the use of a set of decoding features made it possible to ensure the correct classification of even rare types of crops.

The main feature is the specific course of the NDVI graph, typical for these crops, the maximum volume of biomass and the timing of the onset of maximum vegetation activity, much attention was also paid to the presence of irrigation, determined by the soil temperature. It is important to use a series of multispectral images, as this allows analyzing the dynamics of NDVI values, as well as indirectly identifying the irrigated areas.

At the same time, there are a number of limitations when conducting automatic classification using this algorithm – selection of images, complexity of constructing a training sample due to lack of data, as well as the need for expert verification of the results. When testing the proposed approach in other regions, it is necessary to create a training sample directly in the analyzed territory, since differences in soil cover, relief and climatic features of the region significantly affect the dynamics of agricultural crops vegetation. Despite the many nuances that arose during the study, it can be concluded that irrigated forage crops can be identified with relatively high accuracy based on a number of selected features.

Работа выполнена с использованием возможностей Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» [18].

Библиографический список

1. Rogachev A. et al. Intelligent Identification and Multiclass Segmentation of Agricultural Crops Problem Areas by Neural Network Methods. 2024.
2. Raza D., Shu H. et al. 2022. Comparative geospatial approach for agricultural crops identification in interfluvial plain - A case study of Sahiwal district, Pakistan. Pakistan Journal of Agricultural Research. 2022. No 59. Pp. 567-578.
3. Hu P., et al. A Review of the Application of Hyperspectral Imaging Technology in Agricultural Crop Economics. 2024.
4. Duchemin B., Maisongrande P., Boulet G., Benhadj I. A simple algorithm for yield estimates: Evaluation for semi-arid irrigated winter wheat monitored with green leaf area index. Environ. Modell. Softw. 2008. V. 23. № 7. Pp. 876-892.
5. Filippi P., Han S., Bishop T. On crop yield modelling, predicting, and forecasting and addressing the common issues in published studies. Precision Agriculture. 2024. No 26.
6. Shyroka A., et al. 2025. Seasonal Pre-planting Drought Impact-based Forecasting of Crop Yield in India. 2025.
7. Kamangir H., Hajiesmaeeli M., Earles M. California Crop Yield Benchmark: Combining Satellite Image, Climate, Evapotranspiration, and Soil Data Layers for County-Level Yield Forecasting of Over 70 Crops. 2025.
8. Guan J., Nutter F. Relationships between defoliation, leaf area index, canopy reflectance, and forage yield in the alfalfa-leaf spot pathosystem. Comput. Electron. Agric. 2003. Pp. 97-112.
9. Yang K., Chapman S., Carpenter N. Integrating Crop Growth Models with Remote Sensing for Predicting Biomass Yield of Sorghum. Silico Plants. 2021. V. 3. No. 1: diab001.
10. Wijesingha J., et al. Predicting Forage Quality of Grasslands Using UAV-Borne Imaging Spectroscopy. Remote Sensing. 2020. V. 12. No. 1: 126.
11. Zhu X., et al. Underestimates of Grassland Gross Primary Production in MODIS Standard Products. Remote Sensing. 2018. No 10:1771.
12. Muro J., A. Linstädter, P. Magdon, et al. Predicting Plant Biomass and Species Richness in Temperate Grasslands Across Regions, Time, and Land Management with Remote Sensing and Deep Learning. Remote Sensing of Environment. 2022. No 282. 113262.
13. Дубровин К. Н. и др. Идентификация сельскохозяйственных культур с использованием радарных изображений. Информатика и автоматизация. 2022. Выпуск 21. Т. 2. С. 405-426.
14. Bhoutika K., et al. 2022. Application of Remote Sensing and GIS in Crop Yield Forecasting and Water Productivity. In Geospatial Technologies for Land and Water Resources Management. 2022. Pp. 207-222.
15. Karwariya S., et al. Estimating fodder crops area using multi-date high resolution satellite data- a case study in Madhya Pradesh, India. Range Management and Agroforestry. 2022. No 43 (1). Pp. 19-24.
16. Yousaf W., Ahmad S., Shahzad N. 2025. An Object-Based Crop Classification Using Optimum Remotely Sensed Phenological and Multi-Spectral Data in Pakistan. Remote Sens Earth Syst Sci. 2025.
17. Belliss S., et al. Mapping winter forage crops from time series satellite imagery: supporting decision makers and policy planners. 2025.
18. Лупян Е. А. и др. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг»). Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 151-170.
19. Елкина Е. С., Плотников Д. Е., Дунаева Е. А. Исследование возможности дистанционного распознавания орошаемых земель Республики Крым. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Москва: ИКИ РАН, 2024. С. 229.

References

1. Rogachev A. et al. Intelligent Identification and Multiclass Segmentation of Agricultural Crops Problem Areas by Neural Network Methods. 2024.
2. Raza D., Shu H. et al. 2022. Comparative geospatial approach for agricultural crops identification in interfluvial plain - A case study of Sahiwal district, Pakistan. Pakistan Journal of Agricultural Research. 2022. No 59. Pp. 567-578.
3. Hu P., et al. A Review of the Application of Hyperspectral Imaging Technology in Agricultural Crop Economics. 2024.
4. Duchemin B., Maisongrande P., Boulet G., Benhadj I. A simple algorithm for yield estimates: Evaluation for semi-arid irrigated winter wheat monitored with green leaf area index. Environ. Modell. Softw. 2008. V. 23. № 7. Pp. 876-892.
5. Filippi P., Han S., Bishop T. On crop yield modelling, predicting, and forecasting and addressing the common issues in published studies. Precision Agriculture. 2024. No 26.
6. Shyroka A., et al. 2025. Seasonal Pre-planting Drought Impact-based Forecasting of Crop Yield in India. 2025.

7. Kamangir H., Hajiesmaeeli M., Earles M. California Crop Yield Benchmark: Combining Satellite Image, Climate, Evapotranspiration, and Soil Data Layers for County-Level Yield Forecasting of Over 70 Crops. 2025.
8. Guan J., Nutter F. Relationships between defoliation, leaf area index, canopy re-reflectance, and forage yield in the alfalfa-leaf spot pathosystem. *Comput. Electron. Agric.* 2003. Pp. 97–112.
9. Yang K., Chapman S., Carpenter N. Integrating Crop Growth Models with Re-mote Sensing for Predicting Biomass Yield of Sorghum. *Silico Plants*. 2021. V. 3. No. 1: diab001.
10. Wijesingha J., et al. Predicting Forage Quality of Grasslands Using UAV-Borne Imaging Spectroscopy. *Remote Sensing*. 2020. V. 12. No. 1: 126.
11. Zhu X., et al. Underestimates of Grassland Gross Primary Production in MODIS Standard Products. *Remote Sensing*. 2018. No 10:1771.
12. Muro J., A. Linstädter, P. Magdon, et al. Predicting Plant Biomass and Species Richness in Temperate Grasslands Across Regions, Time, and Land Management with Re-mote Sensing and Deep Learning. *Remote Sensing of Environment*. 2022. No 282. 113262.
13. Dubrovin K. N., et al. Identification of Agricultural Crops Using Radar Images. *Informatics and automation*. 2022. I. 21. V. 2. Pp. 405-426.
14. Bhoutika K., et al. 2022. Application of Remote Sensing and GIS in Crop Yield Forecasting and Water Productivity. In *Geospatial Technologies for Land and Water Re-sources Management*. 2022. Pp. 207-222.
15. Karwariya S., et al. Estimating fodder crops area using multi-date high resolution satellite data- a case study in Madhya Pradesh, India. *Range Management and Agroforestry*. 2022. No 43 (1). Pp. 19-24.
16. Yousaf W., Ahmad S., Shahzad N. 2025. An Object-Based Crop Classification Using Optimum Remotely Sensed Phenological and Multi-Spectral Data in Pakistan. *Remote Sens Earth Syst Sci*. 2025.
17. Belliss S., et al. Mapping winter forage crops from time series satellite imagery: supporting decision makers and policy planners. 2025.
18. Lupyan E. A. et al. Experience in Operation and Development of the Center for Collective Use of Satellite Data Archiving, Processing and Analysis Systems (IKI-Monitoring). *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2019. V. 16. № 3. Pp. 151-170.
19. Elkina E. S., Plotnikov D. E., Dunaeva E. A. Study of the Possibility of Remote Recognition of Irrigated Lands in the Republic of Crimea. *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences. 2024. P. 229.

Информация об авторах

Дунаева Елизавета Андреевна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (Российская Федерация, 295043, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150), e-mail: water_crimea@hotmail.com

Елкина Евгения Сергеевна, инженер, ФГБУН «Институт космических исследований РАН» (Российская Федерация, 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 84/32), e-mail: elkina@d902.iki.rssi.ru

Колодяжный Максим Владимирович, младший научный сотрудник, «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (Российская Федерация, 295043, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150), e-mail: kolodijnyj@mail.ru

Authors' Information

Dunaeva Elizaveta Andreevna, Candidate of Engineering Sciences, Leading Researcher, Research Institute of Agriculture of Crimea (Russian Federation, 295493, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya str., 150), e-mail: water_crimea@hotmail.com

Elkina Evgenia Sergeevna, Engineer, Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 117997, Moscow, Profsoyuznaya Str., 84/32), e-mail: elkina@d902.iki.rssi.ru

Kolodijnyj Maksim Vladimirovich, Junior Researcher, Research Institute of Agriculture of Crimea (Russian Federation, 295493, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya str., 150), e-mail: kolodijnyj@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-56

THE ON-BOARD INFORMATION SYSTEM FOR MONITORING THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF THE PLANT PROTECTION PRODUCTS APPLICATION

Evdokimov A. P., Nesmiyanov I. A.

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: apevdokimov@yandex.ru

Received 08.09.2025

Submitted 28.10.2025

The research was carried out within the framework of the research of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation No. FESR-2023-0009 "Development of technology for cultivating vegetable crops based on the use of modern methods of breeding, primary seed production with elements of robotics".

Summary

The article is devoted to the study of the on-board vision system in a mobile device for strip chemical treatment of plants. The influence of the spray position on the effectiveness of plant treatment has been investigated. Solutions for automating the process of controlling the movement of the nebulizer are proposed.

Abstract

Introduction. Strip spraying is widely used in the cultivation of vegetable crops. The main advantages of the method include saving chemicals and minimizing environmental damage when chemicals enter the soil. With strip spraying, both vertical and lateral spraying is used. According to the degree of coating with a

working solution, for example, potato plantings, the method of strip treatment with a side spray is more effective than continuous spraying with a vertical spray. The use of strip spraying at that stage of plant development, when the leaves do not cover a flat strip of land and, therefore, do not protect the soil, requires the use of sprayers with technical vision. The use of vision systems allows adaptive control of the process, reducing the consumption of plant protection products and reducing environmental pollution. **Materials and methods.** The research includes the use of a Raspberry Pi 4B single-board computer and an OV64A40 image sensor for image capture and processing. Algorithms based on the OpenCV library were used for image analysis, including color space transformation, creation of binary masks for highlighting the green color of foliage, morphological operations for filtering noise, and highlighting plant contours. The approximation of the contours by ellipses made it possible to determine the coverage areas of the sprayed substance. **Results and conclusions.** A block diagram of an automated control system based on Raspberry Pi and a microcontroller controlling stepper motors for positioning atomizers has been developed. Analytical dependences of the size of the spray ellipse on the distance to the plant and the angles of inclination are obtained. Experiments with image processing have shown that dividing a plant into zones and individually calculating ellipses for each zone significantly increase the effectiveness of foliage coverage and reduce chemical losses. It has been established that the computing capabilities of a single-board computer are sufficient to implement a real-time system on mobile agricultural machinery.

Keywords: strip spraying, machine vision, image processing, plant spraying technologies, sprayer designs.

Citation. Evdokimov A. P., Nesmiyanov I. A. The on-board information system for monitoring the technological process of the plant protection products application. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 514-524 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-56.

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

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

УДК 631.348:632.934.1:631.3-52

БОРТОВАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВНЕСЕНИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

Евдокимов А. П., кандидат технических наук, доцент
Несмиянов И. А., доктор технических наук, профессор

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках НИР Минобрнауки России № FESR-2023-0009 «Разработка технологии возделывания овощных культур на основе использования современных методов селекции, первичного семеноводства с элементами роботизации».

Актуальность. Полосовое опрыскивание находит широкое применение при возделывании овощных культур. К основным достоинствам метода следует отнести экономию химикатов и минимизацию экологического ущерба при попадании химикатов в почву. При полосовом опрыскивании применяют как вертикальный, так и боковой распыл. По степени покрытия рабочим раствором, например посадок картофеля, способ полосовой обработки с боковым распылом по сравнению со сплошным опрыскиванием с вертикальным распылом является более эффективным. Использование полосового опрыскивания на той стадии развития растений, когда листья не покрывают сплошную полосу земли и, следовательно, не защищают почву, требует применения опрыскивателей с техническим зрением. Использование систем технического зрения позволяет адаптивно управлять процессом, снижая расход средств защиты растений и уменьшая загрязнение окружающей среды. **Материалы и методы.** Исследования включают применение одноплатного компьютера Raspberry Pi 4B и датчика изображения OV64A40 для захвата и обработки изображений. Для анализа изображений использовались алгоритмы на основе библиотеки OpenCV, включая преобразование цветового пространства, создание бинарных масок для выделения зеленого цвета листвы, морфологические операции для фильтрации шумов и выделения контуров растений. Аппроксимация контуров эллипсами позволяла определить зоны покрытия распыляемого вещества. **Результаты и выводы.** Разработана структурная схема автоматизированной системы управления на основе Raspberry Pi и микроконтроллера, управляющего шаговыми двигателями для позиционирования распылителей. Получены аналитические зависимости размеров эллипса распыла от расстояния до растения и углов наклона. Эксперименты с обработкой изображений продемонстрировали, что разделение растения на зоны и индивидуальный расчет эллипсов для каждой зоны значительно повышают эффективность покрытия листвы и сокращают потери химикатов. Установлено, что вычислительных возможностей одноплатного компьютера достаточно для реализации системы в реальном времени на мобильной сельскохозяйственной технике.

Ключевые слова: полосовое опрыскивание, техническое зрение, обработка изображения, технологии опрыскивания растений, конструкции опрыскивателей.

Цитирование. Евдокимов А. П., Несмиянов И. А. Бортовая информационная система мониторинга технологического процесса внесения средств защиты растений. *НВ АУК*. 2025. 6(84). 514-524. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-56.

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. Полосовое опрыскивание находит широкое применение при возделывании овощных культур [1, 2]. К основным достоинствам метода следует отнести экономию химикатов и минимизацию экологического ущерба при попадании химикатов в почву [3, 4]. При полосовом опрыскивании применяют как вертикальный, так и боковой распыл. По степени покрытия рабочим раствором, например посадок картофеля, способ полосовой обработки с боковым распылом по сравнению со сплошным опрыскиванием с вертикальным распылом является более эффективным [5]. Использование полосового опрыскивания на той стадии развития растений, когда листья не покрывают сплошную полосу земли и, следовательно, не защищают почву, требует применения опрыскивателей с техническим зрением [6, 7].

Материалы и методы. В работе применены алгоритмы обработки изображений, получаемых с датчика изображения, основанные на использовании библиотеки с открытым исходным кодом OpenCV.

Датчик изображения OV64A40 компании OmniVision Technologies имеет следующие параметры:

- Разрешение: 64 МП.
- Размер пикселя: 0,7 мкм.
- Размер сенсора: 1/1.34".
- Максимальное разрешение фото: 9280 × 6920 пикселей.
- Режим видео: 15 кадров в секунду.

Микропроцессорное устройство – миниатюрный одноплатный компьютер Raspberry Pi 4B с параметрами:

- Центральный процессор: 4-ядерный 64-битный Cortex-A72 (ARM v8) с частотой 1,5 ГГц.
- Графический процессор: VideoCore VI с частотой 500 МГц.
- Оперативная память: 4 ГБ.
- Цифровой аудио/видеовыход: 2 micro-HDMI версии 2.0.
- Порты для периферии: 2 USB 2.0, 2 и USB 3.0.
- Порт для камеры: Camera Serial Interface (MIPI CSI).
- Порт для экрана: Display Serial Interface (MIPI DSI).
- Поддержка карт памяти: microSD.
- Порты ввода-вывода GPIO: 40.
- Напряжение питания: 5 В.
- Габариты: 85×56×17 мм³.

Для работы с камерой одноплатному компьютеру требуется библиотека *libcamera*, из которой необходимо импортировать класс *controls*, а из библиотеки *picamera2* – классы *Picamera2* и *Preview*. Теперь камеру можно конфигурировать, задавая режим автофокусировки, устанавливая размеры изображения на экране и т.п.

В патенте № 2811688 С1 РФ, МПК А01М 7/00 описан роботизированный комплекс для полосового опрыскивания овощных культур. Если уйти от обсуждения проблем механики, то суть изобретения сводится к следующему. Когда растения 1 (рисунок 1) попадают в поле зрения камеры 2, определяющей проекцию контура обрабатываемых растений в вертикально-поперечной плоскости, происходит обработка изображения, и распылители 3 располагаются так, чтобы полностью покрыть листву химическим раствором при минимальном попадании раствора на почву.

При этом оси распылителей расположены в одной вертикальной плоскости и направлены навстречу друг другу под углом 45°, обеспечивающим слияние верхних краев конусов распыла с образованием потока внутрь, а нижние края не выходят за абрис обрабатываемого растения на почве.

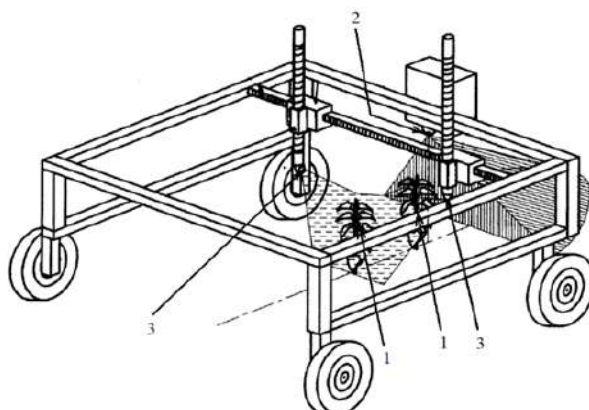


Рисунок 1 – Устройство для полосового опрыскивания
Figure 1 – Strip spraying device

Несмотря на то, что такое взаимное расположение камеры и распылителей имеет свои достоинства, при обработке изображений возникают и некоторые проблемы. Если объектив камеры смотрит вперед, определяя проекцию на вертикальную поперечную плоскость, то для нахождения проекции на вертикальную продольную плоскость, в которой и работают распылители, требуется либо вторая камера, либо бинокулярное техническое зрение. Это особенно ярко проявляется при существенной асимметрии растения, тогда проекции на взаимно перпендикулярные плоскости будут существенно отличаться друг от друга, а процент потерь распыляемой жидкости будет неоправданно велик либо площадь пятна распыления будет недостаточна для качественной обработки. Одним из простых решений указанной проблемы может быть размещение камеры с одной из сторон растения под тем же углом, что и распылители, либо двух камер по сторонам растения, что позволило бы управлять каждым распылителем в отдельности. Будем полагать, что распылители и камера технического зрения работают в вертикально-продольных плоскостях. Структурная схема блока управления таким устройством приведена на рисунке 2.

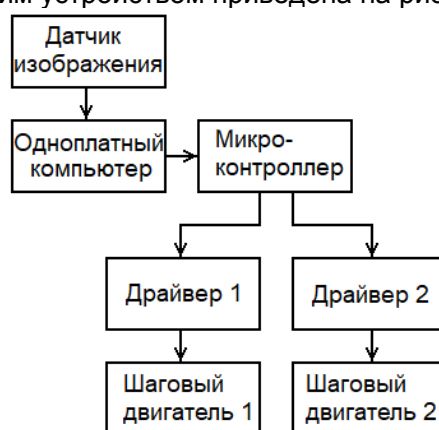


Рисунок 2 – Структурная схема бортовой информационной системы
Figure 2 – Structural diagram of the on-board information system

Изображение с датчика изображения поступает на одноплатный компьютер и по определенному алгоритму вычисляет оси эллипса распыла, который наилучшим образом покрывает растение при обработке. Информация о размере осей поступает в микроконтроллер, который рассчитывает координаты x и y , в которых должен разместиться распылитель.

По своим возможностям Raspberry Pi 4B (или ее отечественный аналог Репка) вполне может решить задачу управления шаговыми двигателями [8], однако не следует забывать, что одноплатному компьютеру приходится выполнять значительный объем вычислений при обработке изображений, поэтому управление работой двигателей следует передать микроконтроллеру, который от Raspberry будет получать лишь информацию о размерах эллипса.

От шаговых двигателей не требуется высокая точность позиционирования, поэтому может быть использован биполярный двигатель в полношаговом режиме. Задача драйверов – пропустить через соответствующую обмотку ток нужной полярности, достаточный для работы двигателя. Направлением вращения шаговых двигателей и временем их работы управляет микроконтроллер.

Установим связь координат x и y , в которых должен разместиться распылитель, с параметрами области, покрываемой распыляемой жидкостью.

Пусть распылитель расположен сбоку от растения, а область распыления лежит в плоскости uoz (рисунок 3). В этом случае область распыления представляет собой эллипс, длина осей которого будет зависеть как от угла распыла α , так и от угла наклона конуса β . В качестве угла β примем угол между биссектрисой угла распыла α и вертикальной осью y .

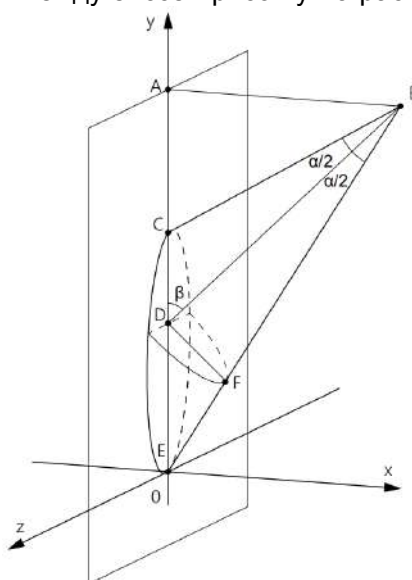


Рисунок 3 – Конус распыления на вертикальную плоскость, расположенный под углом 45°
Figure 3 – Vertical spraying cone at a 45° angle

При расположении распылителя сбоку от растения проекция конуса распыления на вертикальную поперечную плоскость будет выглядеть так, как показано на рисунке 4.

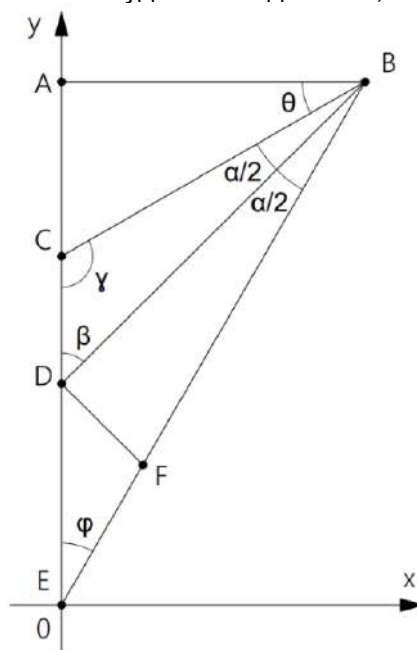


Рисунок 4 – Проекция конуса распыления на вертикальную поперечную плоскость
Figure 4 – Projection of the spray cone on the vertical transverse plane

Если угол $\beta = \pi/2$, то конус будет прямым, и отрезок BD будет представлять собой высоту этого конуса, а DF – радиус окружности в основании. При наклоне конуса ($\beta \neq \pi/2$) в основании образуется эллипс, оси которого соответствуют следующим отрезкам: большая ось a – отрезок CE , малая полуось $b/2$ – отрезок DF . Отметим, что при изменении угла наклона распылителя β изменяется только размер большой оси, малая остается неизменной.

Размер осей a и b эллипса зависит от координат x и y расположения распылителя (точка B), угла при вершине осевого сечения конуса α и угла β наклона распылителя. Установим эти зависимости.

Из треугольника ABC :

$$BC = \frac{x}{\cos \theta},$$

где $\theta = \frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2} - \beta$.

Из треугольника ABE : $BE = \frac{x}{\sin \varphi}$, где $\varphi = \frac{\pi}{2} - \theta - \alpha = \beta - \frac{\alpha}{2}$. По теореме косинусов для треугольника BCE :

$$CE^2 = BC^2 + BE^2 - 2 \cdot BC \cdot BE \cdot \cos \alpha,$$

$$\text{или } a = x \cdot \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \theta} + \frac{1}{\sin^2 \varphi} - \frac{2 \cdot \cos \alpha}{\cos \theta \cdot \sin \varphi}}.$$

Таким образом, подставляя значения углов и применяя формулы приведения, окончательно получаем:

$$a = x \cdot \sqrt{\frac{1}{\sin^2(\beta + \frac{\alpha}{2})} + \frac{1}{\sin^2(\beta - \frac{\alpha}{2})} - \frac{2 \cdot \cos \alpha}{\sin(\beta + \frac{\alpha}{2}) \cdot \sin(\beta - \frac{\alpha}{2})}}. \quad (1)$$

Для нахождения малой оси эллипса b из треугольника BCD по теореме синусов найдем высоту конуса BD :

$$\frac{BD}{\sin \gamma} = \frac{BC}{\sin \beta},$$

где $\gamma = \pi - \beta - \frac{\alpha}{2}$.

$$\text{Тогда } BD = BC \cdot \frac{\sin \gamma}{\sin \beta}.$$

$$\text{Из треугольника } BDF: DF = BD \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = BC \frac{\sin \gamma}{\sin \beta} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

Учитывая, что малая ось эллипса $b = 2 \cdot DF$, а $BC = \frac{x}{\cos \theta}$, получим:

$$b = \frac{2 \cdot x \cdot \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{\sin \beta \cdot \cos \theta}.$$

Подставляя значения углов и применяя формулы приведения, окончательно получаем:

$$b = x \cdot \frac{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{\sin \beta}. \quad (2)$$

Обращают на себя внимание особые точки $\beta = \pm \alpha/2$ в выражении (1) и $\beta = 0$ в выражении (2), которые дают нулевое значение знаменателей. В этих случаях будет происходить следующее. При $\beta = \alpha/2$ нижняя (по рисунку 4) образующая конуса BE принимает вертикальное положение, большая ось эллипса стремится к бесконечности, и эллипс перестает существовать. Ситуация, при которой $\beta = -\alpha/2$ может возникнуть только в том случае, когда распылитель, который должен находиться справа (по рисунку) от растения, перейдет на левую сторону, что недопустимо, учитывая конструкцию установки. При $\beta = 0$ эллипс также не может быть получен даже теоретически, поскольку высота конуса оказывается параллельной вертикальной плоскости, в которой мы ищем эллипс, и тогда в зависимости от расстояния распылителя от плоскости будут получены в сечении ветвь гиперболы либо треугольник (если две стороны треугольника – это образующие конуса, а третья сторона расположена на поверхности почвы).

Высота расположения распылителя (координата y) может быть найдена из треугольника ABE (рисунок 4) через координату x :

$$AE = \frac{AB}{\operatorname{tg} \varphi},$$

или:

$$y = \frac{x}{\operatorname{tg} \varphi} = \frac{x}{\operatorname{tg} (\beta - \frac{\alpha}{2})}. \quad (3)$$

Обратим внимание, что для микроконтроллера вычисление координаты x по выражениям (1) и (2) не потребует значительного объема памяти, поскольку углы α и β не изменяются у мобильной установки в процессе обработки растений, т.е. координата x связана с длинами осей эллипса через коэффициенты пропорциональности. То же можно сказать и о координате y в выражении (3).

Результаты и обсуждение. В практическом плане вопросы влияния угла распыла форсунок α на размеры обработанной полосы и неравномерность внесения химического вещества рассмотрены в статье [9] на примере форсунок с углами распыла 65° и 80° . Что же касается угла β , то обычно его выбирают равным 45° .

В силу большого разнообразия форм растений найденные размеры эллипса могут быть в первом приближении приняты в качестве области, покрываемой распыляемой жидкостью. А главное – полученные соотношения (1) и (2) позволяют не только определить размеры эллипса покрываемого распыляемым веществом в зависимости от расстояния распылителя от растения, углов наклона и раствора конуса, но и решить обратную задачу: на каком расстоянии от растения следует расположить распылитель с известными характеристиками, чтобы обеспечить полное покрытие растения распыляемым веществом и при этом минимизировать попадание химикатов в почву.

В качестве примера рассмотрим обработку изображения, показанного на рисунке 5.



Рисунок 5 – Исходное изображение
Figure 5 – Original image

Видеокамера, как правило, выдает изображение в формате RGB [10], а библиотека с открытым исходным кодом для работы с алгоритмами компьютерного зрения, машинного обучения и обработки изображений OpenCV требует его перевод в формат HSV [11]. С помощью функции `cv2.cvtColor()` осуществляется операция конвертации цветового пространства: `hsv = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2HSV)`.

Для выделения зеленого цвета листьев на изображении задаются нижняя и верхняя границы цвета:

```
lower_green = np.array([35, 50, 50])
```

```
upper_green = np.array([85, 255, 255])
```

Далее функция `cv2.inRange()` создает бинарную маску, которая выделяет пиксели изображения, попадающие в заданный диапазон цветов:

```
mask = cv2.inRange(hsv, lower_green, upper_green).
```

Результат действия функции показан на рисунке 6.



Рисунок 6 – Результат действия функции *cv2.inRange*
Figure 6 – Result of the *cv2.inRange* function

Если полученная маска не удовлетворяет требованиям (имеются мелкие шумы и выступы, точечный шум вокруг объекта), можно применить морфологические операции, такие как *Closing* (заполняет мелкие отверстия и щели внутри объекта), *Opening* (удаляет мелкие шумы и выступы) и др. Например,

```
kernel = np.ones((5,5), np.uint8)
mask = cv2.morphologyEx(mask, cv2.MORPH_CLOSE, kernel)
mask = cv2.morphologyEx(mask, cv2.MORPH_OPEN, kernel).
```

Поскольку наша цель получить внешний контур растения (без внутренних областей), то может быть применена функция *cv2.findContours()*:

```
contours, _ = cv2.findContours(mask, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE).
```

При этом можно достаточно гибко осуществить фильтрацию по площади.

Результат отрисовки контуров на исходном изображении с помощью функции *cv2.drawContours()* показан на рисунке 7.



Рисунок 7 – Отрисовка контуров
Figure 7 – Drawing contours

Далее объединяем все точки контуров с помощью функции *np.vstack()*, определяем высоту растения и строим эллипс, большая ось которого равна высоте обрабатываемой области. Это может быть сделано следующим образом:

Находим границы прямоугольника, в котором располагается растение на изображении, для определения высоты:

```
x, y, w, h = cv2.boundingRect(all_points)
```

Параметры эллипса:

```
center_x = x + w // 2 # Центр по x
```

```
center_y = y + h // 2 # Центр по y
```

Оси эллипса:

```
major_axis = h # Большая ось = высота контура (вертикальная)
```

$minor\_axis = w * k$ # Малая ось = ширина, умноженная на коэффициент

Угол поворота: 0 градусов (большая ось будет вертикальной)

$angle = 0$

Параметры эллипса: (малая_ось, большая_ось)

$ellipse\_params = ((center\_x, center\_y), (minor\_axis, major\_axis), angle)$

Далее параметры эллипса используются для его построения. Результат применения функций показан на рисунке 8.

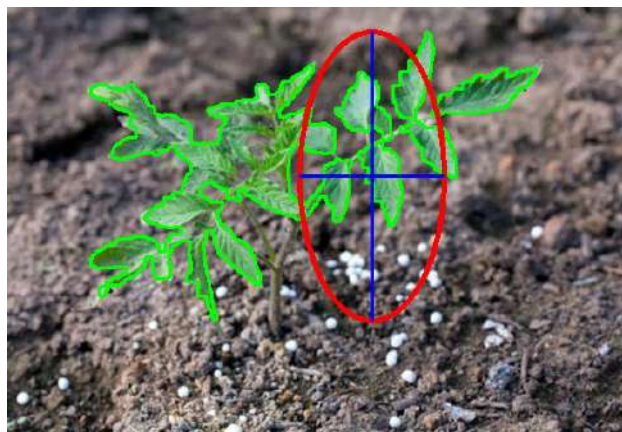


Рисунок 8 – Результат аппроксимации эллипсом (редко расположенные листья)

Figure 8 – Result of ellipse approximation (sparsely spaced leaves)

Обработка изображений позволяет измерить площадь листы и эллипса, покрываемого распыляемой жидкостью, а также выяснить, какая часть распыляемой жидкости попадает на листву: например, на рисунке 8 площадь листы, попавшей в область, ограниченную эллипсом, составляет лишь 28,2 %, т.е. при такой редкой листве значительная часть (71,8 %) распыляемой жидкости попадает на почву.

Другая ситуация складывается при обработке более густой листвы (рисунок 9). Здесь процент заполнения эллипса листвою составляет 66,7 %.

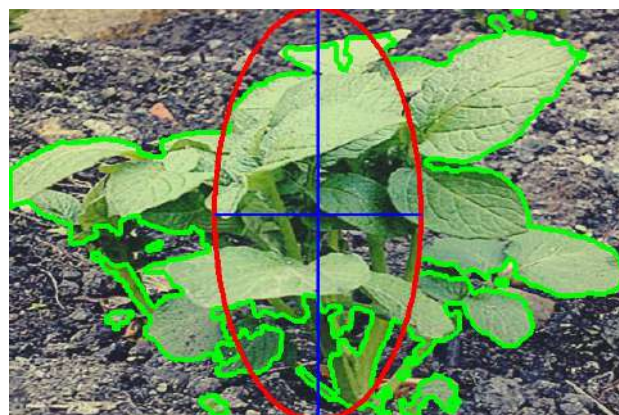


Рисунок 9 – Результат аппроксимации эллипсом (густая листва)

Figure 9 – Result of the ellipse approximation (dense foliage)

Становится очевидным, что такой подход, когда большая ось эллипса определяется, по сути, высотой растения и не изменяется в процессе его обработки, приводит к неоправданным потерям химикатов и засорению почвы. Улучшить ситуацию можно, если разделить изображение по горизонтали на части, хотя бы две, и вычислять длину большой оси эллипса для каждой из частей. При этом порядок действий будет следующим: выделение прямоугольника, в котором располагается заданная часть растения; вычисление осей эллипса; расчет площадей эллипса и листвы внутри него. Теперь площадь листвы, попавшей в область, ограниченную эллипсом, составляет уже 38,4 % (рисунок 10а), результат по левой части рисунка еще более убедителен – 48,2 % (рисунок 10б).

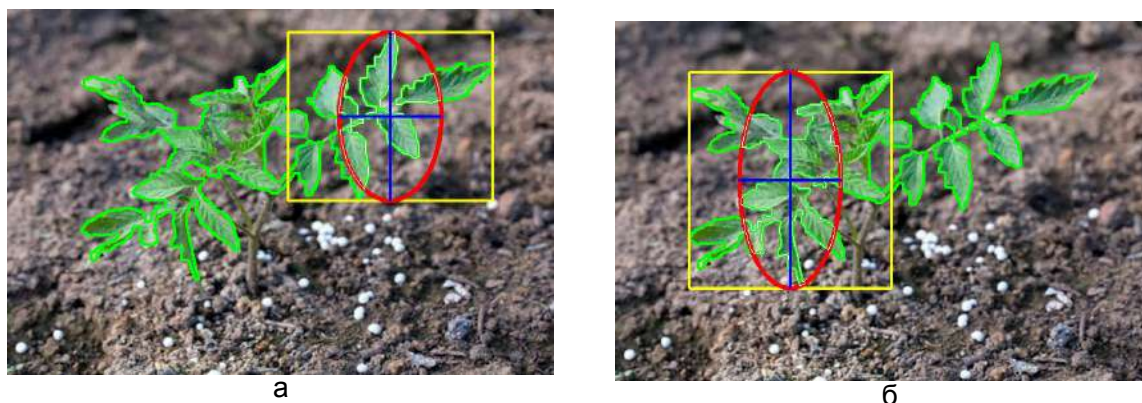


Рисунок 10 – Определение параметров эллипса распыла при делении изображения растения на две части: а) для правой части растения; б) для левой части

Figure 10 – Determination of spray ellipse parameters by dividing the plant image into two parts: a) for the right part of the plant; b) for the left side

При этом не следует забывать, что изменение длины большой оси эллипса приведет к смещению точки *В* (рисунок 3), то есть потребует перемещения форсунки, а это процесс инерционный. Следовательно, количество частей, на которые делится изображение, должно быть увязано с постоянной времени переходных электромеханических процессов в системе и временем обработки изображения.

Следует также учесть то обстоятельство, что при наличии неровных краев листьев чем меньше распыляемого вещества попадает на почву, тем больше площадь необработанных листьев по краям куста. Если же эллипс распыления полностью охватывает куст, возрастает объем жидкости, попадающей на почву. Кроме того, при настройке работы системы в полевых условиях должно быть учтено, что при удалении форсунки от обрабатываемого растения или снижении напора в распылителе капли жидкости, перемещаясь по параболе под действием силы тяжести, будут создавать пятно распыления, по форме отличное от эллипса. На форму пятна распыления может также влиять ветер.

Закключение. В ходе исследования была разработана структурная схема автоматизированной микропроцессорной системы управления шаговыми двигателями, позволяющая расположить форсунку распылителя при опрыскивании растений так, чтобы минимизировать попадание химических веществ на почву при сохранении достаточной площади опрыскивания листьев. Установлено, что вычислительные мощности одноплатного компьютера Raspberry Pi 4B достаточны для обработки получаемых изображений, а малые габариты и низковольтное питание позволяют разместить данный компьютер на мобильном устройстве практически любого вида.

Размеры эллипса, покрываемого распыляемой жидкостью, могут быть программно изменены как в сторону увеличения его площади, так и в сторону уменьшения в зависимости от геометрических параметров обрабатываемых растений, как может быть изменена и ориентация его осей.

Conclusion. In the course of the study, an automated microprocessor stepper motor control system was developed, which allows the spray nozzle to be positioned when spraying plants in such a way as to minimize the ingress of chemicals to the soil while maintaining a sufficient area of foliage spraying. It has been established that the computing power of a Raspberry Pi 4B single-board computer is sufficient to process the resulting images, and the small dimensions and low-voltage power supply make it possible to place this computer on a mobile device of almost any kind. The dimensions of the ellipse covered with the sprayed liquid can be programmatically changed both in the direction of increasing its area and in the direction of decreasing, depending on the geometric parameters of the treated plants, as well as the orientation of its axes.

Библиографический список

1. Борисенко И. Б., Скрипкин Д. В., Мезникова М. В., Роменская О. Н., Сидоров А. Н., Гагарина Е. В. Разработка и обоснование применения зажима корпуса распылителя в технологии полосового дифференцированного опрыскивания. Известия НВ АУК. 2023. № 4 (72). С. 367-379.
2. Мезникова М. В. Влияние технологических параметров вертикального опрыскивания на обеспечение экологической безопасности при возделывании пропашных культур. Известия НВ АУК. 2022. № 4 (68). С. 502-514.
3. Мезникова М. В., Борисенко И. Б., Улыбина Е. И. Снижение риска антропогенного воздействия при выполнении полосовой химической обработки в ресурсосберегающей системе земледелия. Вестник аграрной науки Дона. 2021. № 1 (53). С. 18-26.
4. Wu M., Liu S., Li Z., Ou M., Dai S., Dong X., Wang X., Jiang L., Jia W. A Review of Intelligent Orchard Sprayer Technologies: Perception, Control, and System Integration. Horticulturae. 2025. V. 11. P. 668.

5. Борисенко И. Б., Чамурлиев О. Г., Мезникова М. В., Скрипкин Д. В., Габуншина А. А., Соколов Д. А. Исследование качественных показателей опрыскивания с применением полосовой обработки на посадках картофеля. *Известия НВ АУК*. 2023. № 3 (71). С. 403-413.
6. Bykov S. World trends in the creation of robots for spraying crops E3S Web of Conferences. 2023. No 380. 01011.
7. Al-Mallahi A., Motalab M., Hassan I., Esau T., Enabling Insecticide Spot Application on Boom Sprayer by Developing Machine Vision and Communication Components. 2024.
8. Eray Yı. Design of Stepper Motor Control Interface with Embedded Systems. *International Journal of Engineering Research and Development*. 2018. V. 14. No. 06. Pp. 17-22.
9. Мезникова М. В., Борисенко И. Б., Улыбина Е. И., Бояркина О. В. Повышение эффективности химической обработки пропашных культур в рамках полосовой технологии. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. 2019. Т. 14. № 4. С. 453-465.
10. Mavridou E., Vrochidou E., Papakostas G. A., Pachidis T., Kaburlasos V. G. Machine Vision Systems in Precision Agriculture for Crop Farming. *Journal of Imaging*. 2019. No 5 (12). 89.
11. Zidanul Akbar et al. (2025). Deteksi Warna Dasar Menggunakan Metode Thresholding HSV dengan OpenCV. *Neptunus: Jurnal Ilmu Komputer Dan Teknologi Informasi*. 2025. No 3 (3). Pp. 256-264.

References

1. Borisenko I. B., Skripkin D. V., Meznikova M. V., Romenskaya O. N., Sidorov A. N., Gagarina E. V. Development and justification of the application of the spray body clamp in the technology of strip differentiated spraying. *Proceedings of the LV AUC*. 2023. No 4 (72). Pp. 367-379.
2. Meznikova M. V. The influence of technological parameters of vertical spraying on ensuring environmental safety in the cultivation of arable crops. *Proceedings of the LV AUC*. 2022. No 4 (68). Pp. 502-514.
3. Meznikova M. V., Borisenko I. B., Ulybina E. I. Reducing the risk of anthropogenic impact during strip chemical treatment in a resource-saving farming system. *Bulletin of Agrarian Science of the Don*. 2021. No 1 (53). Pp. 18-26.
4. Wu M., Liu S., Li Z., Ou M., Dai S., Dong X., Wang X., Jiang L., Jia W. A Review of Intelligent Orchard Sprayer Technologies: Perception, Control, and System Integration. *Horticulturae*. 2025. V. 11. P. 668.
5. Borisenko I. B., Chamurliov O. G., Meznikova M. V., Skripkin D. V., Gabunshina A. A., Sokolov D. A. Investigation of qualitative indicators of spraying using strip treatment in potato plantings. *Proceedings of the LV AUC*. 2023. No 3 (71). Pp. 403-413.
6. Bykov S. World trends in the creation of robots for spraying crops E3S Web of Conferences. 2023. No 380. 01011.
7. Al-Mallahi A., Motalab M., Hassan I., Esau T., Enabling Insecticide Spot Application on Boom Sprayer by Developing Machine Vision and Communication Components. 2024.
8. Eray Yı. Design of Stepper Motor Control Interface with Embedded Systems. *International Journal of Engineering Research and Development*. 2018. V. 14. No. 06. Pp. 17-22.
9. Meznikova M. V., Borisenko I. B., Ulybina E. I., Boyarkina O. V. Improving the efficiency of chemical treatment of row crops in the framework of strip technology. *Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Agronomy and animal husbandry*. 2019. Vol. 14. No. 4. Pp. 453-465.
10. Mavridou E., Vrochidou E., Papakostas G. A., Pachidis T., Kaburlasos V. G. Machine Vision Systems in Precision Agriculture for Crop Farming. *Journal of Imaging*. 2019. No 5 (12). 89.
11. Zidanul Akbar et al. (2025). Deteksi Warna Dasar Menggunakan Metode Thresholding HSV dengan OpenCV. *Neptunus: Jurnal Ilmu Komputer Dan Teknologi Informasi*. 2025. No 3 (3). Pp. 256-264.

Информация об авторах

Евдокимов Алексей Петрович, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: apevdokimov@yandex.ru

Несмиянов Иван Алексеевич, доктор технических наук, профессор, проректор по учебной работе, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: ivan_nesmiyanov@mail.ru

Authors' Information

Evdokimov Aleksei Petrovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: apevdokimov@yandex.ru

Nesmiyanov Ivan Alekseevich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Professor, Vice-Rector for Academic Affairs, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: ivan_nesmiyanov@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-57

THE PROVISION OF SPARE PARTS FOR THE MOBILE EQUIPMENT SERVICE STATIONS

¹Kartashov A. A., ²Uspensky I. A., ²Yukhin I. A., ²Anikin N. V.,
²Filyushin O. V.

¹*Penza State University of Architecture and Construction
Penza, Russian Federation*

²*Ryazan State Agro-technological University named after P. A. Kostychev
Ryazan, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: kutyraev@bk.ru

Received 24.04.2025

Submitted 18.09.2025

The study was carried out under contract No. 6-2024 for conducting research work at the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education RSATU.

Summary

The article discusses the problems of providing transport and technological machinery and equipment with spare parts for the entire life of their operation.

Abstract

Introduction. In the modern conditions of development of the motor transport industry, ensuring uninterrupted operation of vehicles becomes a priority task. Effective functioning of the vehicle fleet directly depends on timely and high-quality provision of spare parts of the appropriate nomenclature. An integrated approach to organizing the supply system includes the following key aspects: Providing the required number of spare parts. Precise determination of their location. Compliance with delivery time parameters. Compliance with technical requirements. A complex system of interaction is formed between manufacturers and end consumers of spare parts, including: Logistics operations for the delivery of components. Warehouse infrastructure for storage. Resource distribution mechanisms. Sales and distribution systems. Demand forecasting methods. **Object.** The object of the study is spare parts of transport and transport-technological machines as a key element of the material and technical support system for maintenance and repair processes. **Materials and methods.** For the experimental verification of the consumption of spare parts, the method of statistical research under the conditions of service station operation and data from diagnostic checks of vehicles during maintenance and repair were used. **Results and conclusions.** The main cost burden when forecasting the specific costs of maintaining the vehicle's operability during operation is borne by the costs of purchasing spare parts. For vehicles, they constitute about 65 % of the total average weighted cost of maintenance and repair services per vehicle during the period of operation.

Keywords: spare parts, consumption rates of spare parts, logistics systems, wear of parts, mobile equipment.

Citation. Kartashov A. A., Uspensky I. A., Yukhin I. A., Anikin N.V., Filyushin O. V. The provision of spare parts for the mobile equipment service stations. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 524-533 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-57.

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 656.062:629.084

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАПАСНЫМИ ЧАСТЯМИ СТАНЦИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
МОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

¹Карташов А. А., кандидат технических наук, доцент

²Успенский И. А., доктор технических наук, профессор

²Юхин И. А., доктор технических наук, профессор

²Аникин Н. В., кандидат технических наук, доцент

²Филиушин О. В., кандидат технических наук

¹ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»
г. Пенза, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева»
г. Рязань, Российская Федерация

Исследование выполнено по договору № 6-2024 на проведение научно-исследовательской работы ФГБОУ ВО РГАТУ.

Актуальность. В современных условиях развития автотранспортной отрасли обеспечение бесперебойной работы транспортных средств становится приоритетной задачей. Эффективное функционирование автомобильного парка напрямую зависит от своевременного и качественного обеспечения запасными частями соответствующей номенклатуры. Комплексный подход к организации системы снабжения включает следующие ключевые аспекты: обеспечение необходимого количества запасных частей; точное определение места их размещения; соблюдение временных параметров поставок; соответствие техническим требованиям. Между производителями и конечными потребителями запасных частей формируется сложная система взаимодействия, включающая: логистические операции по доставке компонентов; складскую инфраструктуру для хранения; механизмы распределения ресурсов; системы сбыта и реализации; методики прогнозирования потребности. **Объект.** Объектом исследования выступают запасные части транспортных и транспортно-технологических машин как ключевой элемент системы материально-технического обеспечения процессов технического обслуживания и ремонта. **Материалы и методы.** Для экспериментальной проверки расхода запасных частей был использован метод статистического исследования в условиях работы СТО и данные диагностических проверок автомобилей в процессе проведения ТО и ТР. **Результаты и выводы.** Основную стоимостную нагрузку при прогнозировании удельных затрат на поддержание работоспособности автомобиля в процессе эксплуатации несут затраты на покупку запасных частей. Они составляют для автомобилей около 65 % общей средневзвешенной стоимости услуг по ТО и ТР на один автомобиль за период эксплуатации.

Ключевые слова: запасные части, нормы расхода запасных частей, системы материально-технического снабжения, износ деталей, мобильная техника.

Цитирование. Карташов А. А., Успенский И. А., Юхин И. А., Аникин Н.В., Филюшин О. В. Обеспечение запасными частями станций технического обслуживания мобильной техники. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 524-533. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-57.

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. Интенсивность износа и разрушения компонентов, включая их поломки из-за нештатных обстоятельств, определяется различными аспектами, которые классифицируются на эксплуатационные и технологические факторы.

В процессе эксплуатации принимаются меры для минимизации воздействия окружающей среды на усталостную прочность элементов, включая применение антикоррозийных обработок. Для увеличения износостойкости трущихся пар используют методы поверхностного упрочнения, эффективные смазочные материалы и другие технологии [1].

Основные функции системы материально-технического снабжения включают координацию выпуска запасных частей и их распределение в соответствии с требованиями ремонтных и торговых предприятий. Оформление заказов производится на основе установленных норм расхода, учета проданных изделий за предыдущий период, остатков на складах и экскедентных запасов, учитываемых в производственных и снабженческих подразделениях.

Процесс снабжения запасными частями для автомобилей определяется рядом ключевых параметров. Основные из них включают в себя объем производства автотранспорта, структуру автопарка по модельному ряду и возрасту транспортных средств, географическое распределение автомобилей по территориальным единицам, средний годовой пробег автомобилей, условия их использования, а также количество производителей, занимающихся выпуском соответствующих комплектующих.

Для улучшения работы системы логистики запасных частей в корпоративных оборотных активах, специалисты ставят перед собой цели минимизации избыточных запасов, повышения качества бухгалтерского учета и отчетности, развития информационной поддержки, ускорения поставок компонентов для роста товарооборота и глубокого анализа потребительского спроса.

Сокращение избыточных запасов достигается путем улучшения логистической дисциплины среди поставщиков и осуществления регулярных доставок к конечным потребителям, включая сервисные технические центры и розничные магазины. В этом процессе ключевую роль играет настройка точных нормативов для запасов, применение систем автоматизации для контроля над циркуляцией комплектующих, определение трудозатрат на выполнение складских операций и корректировка численности складского персонала.

Не только автопроизводители занимаются производством запасных частей. Такие компании как «Пирелли» в Италии, «Феродо» в США и «Гирлннг» в Великобритании владеют сетью собственных сервисных центров. В дополнение, в Великобритании страховые компании и нефтяные гиганты также предоставляют услуги по обслуживанию и ремонту автомобилей. Примером может служить «Бритиш Петролеум», которая управляет сотнями таких станций, как нефтяные компании «Shell» и «Esso».

Национальные и международные исследования демонстрируют, что примерно 600 ключевых компонентов в автомобиле играют решающую роль в его надежности. Следовательно, критической задачей является стратегическое распределение запасных частей согласно спросу среди пользователей, гарантируя их доступность в требуемых объемах, своевременно и в нужном месте. Это способствует улучшению уровня сервиса для населения, повышению эффективности труда и более полному использованию производственных возможностей сервисных станций с учетом предоставляемых услуг и выполняемых работ.

Снабжение сервисных центров запасными частями значительно отличается от логистических процессов на автомобильных заводах и других предприятиях машиностроения. Прогнозирование потребления запчастей в автообслуживании зачастую бывает непредсказуемым, поскольку невозможно точно заранее установить объемы их использования, что осложняет планирование запасов. В отличие от этого, в машиностроении инвентарный объем тесно связан с производственными циклами и заранее утвержденными графиками выпуска продукции, разбитыми по месяцам, дням и даже часам. В секторе обслуживания автомобилей необходимо поддерживать широкий ассортимент запасных частей

не только для текущих моделей, но и для их различных модификаций, а также для моделей, производство которых уже прекращено. Кроме того, на складах требуется хранить детали для автомобилей, снятых с производства 10-25 лет назад, что подчеркивает важность разнообразия и глубины ассортимента запчастей.

Следовательно, увеличиваются запасы по ассортименту, количеству товаров, и в общем объеме, что формирует иллюзию процветания, в то время как спрос на автосервисные услуги для ремонта транспортных средств все еще не обеспечен.

Ситуация может улучшиться, если наладить систему размещения запасных деталей к автомобилям, которые больше не выпускаются, на центральных складах автозаводов и в региональных дистрибьюторских центрах. При этом, стоит установить минимальный срок хранения для обычных запасов в шесть месяцев, а для малоиспользуемых компонентов продолжительность хранения должна соответствовать фактическому периоду эксплуатации транспортных средств до их капремонта или списания.

Одной из ключевых задач в управлении ресурсами предприятий, занимающихся распределением рыночных запасов, является внедрение надежных метрик для эффективного контроля за движением оборотных активов, включая малоходовые или уже не выпускаемые запасные части. Критическим показателем здесь выступает коэффициент оборачиваемости оборотных средств, который в настоящее время составляет от 1,4 до 3 циклов в год.

В процессе использования авто возможно приблизительно оценить пробег до достижения критического износа и усталостного повреждения компонентов. Однако предсказание поломок или неожиданных сбоев остаётся сложной задачей. Такие типы сбоев принимают во внимание при планировании необходимости в запасных частях [4].

Материалы и методы. Для эффективного планирования логистики и поставок необходимо учитывать следующие ключевые элементы: потенциал производственных линий, структура логистических узлов, номенклатура производимых изделий, условия выполнения контрактов, технические характеристики товаров, системы обработки заказов и их распределение среди поставщиков, коэффициенты объемов заказов, наличие финишной продукции на складах дистрибьюторов, а также уровень запасов необходимого сырья [2, 3, 5].

Автоматические настройки системы представляют собой конфигурационные параметры для обеспечения её надежной работы, включая определение размеров плана. Они жизненно важны для предотвращения бесконечных циклов, вызванных ошибочным вводом данных пользователя.



Рисунок 1 – Расчет плана поставок на уровне поставщиков
Figure 1 – Analytical graphs of real and potential demand

Заказ, обработанный на дистрибьюторском центре для производства. Результаты обработки:

Заказ на производство, обработанный со стороны поставщиков.

Анализ ошибок в программе плана производства [13, 14] на уровне поставщиков выявил несоответствия. Система складского учета, направленная на автоматизацию обработки поступлений, классифицирует и регистрирует товары. Внедрение технологии сканирования штрих-кодов способствует сокращению ручного ввода. Каждый товарный блок маркирован производителем уникальным идентификатором (ОЕ-номер) и штрих-кодом, вмещающим имя и номер изделия. Сканер считывает код, и система экстрагирует из него уникальный идентификатор для дальнейшего сопоставления с базой данных поставщиков. При отсутствии совпадений, система активизирует алгоритм поиска альтернативных номеров. Если подходящий товар не найден, система издает звуковой сигнал для оператора, инициируя ручной ревизионный процесс товара.

Когда система идентифицирует соответствующий элемент в партии товаров, она немедленно регистрирует этот товар в базе данных и инициирует печать складской этикетки. Эта этикетка несет важные данные, включая уникальный код клиента, номер заказа и дополнительные справочные сведения. Ключевым элементом этикетки является встроенный штрих-код, который служит уникальной ссылкой на детали покупки в системе базы данных. Этот штрих-код играет центральную роль в процессах логистики, позволяя точно комплектовать и отправлять товары конечному получателю.

Для оценки износа запасных частей применялся метод статистического анализа на техническом обслуживании автомобилей. Исследование фокусировалось на шассийных агрегатах транспортных средств. Специализированная станция технического обслуживания (СТО), проводящая техническое обслуживание и технический ремонт (ТО и ТР), служила площадкой для сбора данных. При приеме автомобиля на СТО составлялась актуальная заявка на ТО и ТР, где фиксировались данные о длительности использования и пробеге. Информацию о замене деталей и характере выполненных работ указывали в заказ-наряде. Анализ собранных данных осуществлялся с применением методов теории надежности. Мониторинг 1,4 тыс. автомобилей с пробегом от 0 до 150 тыс. км за 4 года показал, что у 900 из них требовалась замена компонентов, включая шарнир равных угловых скоростей, элементы тормозной системы, заднюю и переднюю подвеску, коробку передач и рулевое управление.

Анализируя оперативные данные о продолжительности использования и километrage транспортных средств, обслуженных в автосервисе, было выявлено, что 97 % транспортных средств накапливают до 90 тысяч километров, тогда как 80 % из них не старше пяти лет с даты их изготовления. Наблюдаемая закономерность позволила классифицировать транспортные средства на две категории: первая включает автомобили, эксплуатируемые до пяти лет с момента производства, а вторая – автомобили с более длительным сроком использования, что коррелирует с объемом необходимых запасных частей в период обслуживания.

В автомобильных агрегатах [11,14,15] различного года выпуска была произведена замена 96 % компонентов при достижении пробега 105 тыс. км. Основная часть, 90 %, этих работ завершена к 90 тыс. км. При этом замена узлов сразу в двух или более агрегатах затронула 12,5 % авто, обслуживаемых на одном техническом месте. Работы по замене начинались с 15 тыс. км и осуществлялись в определенных интервалах: компоненты трансмиссии и шарниры равных угловых скоростей (ШРУС) обновлялись до 75 тыс. км, элементы задней подвески и системы рулевого управления доводились до состояния новых до 90 тыс. км, а передняя подвеска обновлялась до 105 тыс. км.

Выявлено, что компоненты ниже 10 тыс. рублей составляют примерно 90 % всех запчастей, но общий объем их стоимости достигает всего 24 %. В то время как более дорогие элементы, такие как рулевые рейки или коробки передач, хоть и составляют всего 10 %, занимают значительные 76 % от стоимостной структуры. Среди 153 наименований компонентов заменено 40 на рабочих станциях СТО. Данные о надежности и эксплуатации автомобилей [16-19], не учитывая пропускную способность поста, привели к избыточному накоплению запасов: на сальник полуоси в 3-7 раз, на полуось в 1,5-5 раз, на сальник коленчатого вала в 8-11 раз и на редуктор в 4 раза. В ходе эксперимента выяснилось, что в некоторые годы потребности СТО не были полностью покрыты.

При формировании годовых заказов на необходимый ассортимент и объёмы запасных частей обычно опираются на стандарты сервисного обслуживания. Однако до сих пор заказы на станциях не коррелировались с реальными условиями использования автомобилей в определённом регионе и производственной мощностью сервисных центров. Существующие средние нормативы расхода запчастей на сотню автомобилей в год из-за их усреднённости не позволяют оптимально использовать запасы. Эти нормы прежде всего служат для организации производства компонентов, тогда как наличие излишков или нехватка запчастей на сервисных станциях свидетельствуют о недостаточной координации между потребностями СТО и производственными возможностями.

С учетом ускоренного роста автопарка, эффективность системы поставок запасных частей на сервисные станции становится критически важной. Важными шагами для оптимизации являются составление списка наиболее востребованных и критичных для безопасности компонентов для различных типов СТО, а также стандартизация норм запасов на складах. Такие меры не только повышают доступность комплектующих для автовладельцев, но и минимизируют излишки на складах, способствуя оптимальному объёму запасов. Это, в свою очередь способствует более рациональному использованию оборотных средств за счет освобождения ресурсов, ранее заблокированных в избыточных запасах.

Транспортное средство [20, 21] при его использовании нуждается в замене износившихся компонентов для обеспечения его надлежащего функционирования, что требует стратегического подхода к управлению запасами автозапчастей. Важно осуществлять систематический учет расхода запасных частей для каждого типа транспортного средства. При этом, успешное управление запасом запчастей предполагает анализ данных об их использовании для каждой модели автомобиля, что позволяет более точно предсказать и планировать материальные и трудовые ресурсы на их замену и обслуживание для всего автопарка.

Прогнозирование затрат на автозапчасти реализуемо при анализе данных о предыдущем потреблении этих компонентов (месяц, квартал, год). Эти данные помогают выявить удельные расходы на запчасти, использованные при обслуживании, сопоставленные с количеством отремонтированных автомобилей, исключая расходы на ремонт проданных авто.

Для анализа общих издержек на обслуживание машины или устройства важно учитывать динамику изменения этих затрат во время использования транспортного средства. Расчет удельных расходов на комплектующие на каждую 1000 км пробега производится путем деления общих годовых расходов на годовой пробег, или же на общий пробег автомобиля за все время его использования владельцем. Зафиксировать пробег можно по данным спидометра. Расходы за год эксплуатации определяются как одна из частей в общем пробеге машины с момента начала его использования. Издержки на запчасти в начальные периоды (годы) использования обычно ниже, чем после 4-5 лет эксплуатации. Соответственно, более точно оценивать средние траты на запчасти следует, учитывая весь предполагаемый или реализованный пробег с момента начала использования транспортного средства.

Для составления списка запасных частей с высокой частотой замены был применен статистический анализ данных компании ООО «Автоавангард», официального дистрибьютора автомобилей LADA.

В процессе анализа количественных параметров изучалась автомобиль LADA Granta.

На базе составленного отчета определены типы работ и их месячный объем, регулярно выполняемые на автомобиле LADA Granta.

Анализ и выбор проектов осуществляли:

- по стоимости услуг более 1000 рублей за единицу;
- числом применений свыше пяти раз в течение отчетного периода (квартал);
- операции, связанные с заменой компонентов;
- работы, примененные для текущего обслуживания, не связанные с разборкой и сборкой в качестве вспомогательных операций.

На рисунке 2 представлено распределение отобранных задач.

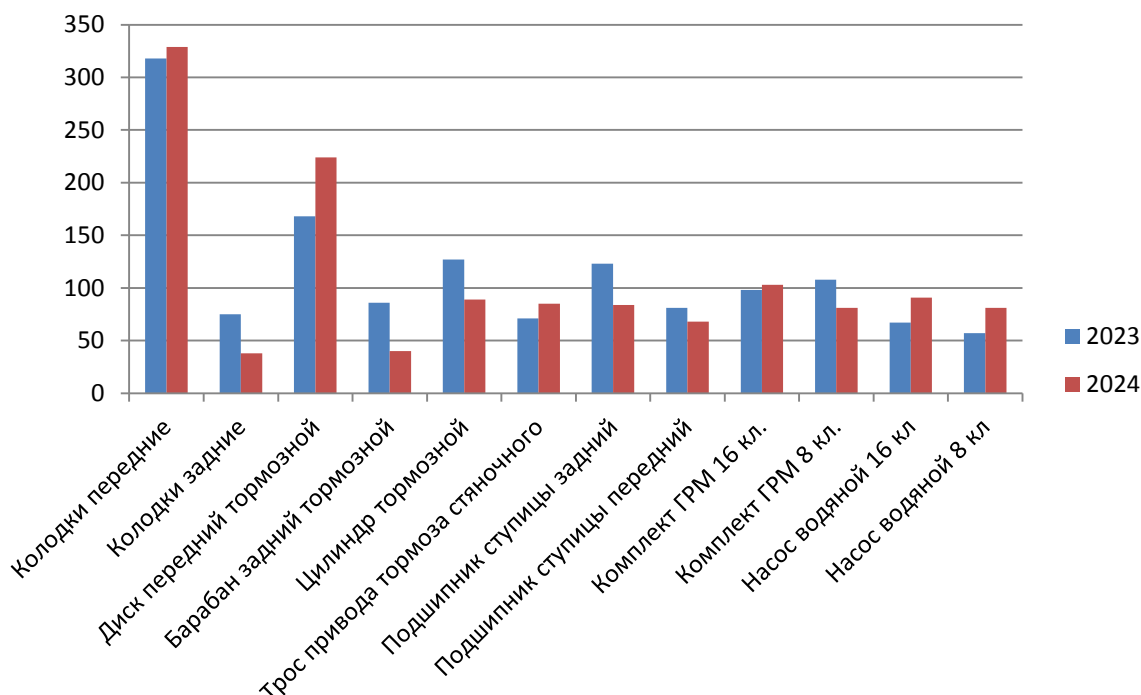


Рисунок 2 – Наиболее часто производимые работы
Figure 2 – The most frequently performed works

Подобранные работы показывают влияние их на работоспособность автомобиля и необходимость замены при выявлении неисправности.

Для удобства восприятия информации составим список из наиболее частых позиций производимых работ (таблице 1).

Таблица 1 – Наиболее часто производимые работы
Table 1 – The most frequently performed works

Наименование запасных частей, подлежащих замене / Name of the spare parts to be replaced	Число замен за год / Number of replacements per year	
	2023	2024
Колодки передние (комплект) / Front pads (set)	318	329
Колодки задние (комплект) / Rear pads (set)	75	38
Диск переднего тормоза (комплект) / Front brake disc (set)	168	224
Барaban тормозной задний (комплект) / Rear brake drum (set)	86	40
Цилиндр тормозной / Brake cylinder	127	89
Трос привода тормоза стояночного (комплект) / Parking brake drive cable (set)	71	85
Подшипник ступицы задний / Rear hub bearing	123	84
Подшипник ступицы передний / Front hub bearing	81	68
Комплект ГРМ 16 кл. / Timing kit 16 cl.	98	103
Комплект ГРМ 8 кл. / Timing kit 8 cl.	108	81
Насос водяной 16 кл. / Water pump 16 cl.	67	91
Насос водяной 8 кл. / Water pump 8 cl.	57	81

Результаты и обсуждение. Наблюдение динамики 2023 и 2024 годов показывает стабильность спроса на анализируемые позиции работ, что дает основание для прогнозирования количества заездов в предстоящем времени.

Для демонстрации количества выполненных операций за анализируемый период в два года представим диаграмму, отражающую среднее количество замен (см. рисунок 3) по выбранным операциям. Из графика видно распределение объема работ за 2023-2024 годы, причем отчетливо заметны месяцы с идентичным количеством операций, что указывает на сезонный характер услуг и постоянство выполнения данных работ в течение разных сезонов. Это является индикатором стабильного спроса на выбранные услуги в те же самые месяцы каждого года.

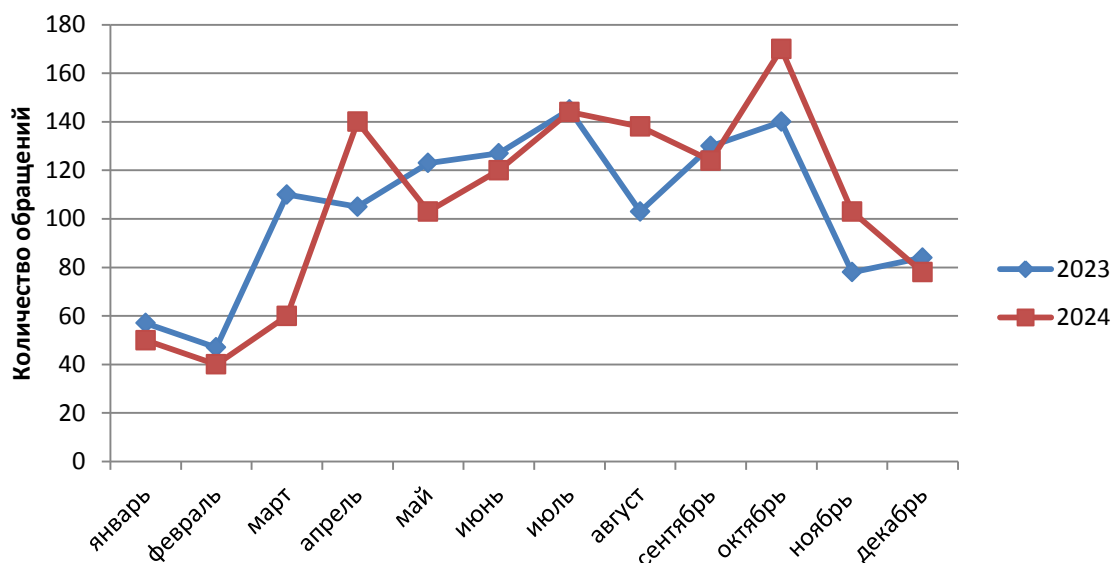


Рисунок 3 – Количество обращений на СТО по месяцам года
Figure 3 – Number of requests per service station by month of the year

При анализе экономической эффективности владения автомобилем включают не только стоимость замены запасных частей, но и издержки на монтажно-демонтажные и ремонтные работы за определенный пробег или временной интервал. Эти расходы позволяют оценить целесообразность дальнейшего использования авто с точки зрения времени или пробега, принимая в расчет необходимость обновления ключевых компонентов двигателя, редуктора или подвески. Приходится принимать решение о продолжении эксплуатации, когда сразу несколько важных узлов требуют замены, что ставит под вопрос экономическую выгоду от дальнейшего содержания транспортного средства.

Заключение. При оценке удельных издержек на обеспечение работоспособности авто в период использования основную финансовую нагрузку имеют расходы на приобретение запасных частей, которые формируют приблизительно 65 % от общей стоимости техобслуживания (ТО) и текущего ремонта (ТР) на единицу в течение срока службы. В этом контексте критическую проблему представляет точное определение потребности в запасных частях и их своевременное предоставление сервисным центрам и автомагазинам, что необходимо для сокращения издержек, повышения эффективности рабочего процесса и улучшения загрузки производственных мощностей обслуживающих станций.

Conclusion. When assessing the specific costs of ensuring the operability of a vehicle during its use, the main financial burden is the cost of purchasing spare parts, which forms approximately 65 % of the total cost of maintenance (M) and technical repair (TR) per unit during the service life. In this context, a critical problem is the accurate determination of the need for spare parts and their timely provision to service centers and auto shops, which is necessary to reduce costs, increase the efficiency of the work process and improve the loading of production capacities of service stations.

Библиографический список

1. Кокорев Г. Д., Николотов И. Н., Успенский И. А. Современное состояние виброакустической диагностики автомобильного транспорта. *Нива Поволжья*. 2010. № 1 (14). С. 39-43.
2. Кокорев Г. Д. и др. Метод прогнозирования технического состояния мобильной техники. *Тракторы и сельхозмашины*. 2010. № 12. С. 32-34.
3. Бышов Н. В. и др. Диагностирование мобильной сельскохозяйственной техники с использованием прибора фирмы "SAMTEC". *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2012. № 78. С. 239-249.
4. Бышов Н. В. и др. Методы определения рациональной периодичности контроля технического состояния тормозной системы мобильной сельскохозяйственной техники. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2013. № 86. С. 300-311.
5. Бышов Н. В. и др. Разработка таблицы состояний и алгоритма диагностирования тормозной системы. *Вестник КрасГАУ*. 2013. № 12 (87). С. 179-184.
6. Кокорев Г. Д., Успенский И. А., Николотов И. Н. Стратегии технического обслуживания и ремонта автомобильного транспорта. *Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина"*. 2009. № 3 (34). С. 72-75.

7. Бышов Н. В. и др. Перспективы повышения эксплуатационных показателей транспортных средств при внутрихозяйственных перевозках плодовоовощной продукции. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 78. С. 227-238.
8. Бышов Н. В. и др. Зарубежные транспортные средства для современного сельскохозяйственного производства. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2012. № 4 (16). С. 84-87.
9. Бышов Н. В. и др. Периодичность контроля технического состояния мобильной сельскохозяйственной техники. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 81. С. 390-400.
10. Бышов Н. В. и др. Повышение эффективности эксплуатации автотранспорта и мобильной сельскохозяйственной техники при внутрихозяйственных перевозках. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 88. С. 519-529.
11. Бышов Н. В. и др. К выбору показателей эффективности при исследовании и совершенствовании системы технической эксплуатации автомобильного транспорта в сельском хозяйстве. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 108. С. 1058-1071.
12. Рембалович Г. К. и др. Повышение эксплуатационно-технологических показателей транспортной и специальной техники на уборке картофеля. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 88. С. 509-518.
13. Danilov I. et al. Development of the mathematical model of fuel equipment and justification for diagnosing diesel engines by injector needle displacement. *Transport Problems*. – 2020. V. 15. No. 1. Pp. 93-104.
14. Бышов Н. В. и др. Перспективы технической эксплуатации мобильных средств сельскохозяйственного производства. Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева, 2015. 192 с.
15. Byshov N. V., Simdyankin A. A., Uspensky I. A., Pukov R. V. Accounting for the time of ultrasonic fuel processing in the surface tension coefficient. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019. Vol. 14. No. 21. Pp. 3753-3756.
16. Simdyankin A., Uspensky I., Belyu L. Mechanism of improving safety of freight transportation by road with route optimization by organizing areas with increased freight tariffs. *Transportation Research Procedia*. Saint Petersburg, 2020. Pp. 662-673.
17. 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.
18. 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.
19. Успенский И. А. и др. Вероятностная модель прогнозирования износа тормозных колодок. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева*. 2021. Т. 13. № 3. С. 112-119.
20. Успенский И. А. и др. Оценка состояния износа тормозных колодок. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева*. 2020. № 3 (47). С. 119-125.
21. Родионова Е. А. и др. Инновационное устройство для контроля изнашивания тормозных накладок автомобилей сельскохозяйственного назначения. *Техника и оборудование для села*. 2019. № 7 (265). С. 30-34.

References

1. Kokorev G. D., Nikolotov I. N., Uspensky I. A. Current state of vibroacoustic diagnostics of motor transport. 2010. No. 1 (14). Pp. 39-43.
2. Kokorev G. D. et al. Method for predicting the technical condition of mobile equipment. *Tractors and agricultural machinery*. 2010. No 12. Pp. 32-34.
3. Byshov N. V. et al. Diagnostics of mobile agricultural machinery using the device of the company "SAMTEC". *Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*. 2012. No 78. Pp. 239-249.
4. Byshov N. V. et al. Methods for determining the rational frequency of monitoring the technical condition of the brake system of mobile agricultural machinery. *Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*. 2013. No. 86. Pp. 300-311.
5. Byshov N. V. et al. Development of a state table and diagnostic algorithm for the brake system. *Bulletin of KrasSAU*. 2013. No. 12 (87). Pp. 179-184.
6. Kokorev G. D., Uspensky I. A., Nikolotov I. N., Strategies for technical maintenance and repair of motor vehicles. *Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University named after V. P. Goryachkin"*. 2009. No 3 (34). Pp. 72-75.
7. Byshov N. V. et al. Prospects for Improving the Performance of Vehicles for On-Farm Transportation of Fruit and Vegetable Products. *Polythematic Online Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University*. 2012. No 78. Pp. 227-238.
8. Byshov N. V. et al. Foreign Vehicles for Modern Agricultural Production. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev*. 2012. No 4 (16). Pp. 84-87.
9. Byshov N. V. et al. Frequency of monitoring the technical condition of mobile agricultural machinery. *Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*. 2012. No 81. Pp. 390-400.
10. Byshov N. V. et al. Improving the efficiency of operation of motor transport and mobile agricultural machinery during on-farm transportation. *Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*. 2013. No 88. Pp. 519-529.
11. Byshov N. V. et al. On the selection of performance indicators in the study and improvement of the system of technical operation of motor transport in agriculture. *Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*. 2015. No. 108. Pp. 1058-1071.
12. Rembalovich G. K. et al. Improving the operational and technological indicators of transport and special equipment for potato harvesting. *Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*. 2013. No 88. Pp. 509-518.
13. Danilov I. et al. Development of the mathematical model of fuel equipment and justification for diagnosing diesel engines by injector needle displacement. *Transport Problems*. – 2020. V. 15. No 1. Pp. 93-104.

14. Byshov N. V. et al. Prospects for the technical operation of mobile agricultural equipment. Ryazan: Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev, 2015. 192 p.
15. Byshov N. V., Simdyankin A. A., Uspensky I. A., Pukov R. V. Accounting for the time of ultrasonic fuel processing in the surface tension coefficient. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2019. V. 14. No 21. Pp. 3753-3756.
16. Simdyankin A., Uspensky I., Belyu L. Mechanism of improving safety of freight transportation by road with route optimization by organizing areas with increased freight tariffs. Transportation Research Proceedings. Saint Petersburg, 2020. Pp. 662-673.
17. Uspensky I. A. et al. Accounting for spare parts in the warehouse of a dealer service station. News of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No 2 (80). Pp. 390-402.
18. Yukhin I. A. et al. Analysis and forecasting of dealer service station needs for spare parts. News of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No 2 (80). Pp. 411-421.
19. Uspensky I. A. et al. Probabilistic model for predicting brake pad wear. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2021. Vol. 13. No 3. Pp. 112-119.
20. Uspensky I. A. et al. Assessment of the wear condition of brake pads. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2020. No 3 (47). Pp. 119-125.
21. Rodionova E. A. et al. Innovative device for monitoring the wear of brake linings of agricultural vehicles. Machinery and equipment for the village. 2019. No 7 (265). Pp. 30-34.

Информация об авторах

Карташов Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (Российская Федерация, 440028, г. Пенза, ул. Г. Титова, 28), e-mail: ak_29@mail.ru

Успенский Иван Алексеевич, доктор технических наук, заведующий кафедрой, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: ivan.uspensckij@yandex.ru

Юхин Иван Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева, (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: yuival@rambler.ru

Аникин Николай Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автотракторная техника и теплоэнергетика», Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, hay459@mail.ru

Филиюшин Олег Владимирович, кандидат технических наук, ассистент кафедры, Рязанский государственный агротехнологический университет им П.А. Костычева, (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: olegfil93@mail.ru

Authors' Information

Kartashov Aleksandr Aleksandrovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Penza State University of Architecture and Civil Engineering (Russian Federation, 440028, Penza, G. Titova Str., 28), e-mail: ak_29@mail.ru

Uspensky Ivan Alekseevich, Doctor of Engineering Sciences, Head of the Department, Ryazan State Agro-technological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva Str., 1), e-mail: ivan.uspensckij@yandex.ru

Yukhin Ivan Aleksandrovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev Str., 1), e-mail: yuival@rambler.ru

Anikin Nikolay Viktorovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Automotive equipment and thermal power engineering, Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia, e-mail: hay459@mail.ru

Filyushin Oleg Vladimirovich, Candidate of Engineering Sciences, Assistant of the Department, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva Str., 1), e-mail: olegfil93@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-58

THE APPLICATION OF ELECTROMAGNETIC (EHF) RADIATION TO IMPROVE THE SOWING QUALITIES OF SORGHUM SEEDS**Kincharova M. N., Matvienko E. V.**

*P. N. Konstantinov Volga Research Institute of Breeding and Seed Production – the branch of the Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences
Kinel, Samara Region, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: potatolab@mail.ru

Received 14.08.2025

Submitted 31.10.2025

The research was carried out within the framework of the State assignment on the theme: "Scientific basis for the creation of new varieties of cereal, grain-forage and sorghum crops, with complex resistance to bio and abiostressors, with high economically valuable traits, providing stable yields in the conditions of the forest-steppe of the Middle Volga region". (FMRW-2022-0019) state registration number EGISU R&D 1021032424537-6-4.1.6.

Summary

The article discusses the results of research on the use of electromagnetic (EHF) radiation to improve the sowing qualities of grain and sugar sorghum seeds.

Abstract

Introduction. The issues of improving the sowing and yielding qualities of seeds, as well as the adaptive properties of plants grown from them, the production of environmentally friendly products and increasing yields of various crops are becoming increasingly relevant. **Object.** To study the effect of irradiation, seeds of two varieties of grain sorghum with different grain colors were used: with a yellowish-white shade – Dew and yellowish-brown – Premiere, as well as a variety of sugar sorghum – Kinelskoe-4. **Materials and methods.** The studies were conducted in laboratory conditions at the Volga Region Research Institute of Seed Breeding – a branch of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences according to the “Methodology of State Variety Testing of Agricultural Plants” and standard methods. The examination of seeds for contamination with pathogenic microflora was carried out in accordance with GOST 12044-93. Irradiation of seeds with electromagnetic waves of the UHF range was carried out using the “Yav-1” installation. **Results and conclusions.** The germination energy of grain sorghum of the Premiere variety increased by 7.0 % with seed irradiation for 5 minutes and by 11.5 % with 15 minutes, and laboratory germination by 5.0 and 6.5 %, respectively, compared to the control. The best indicators for the Ros variety were observed with seed irradiation for 5 minutes (by 8.0 % – germination energy and 5.0 % germination) and somewhat less with an increase in the exposure time to 15 minutes (by 5.5 and 3.5 %, respectively). On sugar sorghum Kinelskoye-4, with irradiation for 25 minutes, the greatest increase in germination energy and germination was observed (12.0 % and 6.5 % compared to the control). With an increase in the time of exposure to UHF radiation on grain sorghum seeds to 25 and 35 minutes; the germination energy decreased by 0.5-5.5 % and the germination rate by 5.0-9.0 % compared to the control. When exposed to UHF for 35 min, the germination energy decreased by 1.5-5.5 %, and the germination rate by 9 % compared to the seeds that were not exposed to irradiation in all sorghum varieties. UHF irradiation contributed to an increase in the length of sprouts and rootlets in the 5- and 15-minute variants on the Premiere variety by 15.2-41.3 % compared to the sprouts in the control; and rootlets – by 19.0-50.0 %, on the Ros' variety, the length of sprouts increased less intensively by 10.4-18.8 %, and the length of rootlets by 9.1-18.2 % compared to the control. On sugar sorghum, the length of the sprout increased in the 5-, 15- and 25-min variants. by 3.8-18.9 %, and roots by 6.1-26.5 %, respectively. Irradiation of seeds of all varieties for 35 min. inhibited the growth of seedlings by 11.3-24.0 % and roots by 8.2-15.9 %. UHF irradiation of seeds for 5 and 15 min. reduced the number of infected seeds for all varieties by 1.6-26.6 %. The greatest reduction in phytopathogenic load was noted on seeds of the Ros variety (by 3.1-3.9 times) with exposure for 15 and 5 minutes. On sugar sorghum, the greatest reduction in seed infection was observed with irradiation for 25 min (by 8.2 %). With an increase in the time of exposure to UHF irradiation to 35 min., the number of infected seeds increased by 2.4-4.2 %.

Keywords: sorghum seeds, pre-sowing seed treatment, seed quality, physical methods of seed treatment.

Citation. Kincharova M. N., Matvienko E. V. The application of electromagnetic (EHF) radiation to improve the sowing qualities of sorghum seeds. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 533-541 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-58.

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

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

УДК 632.4.01/08:633.174

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО (КВЧ) ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОСЕВНЫХ КАЧЕСТВ СЕМЯН СОРГОВЫХ КУЛЬТУР

Кинчарова М. Н., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,
ведущий научный сотрудник

Матвиенко Е. В., кандидат биологических наук, младший научный сотрудник

Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства имени
П. Н. Константинова – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Самарского федерального исследовательского центра РАН
г. Кинель, Самарская область, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках выполнения Государственного задания по теме:
«Научные основы создания новых сортов крупяных, зернофуражных и сорговых культур, с комплексной устойчивостью к био- и абиострессорам, с высокими хозяйственно ценными признаками, обеспечивающих получение стабильных урожаев в условиях лесостепи Среднего Поволжья». (FMRW-2022-0019) номер государственной регистрации ЕГИСУ НИОКР 1021032424537-6-4.1.6.

Резюме. В статье рассматриваются результаты исследований применения электромагнитного (КВЧ) излучения для повышения посевных качеств семян сорго зернового и сахарного.

Актуальность. Вопросы улучшения посевных и урожайных качеств семян, а также адаптивных свойств выращиваемых из них растений, производства экологически чистой продукции и повышения урожайности различных культур становятся все более актуальными. **Объект.** Для изучения

влияния КВЧ-облучения использовали семена двух сортов сорго зернового с разным цветом зерна: с желтовато-белым оттенком – Рось и желтовато-бурым – Премьера, а также сорт сахарного сорго – Кинельское-4. **Материалы и методы.** Исследования проведены в лабораторных условиях в Поволжском НИИСС – филиале СамНЦ РАН согласно «Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных растений» и по стандартным методикам. Экспертиза семян на зараженность патогенной микрофлорой была выполнена в соответствии с ГОСТ12044-93. Облучение семян электромагнитными волнами КВЧ-диапазона проводилось с помощью установки «Явь-1». **Результаты и выводы.** Энергия прорастания на зерновом сорго сорта Премьера при облучении семян в течение 5 минут повышалась на 7,0 % и на 11,5 % в течение 15 минут, лабораторная всхожесть на 5,0 и 6,5 % соответственно по сравнению с контролем. У сорта Рось лучшие показатели отмечались при облучении семян в течение 5 минут (на 8,0 % – энергия прорастания и 5,0 % всхожесть) и несколько меньше при увеличении времени воздействия до 15 мин. (на 5,5 и 3,5 % соответственно). На сахарном сорго Кинельское-4 при облучении в течение 25 минут отмечалось наибольшее повышение энергии прорастания и всхожести (12,0 % и 6,5 % по сравнению с контролем). При увеличении времени воздействия КВЧ-излучения на семена сорго зернового до 25 и 35 мин. энергия прорастания снижалась на 0,5-5,5 % и всхожесть на 5,0-9,0 % по сравнению с контролем. При воздействии КВЧ в течение 35 мин энергия прорастания снижалась на 1,5-5,5 %, а всхожесть на 9 % по сравнению с семенами, не подвергшимися облучению у всех сортов сорго. КВЧ-облучение способствовало увеличению длины проростков и корешков на вариантах 5 и 15 минут на сорте Премьера на 15,2-41,3 % по сравнению с проростками в контроле; а корешков – на 19,0-50,0 %, на сорте Рось длина ростков увеличивалась менее интенсивно на 10,4-18,8 %, а длина корешков на 9,1-18,2 % по сравнению с контролем. На сахарном сорго длина проростка увеличивалась на вариантах 5, 15 и 25 мин. на 3,8-18,9 %, а корешков на 6,1-26,5 % соответственно. Облучение семян всех сортов при 35 мин. угнетало рост проростков на 11,3-24,0 % и корешков на 8,2-15,9 %. КВЧ-облучение семян в течение 5 и 15 мин. уменьшало количество зараженных семян по всем сортам на 1,6-26,6 %. Наибольшее снижение фитопатогенной нагрузки отмечено на семенах сорта Рось (в 3,1-3,9 раза) при воздействии в течение 15 и 5 минут. На сахарном сорго наибольшее снижение зараженности семян наблюдалось при облучении в течение 25 мин (на 8,2 %). При удлинении времени воздействия КВЧ-облучения до 35 мин. количество зараженных семян несколько увеличивалось (2,4-4,2 %).

Ключевые слова: семена сорго, предпосевная обработка семян, посевные качества семян, физические методы обработки семян.

Цитирование. Кинчарова М. Н., Матвиенко Е. В. Применение электромагнитного (КВЧ) излучения для повышения посевных качеств семян сорговых культур. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 533-541. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-58.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В экологическом земледелии при выращивании различных сельскохозяйственных культур целенаправленно ведется поиск новых высокоэффективных методов и направлений для получения высокой продуктивности растений с высоким качеством зерна и его экологической безопасности [1]. Растущий спрос на продовольствие и опасения по поводу воздействия сельского хозяйства на окружающую среду привели к поиску альтернатив многим традиционным методам ведения сельского хозяйства.

Среди методов предпосевной обработки семян и посадочного материала использование физических методов считается наименее вредным для окружающей среды, поскольку они влияют на растения, главным образом, посредством вмешательства в физиологические и биохимические процессы, происходящие в различных растительных тканях [2]. Это привело к росту исследовательского интереса к влиянию воздействия на растения магнитных полей, которые могут присутствовать в форме статического магнитного поля (СМП) или электромагнитного поля (ЭМП). Сообщается, что биологические процессы у различных видов растений подвержены влиянию СМП [3], что приводит к изменению всхожести семян [4], роста и развития корней [5], энергии прорастания [6], урожайности растений [7] и устойчивости к стрессовым факторам [8].

Также сообщается, что воздействие электромагнитных излучений влияет на физиологические параметры растений, включая рост и развитие [9, 10], а также на процессы на молекулярном уровне, такие как экспрессия и регуляция генов [11, 12].

Сообщения о воздействии на семена и растения на различных стадиях развития статическим магнитным полем и неионизирующими электромагнитными полями в качестве одной из форм протравливания указывают на некоторое положительное влияние на всхожесть семян, скорость роста, устойчивость к стрессовым условиям и повышение урожайности [13].

Физические методы являются безопасными с экологической точки зрения, отличаются технологической эффективностью, что очень важно в современных условиях, когда антропогенная нагрузка на окружающую среду очень высока [14], но их влияние на агро-экосистемы на уровне биоценоза либо вида недостаточно изучено до настоящего времени и существуют некоторые противоречивые результаты исследований, которые затрудняют получение объективных выводов о потенциальном использовании электромагнитных излучений в качестве устойчивых альтернатив для улучшения роста и урожайности сельскохозяйственных культур и кроме того, есть лишь несколько исследований, которые пытаются объяснить действие излучений на клетки растений [13].

Согласно различным литературным данным исследований последних лет, особое пристальное внимание следует уделять оздоровлению семян и посадочного материала, ввиду того, что они, как правило, нередко становятся основным и главным источником распространения большого числа различных заболеваний [15], также многие авторы в своих исследованиях отмечают повышение посевных качеств семян и урожайности, стимулирование роста и развития растений [16], увеличение активности ферментов и биологически активных веществ [17] и изменение химического состава при воздействии различных физических методов в лабораторных и полевых условиях [18, 19].

Физические методы, с помощью которых можно воздействовать на семена культурных растений очень разнообразны. Среди них можно отметить различные электромагнитные поля: от гамма-излучения и рентгеновских лучей до ультрафиолетового, видимого, инфракрасного, микроволнового, магнитного и электрического. Могут быть использованы также облучение альфа- и бета-частицами и ионная бомбардировка различными элементами. Кроме того, для воздействия на развитие семян можно использовать гравитационные силы [20].

Результаты многочисленных исследований свидетельствуют о том, что существует фундаментальное сходство в механизме биологического воздействия различных видов излучений. Этот процесс начинается с первоначального поглощения и передачи энергии излучения и приводит к физиологическим и структурным изменениям в организме, подвергнутому воздействию облучения [21]. Следовательно, ответная реакция обрабатываемых семян сельскохозяйственных культур, вероятно, будет схожей.

Можно отметить, что и на сорговых культурах также изучались физические методы, в частности на зерновом и сахарном сорго в условиях Ростовской области проводились исследования по совершенствованию процесса по предпосевной обработке семян переменным электромагнитным полем промышленной частоты и поиск оптимальных режимов, что привело к повышению посевных качеств, продуктивности и урожайности культуры [22, 23].

Целью наших исследований были подбор режимов применения и установление влияния КВЧ – облучения на посевные качества семян сорго зернового и сахарного, их первоначальный рост и фитосанитарное состояние семян.

Материалы и методы исследований. Лабораторные исследования были проведены на базе Поволжского НИИСС – филиала СамНЦ РАН и в лаборатории технологического факультета Самарского ГАУ.

Для исследований использовали кондиционные, полновесные семена, включенных в Государственный реестр селекционных достижений по Средневолжскому региону сортов сорго зернового с разным цветом зерна: Рось с желтовато-белым оттенком и Премьера с желтовато-бурым, а также сахарного сорго – Кинельское-4 [24].

Облучение семян электромагнитными волнами КВЧ-диапазона проводилось с помощью установки «Явь-1» с рабочей длиной волны 7,1 мм с частотой 42194 ± 10 МГц, и плотностью мощности облучения – не менее 10 мВт/см². Семена сорго зернового и сахарного обрабатывали партиями по 100 граммов, помещая их на расстоянии 15 сантиметров от источника излучения.

Изучались следующие варианты облучения:

1. Контроль – семена не подвергались облучению.
2. Облучение воздушно-сухих семян с экспозицией воздействия КВЧ-установки в течение 5 минут.
3. Облучение воздушно-сухих семян с экспозицией воздействия КВЧ-установки в течение 15 минут.
4. Облучение воздушно-сухих семян с экспозицией воздействия КВЧ-установки в течение 25 минут.
5. Облучение воздушно-сухих семян с экспозицией воздействия КВЧ-установки в течение 35 минут.

Исследование семян зернового и сахарного сорго на заселенность патогенной микрофлорой проводилось в соответствии с ГОСТ 12044-93. Семена проращивали во влажной камере с естественной вентиляцией на увлажненной фильтровальной бумаге при температуре 24 °С, согласно ГОСТ 12038-84. Для анализа были взяты три рабочие пробы по 100 семян в каждой в трех повторениях. На четвертый день проращивания определяли энергию прорастания семян сорго, а на восьмой день их всхожесть, а также определяли длину проростков и корней с точностью до 0,1 сантиметра.

Результаты и обсуждение. В ходе проведения исследований по изучению влияния обработки зерна сорго КВЧ-излучением с длиной волны 7,1 мкм и частотой 42 194±10 МГц было установлено, что посевные качества семян и первоначальный рост, а также зараженность семян инфекцией зависели от сорта и экспозиции облучения (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние облучения семян сорго волнами КВЧ-диапазона на их посевные качества
Table 1 – The effect of irradiation of sorghum seeds with microwaves on their sowing qualities

Варианты опыта / Experience options		Энергия прорастания семян, % / Seed germination energy, %	Лабораторная всхожесть семян, % / Laboratory seed germination, %	Длина, см/ Length, cm		Общий % зараженных семян на 100 штук / Total % of infected seeds per 100 pieces	% Ненормально проросших семян на 100 штук / % Abnormally germinated seeds per 100 pieces
				корешков / roots	проростков / sprouts		
Премьера / Variety PREMIERE							
Контроль / Control		76,0	90,0	4,2	4,6	7,8	2,5
Время облучения семян / Time of seed irradiation	5 мин. / 5 min.	83,0	95,0	5,0	5,3	4,9	0
	15 мин. / 15 min.	87,5	96,5	6,3	6,5	3,0	0
	25 мин. / 25 min.	74,5	82,0	4,1	4,3	8,8	10,0
	35 мин. / 35 min.	71,0	81,0	3,7	3,5	12,0	22,5
Рось / Variety ROS							
Контроль / Control		77,0	90,5	4,4	4,8	39,1	2,0
Время облучения семян / Time of seed irradiation	5 мин. / 5 min.	85,0	95,5	5,2	5,7	10,0	0
	15 мин. / 15 min.	82,5	94,0	4,8	5,3	12,5	5,0
	25 мин. / 25 min.	76,5	85,5	4,2	4,4	34,3	11,0
	35 мин. / 35 min.	71,5	81,5	3,7	3,8	41,5	40,0
Кинельское 4 / Variety KINELSKOYE 4							
Контроль / Control		74,0	90,5	4,9	5,3	9,2	1,5
Время облучения семян / Time of seed irradiation	5 мин. / 5 min.	75,5	91,5	5,2	5,5	7,6	0
	15 мин. / 15 min.	78,0	92,0	5,2	5,3	6,9	4,0
	25 мин. / 25 min.	86,0	97,0	6,2	6,3	1,0	10,0
	35 мин. / 35 min.	72,5	81,5	4,5	4,7	12,5	44,0

А именно, анализ данных показал, что в среднем на вариантах с облучением волнами КВЧ-диапазона в течение 5 и 15 минут повышалась энергия прорастания семян зернового на 5,5-11,5 % и лабораторная всхожесть на 3,5-6,5 % соответственно. На сахарном сорго эти показатели на этих же режимах облучения увеличивались на 1,5-4,0 % и 1,0-1,5 % соответственно. Кроме того, на сорте сахарного сорго Кинельское-4 было отмечено наибольшее увеличение посевных качеств на варианте с облучением в течение 25 минут (на 12,0 % энергия прорастания и 6,5 % всхожесть).

В то же время, энергия прорастания семян сорго зернового Премьера увеличилась на 7,0 % при облучении в течение 5 минут и на 11,5 % в течение 15 минут. Лабораторная всхожесть также увеличилась на 5 % и 6,5 % соответственно по сравнению с контролем.

Напротив, сорт Рось продемонстрировал более высокую энергию прорастания и лабораторную всхожесть при облучении семян в течение 5 минут по сравнению с более длительной 15-минутной экспозицией. Энергия прорастания увеличилась на 8 % и 5,5 % соответственно, а лабораторная всхожесть повышалась на 5,0 % и 3,5 % соответственно.

Следует отметить, что при увеличении времени воздействия КВЧ-излучения на семена сорго зернового до 25 и 35 мин. отмечалось резкое снижение посевных качеств семян, а именно энергия прорастания снижалась на 0,5-5,5 %, а всхожесть на 5,0-9,0 % по сравнению с контролем. Причем, чем больше было время воздействия, тем ниже были показатели по обоим сортам сорго зернового. У сахарного сорго негативное влияние длительного облучения отмечалось только на режиме в 35 мин. У всех трех сортов сорго при воздействии в течение 35 мин. энергия прорастания снижалась на 1,5-5,5 %, а всхожесть на 9 % по сравнению с семенами, не подвергшимися облучению.

Практически аналогичным было влияние и на первоначальный рост проростков. А именно, на сорго зерновом КВЧ-облучение способствовало увеличению длины проростков и корешков облученных семян на вариантах 5 и 15 минут на сорте Премьера на 0,7-1,9 см, что выше на 15,2-41,3 % по сравнению с проростками необлученных семян в контроле; а корешков – на 0,8-2,1 см или 19,0-50,0 %, на сорте Рось длина ростков увеличивалась менее интенсивно на 0,5-0,9 см (10,4-18,8 %), а длина корешков на 0,4-0,8 см (9,1-18,2 %) по сравнению с контрольным вариантом. На сахарном сорго Кинельское-4 длина проростка увеличивалась на вариантах с облучением в течение 5, 15 и 25 мин. на 3,8-18,9 %, а корешков на 6,1-26,5 % соответственно. Причем наибольшее увеличение роста проростков (18,9 %) и корешков (26,5 %) было отмечено на варианте с длительным воздействием в течение 25 мин. по сравнению с контрольным вариантом без обработки семян. Облучение семян всех сортов при 35 мин. угнетало рост проростков на 11,3-24,0 % и корешков на 8,2-15,9 %.

Анализ фитосанитарного состояния семян сорго показал, что семена разных сортов были заражены грибной инфекцией в разной степени и преимущественно грибами *Alternaria spp.* и *Fusarium spp.* Наиболее сильно были заражены семена сорта зернового сорго Рось (39,1 % зараженных семян в контроле). У сортов Премьера и Кинельское 4 были заражены в среднем не более 10 % семян. Физическое воздействие КВЧ-излучением на семена сорго показало положительное влияние на оздоровление семян. Так, в вариантах с облучением семян в течение 5 и 15 мин. снижалось количество зараженных семян по всем сортам на 1,6-26,6 %. Наибольшее снижение фитопатогенной нагрузки было отмечено на семенах самого зараженного семенной инфекцией сорта Рось, а именно зараженность семян снижалась в 3,1-3,9 раза при воздействии в течение 15 и 5 минут. На сахарном сорго Кинельское 4 наибольшее снижение зараженности семян наблюдалось при облучении в течение 25 мин. (на 8,2 %). При удлинении времени воздействия КВЧ-облучения до 35 мин. наблюдался обратный эффект по всем сортам, т.е. количество зараженных семян увеличивалось на 2,4-4,2 %. Здесь можно предположить, что при воздействии КВЧ-излучения на propagулы грибов процессы восстановления у гомокариотичных спор подавляются, а при более длительном воздействии запускаются уже механизмы компенсации в ответ на облучение. Следует заметить, что результаты наших исследований по фунгицидному действию КВЧ-излучения соотносятся с результатами некоторых других исследователей [25].

Кроме того, следует заметить, что в процессе исследований было выявлено, что при более длительном облучении семян сорго в течение 25 и 35 мин. увеличивается процент ненормально проросших семян, под которыми понимаются уродливые проростки, часто закрученные в спираль. Количество таковых возрастало до 22,5 % у сорта Премьера, 40 % у сорта Рось и 44 % по сахарному сорго Кинельское-4, т.е. процент уродливых проростков возрастал на 7,5-9 % при облучении в течение 25 мин. и на 20-42,5 % при 35 минутах.

Заключение. Таким образом, проведенные исследования показывают, что посевные качества и первоначальный рост сорго зернового и сахарного зависят от сорта и режима воздействия КВЧ-излучением. Облучение семян сорго в течение 5 и 15 мин. КВЧ с рабочей длиной волны 7,1 мм с частотой 42194 ± 10 МГц способствует повышению энергии прорастания, всхожести семян, усиливает рост проростков и корешков на начальных стадиях развития и снижает зараженность семян грибной инфекцией.

Фитопатологическая экспертиза семян сорго зернового и сахарного показала, что на семенах всех сортов преимущественно были обнаружены спороношения грибов *Alternaria spp.* и *Fusarium spp.*

Основываясь на результатах наших исследований, мы можем заключить, что предпосевное КВЧ-облучение семян сорго зернового и сахарного в течение 5 и 15 минут способствовало улучшению качества семян, в частности, энергия прорастания увеличилась на 1,5-11,5 %, а всхожесть – на 1-6,5 %. Важно отметить, что из-за воздействия КВЧ-облучения на семена рост корешков и побегов был более интенсивным, чем в контрольной группе эксперимента.

КВЧ-облучение сорговых культур оказывает оздоравливающее действие, снижая инфицированность семян патогенными грибами на 1,6-26,6 % в зависимости от сорта и режима воздействия. Более длительное воздействие КВЧ в течение 25 и 35 минут способствует ингибированию роста и развития проростков и усиливает их инфицирование грибными инфекциями в процессе прорастания.

Учитывая полученные результаты исследований, рекомендуем использовать электрофизический метод с КВЧ-излучением для улучшения качества семян с низкой всхожестью, тем самым повышая их классность и посевную годность.

Conclusion. Thus, the conducted studies show that the sowing qualities and initial growth of grain and sugar sorghum depend on the variety and mode of exposure to EHF radiation. Irradiation of sorghum seeds for 5 and 15 minutes. EHF with an operating wavelength of 7.1 mm with a frequency of 42194 ± 10 MHz increases the energy of germination, germination of seeds, enhances the growth of seedlings and roots in the initial stages of development and reduces the infection of seeds with fungal infection.

Phytopathological examination of grain and sugar sorghum seeds showed that *Alternaria spp.* and *Fusarium spp.* fungi were predominantly found on the seeds of all varieties.

Based on the results of our research, we can conclude that pre-sowing irradiation of grain and sugar sorghum seeds for 5 and 15 minutes contributed to an improvement in seed quality, in particular, in terms of germination energy and seed germination. Germination energy increased by 1.5-11.5 %, and germination rate increased by 1-6.5 %.

It is important to note that due to the effects of EHF radiation on seeds, the growth of roots and shoots was more intense than in the control group of the experiment.

EHF irradiation of sorghum crops has a healing effect, reducing the infection of seeds with pathogenic fungi by 1.6-26.6 %, depending on the variety and mode of exposure. Prolonged exposure to EHF for 25 and 35 minutes helps to inhibit the growth and development of seedlings and increases their infection with fungal infections during germination.

Taking into account the obtained research results, we recommend using the electrophysical method with EHF radiation to improve the quality of seeds with low germination, thereby increasing their class and crop shelf life.

Библиографический список

1. Корчагин В. А., Вьюшков А. А. Связь времен и поколений: научно-исторический очерк о прошлом и настоящем. ГНУ Самарский НИИСХ Россельхозакадемии. Самара: Самарский научный центр РАН, 2013. 164 с.
2. Podleśna A., Bojarszczuk J., Podleśny J. Effect of Pre-sowing Magnetic Field Treatment on Some Biochemical and Physiological Processes in Faba Bean (*Vicia faba* L. spp. *Minor*). Journal of Plant Growth Regulation. 2019. No 38 (3). Pp. 1153-1160.
3. Maffei M. E. Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution. Frontiers in plant science. 2014. 5. P. 445.
4. Ercan I., Tombuloglu H., Alqahtani N., Alotaibi B., Bamhrez M., Alshumrani R. et al. Magnetic field effects on the magnetic properties, germination, chlorophyll fluorescence, and nutrient content of barley (*Hordeum vulgare* L.). Plant physiology and biochemistry. 2022. No 170. Pp. 36-48.
5. Jin Y., Guo W., Hu X., Liu M., Xu X., Hu F. et al. Static magnetic field regulates Arabidopsis root growth via auxin signaling. Scientific reports. 2019. No 9 (1). 14384.
6. Afzal I., Saleem S., Skalicky M., Javed T., Bakhtavar M. A., ul Haq Z., Kamran M. et al. Magnetic Field Treatments Improves Sunflower Yield by Inducing Physiological and Biochemical Modulations in Seeds. Molecules. 2021. No 26 (7). 2022.
7. Luo J., He W., Xing X., Wu J., Gu X. W. S. The phytoremediation efficiency of Eucalyptus globulus treated by static magnetic fields before sowing. Chemosphere. 2019. 226. Pp. 891-897.
8. Vashisth A., Meena N., Krishnan P. Magnetic field affects growth and yield of sunflower under different moisture stress conditions. Bioelectromagnetics. 2021. No 42 (6). Pp. 473-83.
9. De Souza-Torres A., Sueiro-Pelegrín L., Zambrano-Reyes M., Macías-Socarras I., González-Posada M., García-Fernández D. Extremely low frequency non-uniform magnetic fields induce changes in water relations, photosynthesis and tomato plant growth. International journal of radiation biology. 2020. No 96 (7). Pp. 951-957.
10. Stefi A. L., Margaritis L. H., Christodoulakis N. S. The effect of the non-ionizing radiation on exposed, laboratory cultivated upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plants. Flora. 2017. V. 226. Pp. 55-64.

11. Mildažienė V., Aleknavičiūtė V., Žūkienė R., Paužaitė G., Naučienė Z., Filatova I., et al. Treatment of common sunflower (*Helianthus annuus* L.) Seeds with radio-frequency electromagnetic field and cold plasma induces changes in seed phytohormone balance, seedling development and leaf protein expression. *Sci Rep*. 2019. No 9 (1). 6437.
12. Vian A., Davies E., Gendraud M., Bonnet P. Plant responses to high frequency electromagnetic fields. *Biomed Research International*. 2016. 830262. 13 p.
13. Pawelek A., Owusu S. A., Cecchetti D. et al. What evidence exists of crop plants response to exposure to static magnetic and electromagnetic fields? A systematic map protocols. *Environmental Evidence*. 2022. No 11. P. 37.
14. Зейналов А. А., Летова А. Н. Использование неионизирующих электромагнитных излучений в сельскохозяйственном производстве. *Вестник Российской Академии сельскохозяйственных наук*. 2009. № 2. С. 31-32.
15. Шукис Е. Р., Шукис С. К. Пути решения проблемы качества семян сорговых культур в Алтайском крае. *Кормопроизводство*. 2019. № 5. С. 31-36.
16. Насурлаева З. Ю. Влияние искусственного электромагнитного поля на рассаду. *Современные наукоемкие технологии*. 2009. № 2. С. 7-11.
17. Гапоненко С. О., Бардюкова А. В., Милевич Т. И., Герасименя В. П. Влияние электромагнитного излучения на хранение и прорастание семян ячменя. Актуальные вопросы радиобиологии и гигиены неионизирующих излучений: сборник докладов. Москва: Российский национальный комитет по защите от неионизирующих излучений, 2019. С. 206-210.
18. Калье М. И. Влияние КВЧ-излучения миллиметрового диапазона на физиологические процессы прорастания семян пшаваренного ячменя. *Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского*. 2010. № 2 (2). С. 399-401.
19. Ерохин А. И., Цуканова З. Р. Физические методы предпосевной обработки семян и эффективность их использования. *Научно-производственный журнал Зернобобовых и крупяных культур*. 2014. № 3 (11). С. 84-88.
20. Ключев Д. С., Кузьменко А. А., Трифонова Л. Н. Влияние на всхожесть предпосевной обработки семян посредством их облучения волнами разной длины. *Физика волновых процессов и радиотехнические системы*. 2020. Т. 23. № 1. С. 84-88.
21. Karpovich V. A., Rodionova V. N., Lepyana G. Ya. Application of Microwave Energy in Modern Biotechnologies. *MSMw'2001 Symposium Proceedings*. Kharkov. 2001. Pp. 909-910.
22. Kasakova A. S., Ionova E. V., Pakhomov V. I., Lipkovich E. I., Yanina M. M., Taranov M. A., Fedorishchenko M. G. A Physiological Approach to Resistance Breeding for Control of Seed Rot and Seedling Diseases of Grain Sorghum. *Sorghum and Millets Diseases*. 2003. Pp. 473-473.
23. Гурский Н. Г., Землянов В. А. Защита сорго сахарного от болезней. *Защита и карантин растений*. 2012. № 2. С. 51-53.
24. Каталог сортов, гибридов и линий сельскохозяйственных культур селекции Поволжского НИИСС – филиала СамНЦ РАН. Усть-Кинельский, 2023. 58 с.
25. Кряжев Д. В., Смирнов В. Ф. Новые аспекты применения низкоинтенсивных излучений (КВЧ) в биотехнологии. *Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского*. 2010. № 2. С. 418-422.

References

1. Korchagin V. A., Vyushkov A. A. Connection of times and generations: scientific and historical essay on the past and present. Samara: Samara Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2013. 164 p.
2. Podleśna A., Bojarszczuk J., Podleśny J. Effect of Pre-sowing Magnetic Field Treatment on Some Biochemical and Physiological Processes in Faba Bean (*Vicia faba* L. spp. *Minor*). *Journal of Plant Growth Regulation*. 2019. No 38 (3). Pp. 1153-1160.
3. Maffei M. E. Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution. *Frontiers in plant science*. 2014. 5. P. 445.
4. Ercan I., Tombuloglu H., Alqahtani N., Alotaibi B., Bamhrez M., Alshumrani R. et al. Magnetic field effects on the magnetic properties, germination, chlorophyll fluorescence, and nutrient content of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant physiology and biochemistry*. 2022. No 170. Pp. 36-48.
5. Jin Y., Guo W., Hu X., Liu M., Xu X., Hu F. et al. Static magnetic field regulates Arabidopsis root growth via auxin signaling. *Scientific reports*. 2019. No 9 (1). 14384.
6. Afzal I., Saleem S., Skalicky M., Javed T., Bakhtavar M. A., ul Haq Z., Kamran M. et al. Magnetic Field Treatments Improves Sunflower Yield by Inducing Physiological and Biochemical Modulations in Seeds. *Molecules*. 2021. No 26 (7). 2022.
7. Luo J., He W., Xing X., Wu J., Gu X. W. S. The phytoremediation efficiency of Eucalyptus globulus treated by static magnetic fields before sowing. *Chemosphere*. 2019. 226. Pp. 891-897.
8. Vashisth A., Meena N., Krishnan P. Magnetic field affects growth and yield of sunflower under different moisture stress conditions. *Bioelectromagnetics*. 2021. No 42 (6). Pp. 473-83.
9. De Souza-Torres A., Sueiro-Pelegrín L., Zambrano-Reyes M., Macías-Socarras I., González-Posada M., García-Fernández D. Extremely low frequency non-uniform magnetic fields induce changes in water relations, photosynthesis and tomato plant growth. *International journal of radiation biology*. 2020. No 96 (7). Pp. 951-957.
10. Stefi A. L., Margaritis L. H., Christodoulakis N. S. The effect of the non-ionizing radiation on exposed, laboratory cultivated upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plants. *Flora*. 2017. V. 226. Pp. 55-64.
11. Mildažienė V., Aleknavičiūtė V., Žūkienė R., Paužaitė G., Naučienė Z., Filatova I., et al. Treatment of common sunflower (*Helianthus annuus* L.) Seeds with radio-frequency electromagnetic field and cold plasma induces changes in seed phytohormone balance, seedling development and leaf protein expression. *Sci Rep*. 2019. No 9 (1). 6437.
12. Vian A., Davies E., Gendraud M., Bonnet P. Plant responses to high frequency electromagnetic fields. *Biomed Research International*. 2016. 830262. 13 p.
13. Pawelek A., Owusu S. A., Cecchetti D. et al. What evidence exists of crop plants response to exposure to static magnetic and electromagnetic fields? A systematic map protocols. *Environmental Evidence*. 2022. No 11. P. 37.
14. Zeynalov A. A., Letova A. N. Use of non-ionizing electromagnetic radiation in agricultural production. *Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2009. No 2. Pp. 31-32.

15. Shukis E. R., Shukis S. K. Ways to solve the problem of the quality of sorghum seeds in the Altai Territory. Forage production. 2019. No 5. Pp. 31-36.
16. Nasurlaeva Z. Yu. The effect of artificial electromagnetic field on seedlings. Modern science-intensive technologies. 2009. No 2. Pp. 7-11.
17. Gaponenko S. O., Bardyukova A. V., Milevich T. I., Gerasimenya V. P. The influence of electromagnetic radiation on the storage and germination of barley seeds. Actual issues of radiobiology and hygiene of non-ionizing radiation: collection of reports. Moscow: Russian National Committee on Non-Ionizing Radiation Protection, 2019. Pp. 206-210.
18. Kal'e M. I. The influence of millimeter-range microwave radiation on the physiological processes of germination of malting barley seeds. Bulletin of the Nizhny Novgorod University named after N. I. Lobachevsky. 2010. No 2 (2). Pp. 399-401.
19. Erokhin A. I., Tsukanova Z. R. Physical methods of pre-sowing seed treatment and the efficiency of their use. Scientific and production journal of legumes and cereal crops. 2014. No 3 (11). Pp. 84-88.
20. Klyuev D. S., Kuzmenko A. A., Trifonova L. N. Effect of pre-sowing seed treatment on germination by irradiating them with waves of different lengths. Physics of wave processes and radio engineering systems. 2020. Vol. 23. No 1. Pp. 84-88.
21. Karpovich V. A., Rodionova V. N., Lepyana G. Ya. Application of Microwave Energy in Modern Biotechnologies. MSMw'2001 Symposium Proceedings. Kharkov. 2001. Pp. 909-910.
22. Kasakova A. S., Ionova E. V., Pakhomov V. I., Lipkovich E. I., Yanina M. M., Taranov M. A., Fedorishchenko M. G. A Physiological Approach to Resistance Breeding for Control of Seed Rot and Seedling Diseases of Grain Sorghum. Sorghum and Millets Diseases. 2003. Pp. 473-473.
23. Gursky N. G., Zemlyanov V. A. Protection of sweet sorghum from diseases. Plant Protection and Quarantine. 2012. No 2. Pp. 51-53.
24. Catalog of varieties, hybrids and lines of agricultural crops bred by the Volga Region Research Institute of Straw Crops – branch of the SamSC RAS. Ust-Kinelsky, 2023. 58 p.
25. Kryazhev D. V., Smirnov V. F. New aspects of low-intensity radiation (LIR) application in ecobiotechnology. Bulletin of the Lobachevsky University of Nizhny Novgorod. 2010. No 2. Pp. 418-422.

Информация об авторах

Кинчарова Марина Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П. Н. Константинова (Российская Федерация, 446442, Самарская область, г. Кинель, пгт. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, 76), ORCID 0000-0002-1987-8708, e-mail: potatolab@mail.ru

Матвиенко Евгений Владимирович, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник, Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П. Н. Константинова (Российская Федерация, 446442, Самарская область, г. Кинель, пгт. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, 76), ORCID 0000-0002-3171-153X, e-mail: opel0076687@yandex.ru

Authors' information

Kincharova Marina Nikolaevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Volga Region Research Institute of Breeding and Seed Production named after. P. N. Konstantinov (Russian Federation, 446442, Samara region, Kinel, Ust-Kinelsky village, Shosseynaya str. 76), ORCID 0000-0002-1987-8708, email: potatolab@mail.ru

Matvienko Evgeniy Vladimirovich, Candidate of Biological Sciences, Junior Researcher, Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Volga Region Research Institute of Selection and Seed Production named after. P. N. Konstantinov (Russian Federation, 446442, Samara region, Kinel, Ust-Kinelsky village, Shosseynaya str. 76), ORCID 0000-0002-3171-153X, e-mail: opel0076687@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-59

THE PARTITIONING AND NETWORK REDUNDANCY OF THE 25/0.4 KV SUBSTATIONS FEEDING RURAL CONSUMERS FROM THE RAILWAY ELECTRIC NETWORKS

^{1,2}Kirillov S. V., ^{3,4}Vinogradov A. V., ⁵Fomin S. D.

¹Michurinsk power supply division of the open joint-stock company "Russian Railways"

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Michurinsk State Agrarian University
Michurinsk, Russian Federation

³Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Agroengineering Center VIM"
Moscow, Russian Federation

⁴Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhin,
Moscow, Russian Federation

⁵Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: kirill_mich@mail.ru

Received 11.08.2025

Submitted 30.10.2025

Summary

The article examines the causes of power outages for consumers supplied from railway power grids. Technical solutions are provided to reduce the number of power outages and their duration. These solutions can be implemented when designing new networks and reconstructing existing power supply systems for rural consumers from railway power grids.

Abstract

Introduction. More than 430 thousand third-party consumers are connected to the electric networks of JSC Russian Railways, a significant part of which are agricultural consumers, including rural settlements and agricultural enterprises located near railways. These electric networks are railway infrastructure, located on the supports of the contact network, therefore, when carrying out repair and maintenance work on various equipment and devices of the railway, it is necessary to disconnect them. Disconnections lead to interruptions in the power supply to rural consumers and the maximum disconnection time is often exceeded – 72 hours per year. JSC Russian Railways pays special attention to solving this problem, but the circuit solutions of the electric networks do not allow this. **Materials and methods.** The material under study is the schemes of electric networks of railways. Proposals have been developed for improving the schemes of power supply of rural consumers from electric networks of railways, taking into account the provision of reliability of power supply during the operation and repair of the railway infrastructure. Sectioning and network redundancy are adopted as the main methods for increasing the reliability of power supply. **Results and conclusions.** The article proposes to apply sectioning of 25 kV overhead power lines and network redundancy on the 0.4 kV side of 25/0.4 kV substations supplying rural consumers from the railway power grids. This will reduce the time of outages and reduce the number of disconnected consumers in the supply area. When selecting the locations of 25 kV network sectioning points, as well as when determining the length of 0.4 kV network sections implementing redundancy, the features of the formation of work sections on the railway infrastructure, during the work on which a power outage will be required, were taken into account. The permissible duration of consumer outages was also taken into account. The proposed scheme allows minimizing the number of consumers to be disconnected and the duration of their outages.

Keywords: network redundancy, power supply area, reliability of power supply, power supply system of the DPR, railway infrastructure, agricultural consumers, electrical load center.

Citation. Kirillov S. V., Vinogradov A. V., Fomin S. D. The partitioning and network redundancy of the 25/0.4 kV substations feeding rural consumers from the railway electric networks. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 541-551 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-59.

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

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

УДК 621.311

**СЕКЦИОНИРОВАНИЕ И СЕТЕВОЕ РЕЗЕРВИРОВАНИЕ ПОДСТАНЦИЙ 25/0,4 кВ,
ПИТАЮЩИХ СЕЛЬСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ
ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ**

^{1,2}Кириллов С. В., кандидат технических наук

^{3,4}Виноградов А. В., доктор технических наук, доцент

⁵Фомин С. Д., доктор технических наук, доцент

¹Мичуринская дистанция электроснабжения открытого акционерного общества «РЖД»
г. Мичуринск, Российская Федерация

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Мичуринский государственный аграрный университет
г. Мичуринск, Российская Федерация

³Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»
г. Москва, Российская Федерация

⁴Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина
г. Москва, Российская Федерация

⁵ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. К электрическим сетям ОАО «РЖД» подключено более 430 тыс. сторонних потребителей, значительная часть которых – это сельскохозяйственные потребители, в том числе сельские населенные пункты и предприятия АПК, территориально расположенные вблизи железных дорог. Данные электрические сети являются железнодорожной инфраструктурой, расположены на опорах контактной сети, поэтому при производстве работ по ремонту и обслуживанию различного оборудования и устройств железной дороги возникает необходимость их отключения. Отключения приводят к перерывам в электроснабжении сельских потребителей и зачастую превышает максимальное время отключений – 72 часа в год. ОАО «РЖД» уделяет особое внимание решению данной проблемы, однако схемные решения электрических сетей не позволяют это сделать. **Материалы и методы.** Исследуемым материалом являются схемы электрических сетей железных дорог. Разработаны предложения по совершенствованию схем электроснабжения сельских потребителей от элек-

трических сетей железных дорог, учитывающие обеспечение надежности электроснабжения при осуществлении эксплуатации и ремонта инфраструктуры железной дороги. В качестве основных методов повышения надежности электроснабжения приняты секционирование и сетевое резервирование. **Результаты и выводы.** В статье предлагается применить секционирование воздушных линий электропередачи 25 кВ и сетевое резервирование на стороне 0,4 кВ подстанций 25/0,4 кВ, питающих сельских потребителей от электрических сетей железной дороги. Это обеспечит сокращение времени отключений и снижение количества отключаемых потребителей района питания. При выборе точек размещения пунктов секционирования сети 25 кВ, а также при определении протяженности участков сети 0,4 кВ, осуществляющих резервирование, учтены особенности формирования участков производства работ на инфраструктуре железной дороги, при производстве работ на котором потребуются отключение электроэнергии. Также учитывалась допустимая продолжительность отключений потребителей. Предлагаемая схема позволяет минимизировать количество отключаемых потребителей и продолжительность их отключений.

Ключевые слова: сетевое резервирование, район питания, надежность электроснабжения, системы электроснабжения ДПР, инфраструктура железной дороги, сельскохозяйственные потребители, центры электрических нагрузок.

Цитирование. Кириллов С. В., Виноградов А. В., Фомин С. Д. Секционирование и сетевое резервирование подстанций 25/0,4 кВ, питающих сельских потребителей от электрических сетей железной дороги. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 541-551. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-59.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Открытое акционерное общество «Российские железные дороги» является второй по величине электросетевой организацией в Российской Федерации, уступая только ПАО «Российские сети», и имеет на своем балансе значительное количество электросетевых активов – подстанций и линий электропередач. К электрическим сетям ОАО «РЖД» подключено более 430 тыс. сторонних (не железнодорожных) потребителей (Санько, В. М. О реформировании энергетического комплекса ОАО «РЖД» и развитии электросетевой деятельности. *Евразия Вести XI 2017: Электронный журнал.* – URL: <http://eav.ru/publ1.php?publid=2017-11a01&ysclid=lrxi01b735819210598>). При проектировании и строительстве электрических железных дорог закладывались определенные технические решения для обеспечения энергией сторонних, нетяговых потребителей от систем электроснабжения железной дороги. В этой связи значительная часть сельскохозяйственных и других потребителей, расположенных вне городских территорий и территориально расположенных вблизи инфраструктуры железных дорог, получают питание от данных систем [1]. На рисунке 1 представлена схема электроснабжения тяговых и сторонних потребителей от тяговой подстанции переменного тока 25 кВ (с указанием границ балансовой принадлежности и эксплуатационной ответственности). Линии электропередачи, расположенные вдоль железной дороги и питаемые от центров питания электрических железных дорог – тяговых подстанций, являются железнодорожной инфраструктурой (рисунок 1). Практически на всем протяжении электрических железных дорог переменного тока номинальным напряжением 25 кВ имеются линии электропередачи системы «два дополнительных провода – рельс» (далее ДПР), от которых питаются железнодорожные потребители, а также сельские поселения и предприятия АПК (Имшенецкий, В. Н. Сельские электрические сети: Для фак. электрификации сел. хоз-ва / В. Н. Имшенецкий, С. М. Рожавский. – Москва: Колос, 1970. – 392 с.; Эбин, Л. Е., Молоснов Н.Ф. Питание сельскохозяйственных потребителей от тяговых подстанций переменного тока. // *Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства* / 1958 г. № 4 с. 31-35).

На схеме, представленной на рисунке 1, отражены следующие особенности системы железнодорожного электроснабжения переменного тока 25 кВ:

- от общих шин РУ 25 кВ получают питание электроподвижной состав (ЭПС) и подстанции 25/0,4 кВ (ТП), питающие различных потребителей;
- тяговые рельсы железнодорожного пути являются общим проводником фазы напряжения 25 кВ одновременно для тяговой сети, которая используется для питания ЭПС и для системы ДПР, которая используется для питания подстанций 25/0,4 кВ различных потребителей.

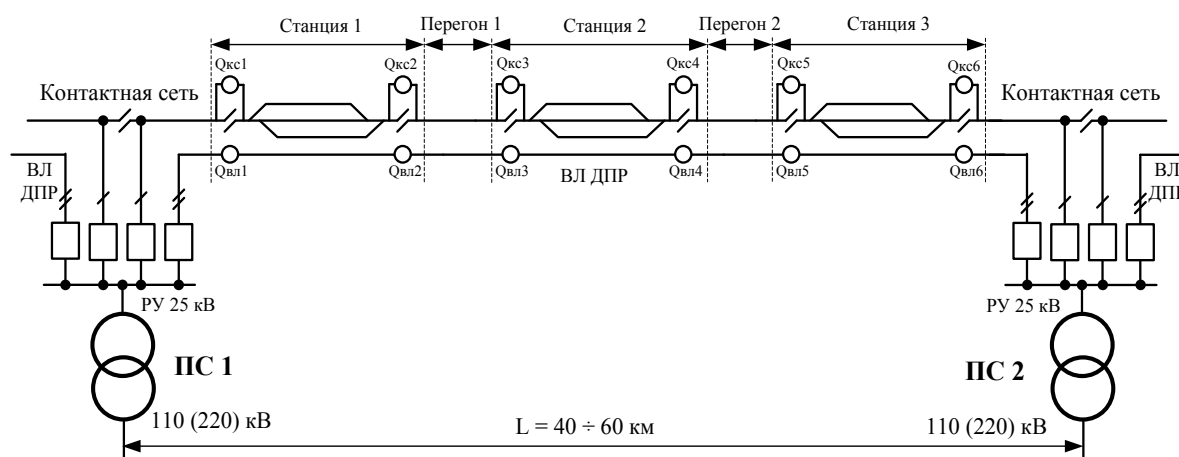


Рисунок 2 – Обобщенная схема питания и секционирования контактной сети и ВЛ ДПР при системе тягового электроснабжения 25 кВ

(ПС 1, ПС 2 – тяговые подстанции переменного тока системы 25 кВ; ВЛ ДПР – воздушная линия системы ДПР; Qкс – разъединители, секционирующие участки контактной сети, Qвл – разъединители, секционирующие участки воздушной линии ДПР

Figure 2 – Generalized diagram of power supply and sectioning of the contact network and overhead power line of the DPR for a 25 kV traction power supply system

(PS 1, PS 2 – AC traction substations of the 25 kV system; OHL DPR – overhead line of the DPR system; Qks – disconnectors sectioning sections of the contact network, Qvl – disconnectors sectioning sections of the overhead power line of the DPR

По схеме рисунка 2 видно, что линии электропередачи имеют двухстороннее питание и имеют определенное секционирование – по перегонам и станциям.

Необходимо отметить, что проблема обеспечения надежности электроснабжения является не решенной в полной мере до настоящего времени. Желание потребителей электрической энергии иметь бесперебойное и качественное электроснабжение является объективной потребностью, и в этой связи ОАО «РЖД» уделяет особое внимание решению данной проблемы. Это основано на анализе обращений потребителей и фактической работы устройств и систем электроснабжения, в т. ч. сельскохозяйственных потребителей. Как пример, в телеграфном указании заместителя генерального директора ОАО «РЖД» – директора топливно-энергетического комплекса ОАО «РЖД», В. М. Санько от 13.06.2024 г. №ИСХ-5561/ТЭ, направленном в адрес энергоснабжающих организаций ОАО «РЖД», определены направления организационного и технического характера для обеспечения качества и надежности электроснабжения нетяговых потребителей во время продолжительных отключений, связанных с производством работ на инфраструктуре электрической железной дороги. Данный документ показывает остроту и актуальность проблемы электроснабжения потребителей, питаемых от систем электроснабжения электрических железных дорог Российской Федерации [3]. И если продолжительность работ по обслуживанию оборудования, участвующего в электроснабжении, строго регламентирована и на основании этого определяется время продолжительности отключений, то при производстве работ на инфраструктуре железной дороги и объектах, имеющих приближение к железной дороге, продолжительность отключений, как правило, не учитывается, тем самым возникает риск невыполнения требований обеспечения надежности электроснабжения.

В основе настоящей работы использованы методы разработки схем электроснабжения с применением дополнительных факторов обеспечения надежности электроснабжения, зависящих от особенностей эксплуатации ремонта инфраструктуры железной дороги [1, 3, 4].

Результаты и обсуждение. Особенностью и очевидным преимуществом линий электроснабжения системы ДПР, в сравнении с большинством других линий электроснабжения сельскохозяйственных потребителей, является то, что они имеют двухстороннюю схему питания, с возможностью подачи напряжения в линию от одной из смежных питающих подстанций – рисунок 2. Потребители, подключенные к данным линиям, территориально расположены вдоль железнодорожной линии, и распределительные электрические

сети имеют незначительное развитие в стороны, перпендикулярные оси железной дороги. Таким образом, очевидным направлением повышения надежности электроснабжения потребителей, питаемых от электрических сетей железных дорог, является применение следующих способов [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]:

- разукрупнение схемы электроснабжения с уменьшением количества потребителей, питаемых от одной подстанции с изменением количества подстанций и мощности трансформаторов подстанций;

- использование секционирования сетей питания сельскохозяйственных потребителей по стороне высокого напряжения с целью минимизации по времени отключений и по количеству отключаемых потребителей при производстве работ на инфраструктуре железной дороги;

- использование методов сетевого резервирования и секционирования сетей питания сельскохозяйственных потребителей на стороне низкого напряжения с целью минимизации времени отключений и количества отключаемых потребителей.

Повышение надежности электроснабжения в первую очередь будет достигнуто за счет уменьшения количества потребителей, попадающих в зону отключения и уменьшения времени их отключения.

На рисунке 3 представлена предлагаемая схема секционирования высоковольтной воздушной линии электропередачи системы ДПР.

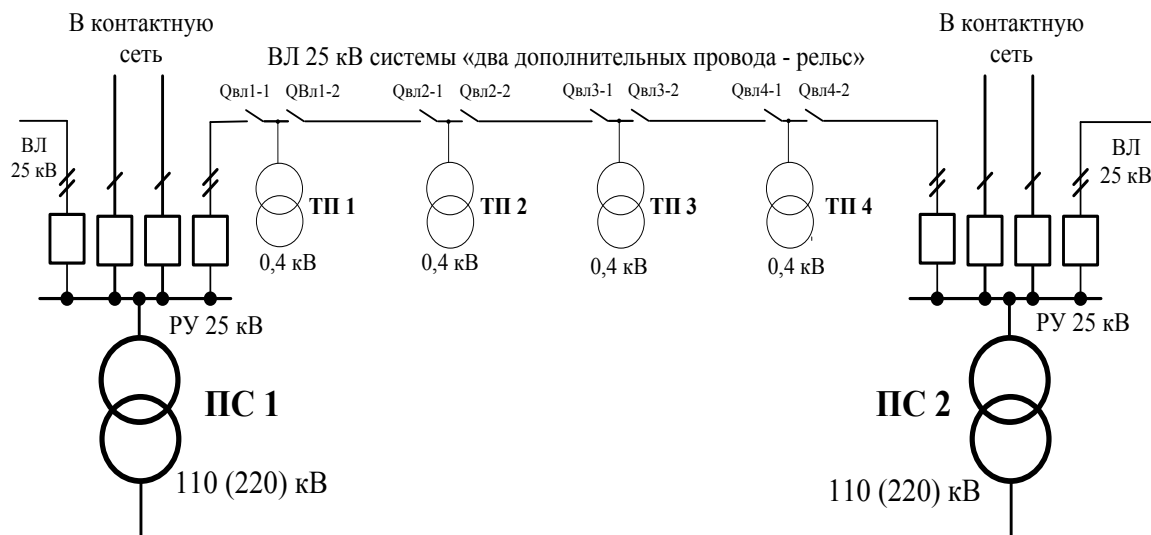


Рисунок 3 – Схема питания и секционирования ВЛ системы ДПР с подстанциями 25/0,4 кВ (ПС 1, ПС 2 – тяговые подстанции переменного тока системы 25 кВ; QвЛ – разъединители, секционирующие участки воздушной линии ДПР, ТП – подстанции 25/0,4 кВ)

Figure 3 – Power supply and sectioning diagram of the overhead power line of the DPR system with 25/0.4 kV substations

(PS 1, PS 2 – AC traction substations of the 25 kV system; Qvl – disconnectors, sectioning sections of the overhead power line of the DPR, TP – 25/0.4 kV substations)

Особенностью данной схемы (рисунок 3) является то, что имеется возможность выделения участка воздушной линии электропередачи системы ДПР, на котором отсутствуют потребители. Выделению подлежит участок линии, в границах которого производится работа на инфраструктуре железной дороги и требуется отключение по условиям обеспечения электробезопасности или в связи с разборкой рельсового пути. В случае выделения участка для производства работ на инфраструктуре железной дороги, подача напряжения в линию осуществляется с двух сторон от смежных подстанций – рисунок 3.

Дальнейшим развитием схемы, представленной на рисунке 3, является схема, изображенная на рисунке 4, – схема секционирования ВЛ системы ДПР с сетевым резервированием линий электропередачи напряжением 0,4 кВ. Данная схема повышает условия резервирования электроснабжения и может использоваться в случае, когда в зону отключения попадает подстанция 25/0,4 кВ.

ВЛ 25 кВ «два дополнительных провода - рельс»

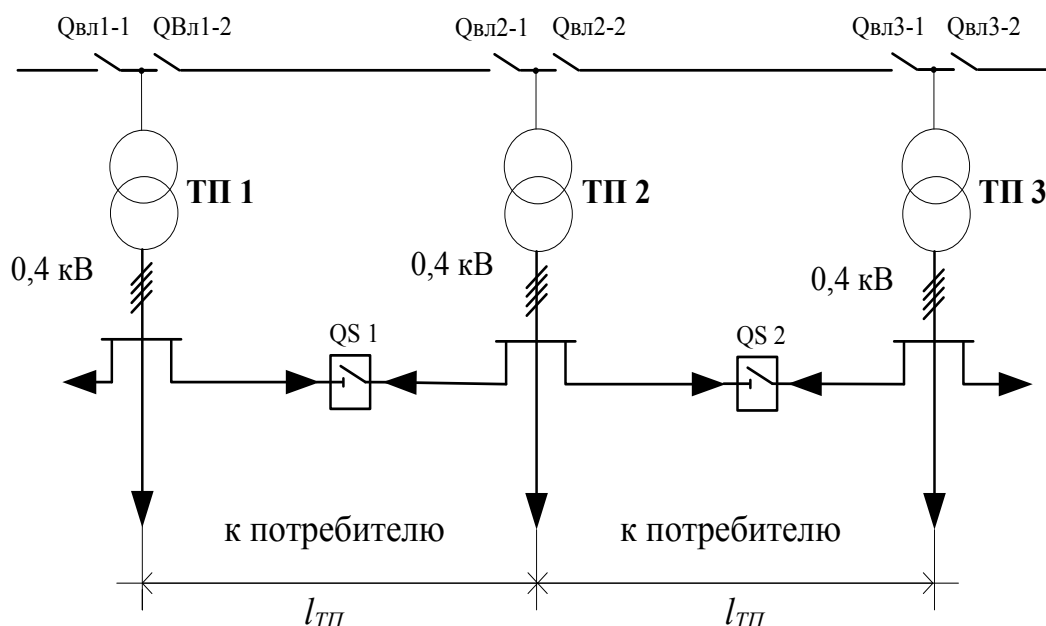


Рисунок 4 – Схема секционирования ВЛ системы ДПР с сетевым резервированием на стороне 0,4 кВ (QS – силовые коммутационные аппараты пунктов секционирования и резервирования 0,4 кВ)

Figure 4 – Scheme of sectioning of the overhead power line of the DPR system with network redundancy on the 0.4 kV side
(QS – Power switching devices of sectioning and redundancy points 0.4 kV)

Как было указано выше, особенностью электроснабжения потребителей, питаемых от электрических сетей железных дорог, является то, что они сосредоточены на небольшом расстоянии от железной дороги и располагаются, как правило, вдоль железнодорожного пути. В предлагаемой схеме (рисунок 4) основными критериями выбора количества подстанций 25/0,4 кВ (ТП) района питания является суммарная мощность потребителей – $S_{\text{потр}}$ и расстояние между подстанциями 25/0,4 кВ – $l_{\text{ТП}}$.

Суммарная мощность подстанций района питания, S , кВА, определяется:

$$S = \sum S_{\text{потр}} \cdot k_{\text{разв}}, \quad (1)$$

где $S_{\text{потр}}$ – суммарная мощность потребителей, определяемая из наибольшей полной мощности сезонного, а также суточного максимумов потребления, определяется по данным энергосбытовой организации и / или показаниям АСКУЭ, кВА. В случае нового строительства $S_{\text{потр}}$ определяется расчетным путем или на основании поданных заявок на технологическое присоединение и выданных технических условий; $k_{\text{разв}}$ – коэффициент развития района питания, определяется с перспективой увеличения мощности потребителей, их количества, а также на основании поданных заявок на технологическое присоединение и выданных технических условий, но не реализованных на момент проектирования, безразм.

Особенностью предлагаемого расчета, является то, что расстояние между подстанциями 25/0,4 кВ – $l_{\text{ТП}}$, определяется максимальным фронтом работ, выполняемым на инфраструктуре железной дороги с разборкой рельсового пути продолжительностью не более одних суток, когда невозможно обеспечить нормальную работу данных подстанций ввиду отсутствия проводника одной фазы высокого напряжения. Как правило, средняя выработка при производстве работ по ремонту железнодорожного пути составляет ~ 1 км/сутки. Таким образом, одним из условий выполнения требований сетевого резервирования по стороне низкого напряжения является наличие двух или более трансформаторных подстанций 25/0,4 кВ, расположенных на расстоянии не более 1 км друг от друга. Мощность трансформатора подстанции определяется:

$$S_{\text{ном.тр.}} = \frac{S \cdot l_{\text{ТП}}}{L}, \quad (2)$$

где L – протяженность района питания, вдоль железной дороги, км. Обязательным условием выполнения требований сетевого резервирования является использование значения L не менее 2.

Фактическая мощность трансформатора выбирается из стандартного ряда мощностей трансформаторов 25/0,4 кВ используемых в системе электроснабжения ДПР, по условию:

$$S_{\text{тр}} \geq S_{\text{ном.тр.}} \quad (3)$$

На рисунке 5 приведён план района питания (сельского населенного пункта) с разделением на отдельные зоны электроснабжения от ТП 25/0,4.

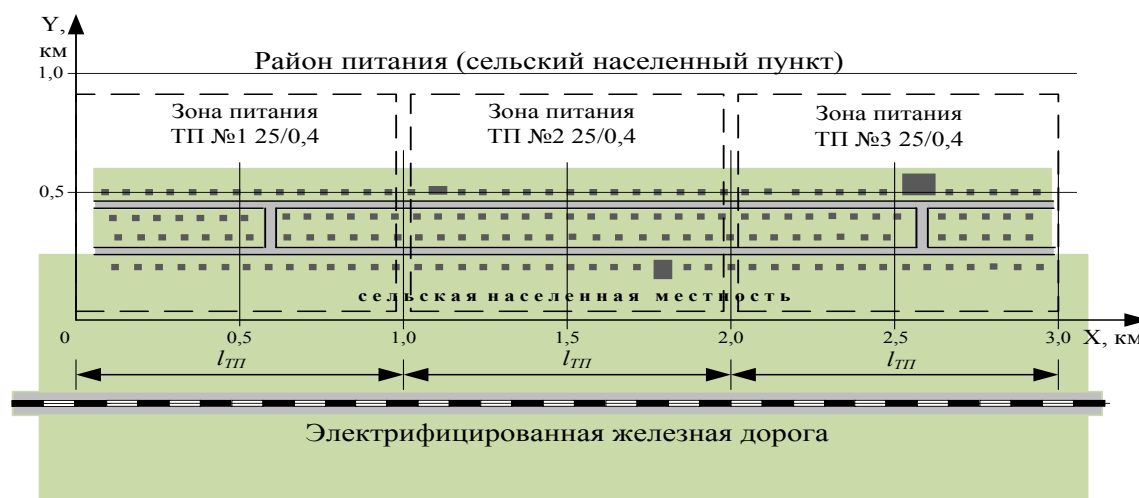


Рисунок 5 – План района питания (сельского населенного пункта) с разделением на отдельные зоны электроснабжения от ТП 25/0,4 кВ

Figure 5 – Plan of the power supply area (rural settlement) with division into separate power supply zones from 25/0.4 kV substation

Для снижения потерь электрической энергии в сетях напряжением 0,4 кВ также необходимо произвести определение центра электрических нагрузок. Так как в работе предлагается разделить район питания на электроснабжение от нескольких подстанций, то и центров электрических нагрузок будет несколько – по количеству подстанций. В основе расчета применяется метод, применяемый при проектировании схем электроснабжения [12, 13, 14, 15]. Однако вследствие особенностей расположения района питания, подключенного к системе железнодорожного электроснабжения и, соответственно подстанций, необходимо изменить методику определения центра электрических нагрузок, так как присутствуют ограничения по протяжённости распределительных сетей напряжением 0,4 кВ, определяемые $l_{\text{ТП}}$. Таким образом, определение центров нагрузок района питания от сетей железной дороги возможно проводить по следующему алгоритму:

1. Необходимо разбить план населённого пункта на зоны, протяженность которых по оси, совпадающей с осью железной дороги должна составлять $l_{\text{ТП}}$;
2. Провести определение центра нагрузок по каждой зоне, по следующей формуле:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad (4)$$

где X – ордината расположения центра нагрузок по оси X , совпадающей с осью пути железной дороги, в км; n – количество электропотребителей в каждой зоне питания населенного пункта; x_i – ордината расположения i – того объекта по оси X , в км; P_i – мощность i – того объекта каждой зоны питания, кВт.

3. Определить места расположения подстанций 25/0,4 кВ. При выборе мест, руководствоваться рассчитанными ординатами X.

В случае невыполнения заданных условий расстояния $l_{ТП}$, необходимо предусмотреть выполнение данного условия размещением подстанций в центрах нагрузок, но с подключением к ВЛ 25 кВ с выполнением условий по расстоянию $l_{ТП}$.

Таким образом, будет выбрана схема расположения трансформаторных подстанций 25/0,4 кВ, питающих сельскохозяйственных потребителей по следующим критериям – продолжительность работ на инфраструктуре железной дороги и выполнение требований надежности электроснабжения. Выбор проводов распределительных линий зоны питания от каждой ТП и проверка по выполнению требований уровня напряжения выполняется широко известными методами.

Заключение. Особенности эксплуатации инфраструктуры, в том числе электрических сетей железных дорог приводят к тому, что часто не выполняются требования к надёжности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей.

Одним из приоритетных направлений надёжного обеспечения их электроэнергией является применение секционирования и сетевого резервирования электрических сетей как высокого, 25 кВ, так и низкого, 0,4 кВ. Существующие схемы секционирования на стороне 25 кВ несовершенны, поэтому предложена схема секционирования, позволяющая уменьшить зону отключения и выделения участка воздушной линии для безопасного проведения работ на инфраструктуре железной дороги.

Предложенное применение методов сетевого резервирования и секционирования сетей на стороне низкого напряжения позволяет минимизировать количество и продолжительности отключений, количество отключаемых потребителей.

Предложенная методика выбора места размещения подстанций 25/0,4 кВ для электроснабжения района питания от железнодорожных электрических сетей даёт возможность определить необходимые параметры разукрупнения района питания с целью уменьшения числа отключаемых потребителей в период производства работ на инфраструктуре железной дороги.

Conclusion. The specifics of infrastructure operation, including railway electrical networks, often result in non-fulfillment of the requirements for reliable power supply to agricultural consumers.

One of the priority areas for their reliable supply of electricity is the use of sectioning and network redundancy of both high, 25 kV, and low, 0.4 kV electrical networks. The existing sectioning schemes on the 25 kV side are not perfect, so a sectioning scheme is proposed that allows reducing the shutdown zone and allocating a section of the overhead line for safe work on the railway infrastructure. The proposed use of network redundancy and network sectioning methods on the low voltage side allows minimizing the number and duration of shutdowns, the number of disconnected consumers. The proposed method for selecting the location of 25/0.4 kV substations for power supply to the power supply area from railway electrical networks makes it possible to determine the necessary parameters for disaggregating the power supply area in order to reduce the number of disconnected consumers during work on the railway infrastructure.

Библиографический список

1. Кириллов С. В., Виноградов А. В. Основы концепции совершенствования электроснабжения сельских потребителей от системы электроснабжения электрифицированной железной дороги. Техника и оборудование для села. 2024. № 7 (325). С. 42-45.
2. Кириллов С. В., Малютин С. А. Современная концепция оценки последствий невыполнения показателей надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей. Вестник Курганской ГСХА. 2025. № 1(53). С. 56-66.
3. Кириллов С. В., Виноградов А. В. Практическое исследование системы электроснабжения сельских потребителей, питаемых от электрических сетей железных дорог. Агроинженерия. 2025. Т. 27. № 4. С. 68-77.
4. Смирнов И. В., Баранов Р. А. Повышение надежности электроснабжения сельских электрических сетей. Инновационные тенденции развития российской науки: Материалы XIV Международной научно-практической конференции молодых ученых. Красноярск: Красноярский ГАУ, 2021. Т. 1. С. 213-216.
5. Кириллов С. В., Виноградов А. В. Развитие схем электроснабжения сельских потребителей от электрических сетей железных дорог. Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2025. Т. 72. № 2 (59). С. 36-45.
6. Виноградова А. В., Виноградов А. В. Устройство деления электрической сети и вариант его применения. Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2022. Т. 69. № 2 (47). С. 42-46.
7. Виноградов А. В. Управление конфигурацией как концепция развития сельских электрических сетей 0,4 кВ. Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2024. Т. 71. № 4 (57). С. 65-72.
8. Фахриева С. А. и др. Автоматическое секционирование воздушных линий электропередачи как способ повышения надежности сельских электрических сетей. Наука и бизнес: пути развития. 2024. № 11 (161). С. 97-102.
9. Тюрина Е. А., Виноградова А. В. Анализ способов секционирования и резервирования сельских электрических сетей. Агротехника и энергообеспечение. 2024. № 3 (44). С. 43-50.
10. Попов А. Н., Прийма Д. И. Разработка оптимальной конструкции автоматического пункта секционирования для воздушных электрических сетей напряжением 6-10 кВ. Интеллектуальная энергетика: сборник научных статей кафедры "Электроснабжение промышленных предприятий" АлтГТУ им. И. И. Ползунова. Барнаул: ООО "Межрегиональный Центр электронных образовательных ресурсов", 2021. С. 39-45.

11. Королев Д. С. Обзор состояния и перспективных направлений развития сельских электрических сетей 0,4 кВ. Агротехника и энергообеспечение. 2025. № 1 (46). С. 47-58.
12. Грищенко Д. Н., Богдан А. В., Лозовский В. В. Алгоритмы построения оптимального остова электрической сети. Сельский механизатор. 2023. № 8. С. 24-27.
13. Антропов Д. М. Особенности расчета электрических нагрузок центра обработки данных. Современные и информационные технологии в социальной сфере: материалы IV Всероссийской технической научно-практической конференции. Чебоксары: ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 2024. С. 104-108.
14. Михайлов С. А. Определение зон подключения потребителей к подстанциям, расположенным в центре электрических нагрузок. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». Пенза, 2013. Т. 2. С. 257-260.
15. Харитонов А. С., Веселова Н. М. Применение точки трансформации 35/6(10) кВ для улучшения надежности распределительных сетей 6, 10 кВ. Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: материалы II Всероссийской научно-практической конференции. Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. Т. 1. С. 148-154.

References

1. Kirillov S. V., Vinogradov A. V. Fundamentals of the concept of improving the power supply of rural consumers from the power supply system of an electrified railway. Machinery and equipment for the village. 2024. No 7 (325). Pp. 42-45.
2. Kirillov S. V., Malyutina S. A. Modern concept of assessing the consequences of failure to meet reliability indicators of power supply to agricultural consumers. Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy. 2025. No 1 (53). Pp. 56-66.
3. Kirillov S. V., Vinogradov A. V. Practical study of the power supply system of rural consumers fed from the electric networks of railways. Agroengineering. 2025. Vol. 27. No 4. Pp. 68-77.
4. Smirnov I. V., Baranov R. A. Improving the reliability of power supply of rural electrical networks. Innovative trends in the development of Russian science: Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference of Young Scientists. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University, 2021. V. 1. Pp. 213-216.
5. Kirillov S. V., Vinogradov A. V. Development of power supply schemes for rural consumers from railway power grids. Electrical technologies and electrical equipment in the agro-industrial complex. 2025. Vol. 72. No. 2 (59). Pp. 36-45.
6. Vinogradova A. V., Vinogradov A. V. Electrical network division device and a variant of its application. Electrical technologies and electrical equipment in the agro-industrial complex. 2022. V. 69. No 2 (47). Pp. 42-46.
7. Vinogradov A. V. Configuration management as a concept for the development of 0.4 kV rural electrical networks. Electrical technologies and electrical equipment in the agro-industrial complex. 2024. V. 71. No. 4 (57). Pp. 65-72.
8. Fakhrieva S. A. et al. Automatic sectioning of overhead power lines as a way to improve the reliability of rural electrical networks. Science and business: development paths. 2024. No 11 (161). Pp. 97-102.
9. Tyurina E. A., Vinogradova A. V. Analysis of methods for sectioning and redundancy of rural electrical networks. Agrotechnics and energy supply. 2024. No 3 (44). Pp. 43-50.
10. Popov A. N., Priyma D. I. Development of an optimal design of an automatic sectioning point for overhead electrical networks with a voltage of 6-10 kV. Intelligent power engineering: Collection of scientific articles of the Department of Power Supply of Industrial Enterprises of Altai State Technical University named after I. I. Polzunov. Barnaul: LLC "Interregional center of electronic educational resources", 2021. Pp. 39-45.
11. Korolev D. S. Review of the state and prospective directions of development of rural electrical networks of 0.4 kV. Agrotechnics and energy supply. 2025. No 1 (46). Pp. 47-58.
12. Grishchenko D. N., Bogdan A. V., Lozovsky V. V. Algorithms for constructing an optimal skeleton of an electrical network. Rural machine operator. 2023. No 8. Pp. 24-27.
13. Antropov D. M. Features of calculating electrical loads of a data processing center. Modern and information technologies in the social sphere: materials of the IV All-Russian technical scientific-practical conference. Cheboksary: Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI), 2024. Pp. 104-108.
14. Mikhailov S. A. Determination of zones of connection of consumers to substations located in the center of electrical loads. Proceedings of the international symposium "Reliability and Quality". Penza, 2013. V. 2. Pp. 257-260.
15. Kharitonov A. S., Veselova N. M. Application of the 35/6(10) kV transformation point to improve the reliability of 6, 10 kV distribution networks. Problems and prospects for the development of electric power industry and electrical engineering: materials of the II All-Russian scientific and practical conference. Kazan: Kazan State Power Engineering University, 2020. V. 1. Pp. 148-154.

Информация об авторах

Кириллов Сергей Викторович, кандидат технических наук, начальник Мичуринской дистанции электроснабжения ОАО «РЖД» (Российская Федерация, 393778, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Фрунзе, 1), доцент кафедры агроинженерии и электроэнергетики ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ (Российская Федерация, 393760, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101), e-mail: kirill_mich@mail.ru

Виноградов Александр Владимирович, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Российская Федерация, 109428, РФ, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5); профессор кафедры, РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева (Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49), e-mail: winaleksandr@gmail.com

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

Authors' Information

Kirillov Sergey Viktorovich, Candidate of Engineering Sciences, Head of the Michurinskaya Power Supply Division of JSC Russian Railways (Russian Federation, 393778, Tambov Region, Michurinsk, Frunze Str., 1), Associate Professor, Michurinsk State Agrarian University (Russian Federation, 393760, Tambov Region, Michurinsk, Internatsionalnaya Str., 101), e-mail: kirill_mich@mail.ru

Vinogradov Aleksandr Vladimirovich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Chief Researcher, Head of the Laboratory, Federal Scientific Center of VIM (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institut'sky proezd, 5), Professor of the Department, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev (Russian Federation, 127434, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), e-mail: winaleksandr@gmail.com

Fomin Sergey Denisovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department, Head of the Center for Scientific Analysis and International Indexing Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Avenue, 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-60

THE APPLICATION OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS FOR THE APPLE FRUIT DETECTION UNDER THE NIGHTTIME CONDITIONS IN THE INDUSTRIAL ORCHARDS USING THE UNMANNED AERIAL VEHICLES

Kutyrev A. I.

Federal Scientific Agroengineering Center VIM
Moscow, Russian Federation

Corresponding author E-mail: alexeykutyrev@gmail.com

Received 11.08.2025

Submitted 30.10.2025

The study was funded by a grant from the Russian Science Foundation No. 24-76-10071 «Development of remote monitoring methods based on optical visualization of biological objects in horticulture», <https://rscf.ru/project/24-76-10071>.

Summary

The article presents the results of research on the application of convolutional neural networks (YOLOv13 model with HyperACE mechanism) for automated recognition of apple tree fruits in industrial orchards in nighttime conditions using unmanned aerial vehicles. The YOLOv13l model provides the optimal balance between detection accuracy ($mAP_{50-95(B)} = 0,471$) and processing speed (55,5 ms/frame). The obtained results show a non-linear dependence between the distance to the light source, illumination intensity, and recognition accuracy, with the maximum performance ($mAP_{50} = 0,883$) achieved at a distance of 0,5 m under an illumination of 360 lux. This study confirms the advantages of operating computer vision systems in nighttime conditions with controlled artificial lighting compared to daytime shooting, where numerous unpredictable natural factors affect image quality.

Abstract

Introduction. Computer vision systems for recognizing biological objects in field conditions during daylight hours face numerous natural factors, including variability in the intensity and spectral composition of sunlight, cloud cover, and weather conditions (fog, precipitation, etc.). Uneven illumination creates glare and shadows, complicating the recognition of apple fruits within tree canopies. At night, the use of artificial light sources with adjustable parameters provides more stable imaging conditions, minimizing external interference, enhancing image contrast, and reducing noise levels. Evaluating the accuracy of the modern YOLOv13 convolutional neural network with the HyperACE mechanism, capable of handling group object interactions under dense foliage conditions, is a relevant task for automating nighttime monitoring of apple fruits and yield estimation. **Materials and methods.** The study was conducted using the modern YOLOv13 model in four variants (nano, small, large, x-large), incorporating the HyperACE mechanism. For model training, a dataset of 3500 images of apple fruits was collected. These images were captured at night (11:00 PM to 1:00 AM) using a DJI Mavic 3 Multispectral drone under artificial lighting (Godox Litemons LED6 Bi LED illuminator). The data was annotated with bounding boxes and augmented. Model training was performed using TensorFlow 2.15.0 and Keras 2.15.0 libraries on a computing system equipped with two NVIDIA GeForce RTX 2080 Ti GPUs. **Results and conclusion.** The analysis showed that the YOLOv13l model provides the optimal ratio of accuracy ($mAP_{50-95(B)} = 0,471$) and processing speed (55,5 ms). A nonlinear relationship has been established between the distance to the light source, illumination, and recognition accuracy: the maximum accuracy ($mAP_{50} = 0,883$) is achieved at 0,5 m and 360 lux, and the optimal working area ($mAP_{50} \geq 0,85$) corresponds to distances of <1,5 m and illumination ≥ 40 lux. YOLOv13s is recommended for real-time systems with limited computing resources. The data obtained confirm the advantages of night-time monitoring with controlled lighting, and allowed us to determine the optimal UAV positioning parameters for automated yield assessment.

Keywords: apple fruit detection, computer vision, deep learning, yield monitoring, convolutional neural networks, machine learning.

Citation. Kutyrev A. I. The application of convolutional neural networks for the apple fruit detection under the nighttime conditions in the industrial orchards using the unmanned aerial vehicles. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 551-563 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-60.

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 631.171:004.3:004.932

ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ПЛОДОВ ЯБЛОНИ В НОЧНЫХ УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО САДА С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**Кутырёв А. И., кандидат технических наук**ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»
г. Москва, Российская Федерация

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-76-10071 «Развитие методов дистанционного мониторинга на основе оптической визуализации биологических объектов в садоводстве», <https://rscf.ru/project/24-76-10071>.

Актуальность. Точность систем технического зрения, предназначенных для распознавания биологических объектов в полевых условиях в дневное время, снижается под влиянием ряда природных факторов, включая изменчивость интенсивности и спектрального состава солнечного освещения, степень облачности и метеоусловия (туман, осадки и др.). Неравномерное освещение создает блики и тени, затрудняя распознавание плодов яблони в кроне деревьев. В ночное время использование искусственных источников освещения с регулируемыми параметрами обеспечивает более стабильные условия съемки, минимизируя внешние помехи, повышая контрастность изображений и снижая уровень шумов. Оценка точности современной сверточной нейронной сети YOLOv13 с механизмом HyperACE, способной обрабатывать групповые взаимодействия объектов, является актуальной задачей для автоматизации ночного мониторинга плодов яблони и оценки урожайности. **Материалы и методы.** Исследование проведено с использованием современной модели YOLOv13 в четырех вариантах (nano, small, large, x-large), включающей механизм HyperACE. Для обучения моделей собрано 3500 изображений плодов яблони, полученных ночью (23:00-01:00) с помощью квадрокоптера DJI Mavic 3 Multispectral при искусственном освещении (светодиодный осветитель Godox Litemons LED6 Bi). Данные размечены с помощью ограничивающих рамок и дополнены аугментацией. Обучение моделей выполнено с использованием библиотек TensorFlow 2.15.0 и Keras 2.15.0 на вычислительной системе с двумя GPU NVIDIA GeForce RTX 2080 Ti. **Результаты и выводы.** Анализ показал, что модель YOLOv13l обеспечивает оптимальное соотношение точности (mAP50-95(B)=0,471) и скорости обработки (55,5 мс). Установлена нелинейная зависимость между расстоянием до источника света, освещенностью и точностью распознавания: максимальная точность (mAP50=0,883) достигается при 0,5 м и 360 лк, а оптимальная рабочая зона (mAP50≥0,85) соответствует расстояниям ≤1,5 м и освещенности ≥40 лк. YOLOv13s рекомендуется для систем реального времени с ограничениями по вычислительным ресурсам. Полученные данные подтверждают преимущества ночного мониторинга с контролируемым освещением, позволили определить оптимальные параметры позиционирования БЛА для автоматизированной оценки урожайности.

Ключевые слова: распознавание плодов яблони, компьютерное зрение, глубокое обучение, мониторинг урожайности, ночное время, сверточные нейронные сети (CNN), машинное обучение.

Цитирование. Кутырёв А. И. Применение сверточных нейронных сетей для распознавания плодов яблони в ночных условиях промышленного сада с помощью беспилотного летательного аппарата. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 551-563. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-60.

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. Учеными исследованы различные методы компьютерного зрения для решения задач распознавания, классификации и сегментации плодов яблони в кроне деревьев в условиях промышленных садовых насаждений [1, 2]. На работу систем технического зрения (СТЗ) в условиях дневного освещения оказывают влияние многочисленные природные факторы, включая изменчивость интенсивности и спектрального состава солнечного освещения, обусловленную положением солнца, степенью облачности и метеоусловиями (туман, осадки и др.). Неравномерное освещение, характерное для естественных условий, приводит к возникновению бликов, теней и отражений на поверхности объектов, что существенно усложняет процессы распознавания и сегментации плодов [3, 4].

В ночное время использование таких систем осуществляется в более предсказуемой среде благодаря применению искусственных источников освещения с регулируемыми параметрами (цветовой температурой и яркостью). Отсутствие внешних источников естественного света позволяет минимизировать влияние внешних факторов, обеспечивая стабильность условий съёмки [5]. Использование дополнительной подсветки в условиях низ-

кой освещённости способствует повышению контрастности изображений, снижению уровня шумов за счет возможности использования более коротких выдержек и улучшению визуальной различимости биологических объектов, таких как плоды яблони. Современные исследования подтверждают, что контролируемое освещение является основным фактором для повышения качества входных данных для СТЗ, точности работы алгоритмов распознавания [6, 7].

Для решения задачи распознавания плодов яблони на изображениях применяется широкий спектр методов. Традиционные алгоритмы машинного обучения, такие как метод опорных векторов (Support Vector Machine, SVM) [8], алгоритм K-Means (K-Means clustering) [9] и случайный лес (Random Forest) [10] используются для бинарной классификации (яблоко/фон) и регрессии, а также для неконтролируемой сегментации изображений на основе цветовых или текстурных характеристик, выделения групп пикселей, потенциально относящихся к плодам. Эти методы требуют ручного извлечения признаков и показывают низкую точность в сложных условиях (например, при переменном освещении или частичной деформации объектов). Сходство визуальных характеристик, таких как цвет, текстура и форма листьев и яблок, а также вариативность размеров и форм плодов, существенно осложняет процесс извлечения признаков с помощью традиционных алгоритмов, что приводит к снижению точности распознавания и увеличению числа ложных срабатываний.

Методы глубокого обучения, такие как двухэтапные детекторы R-CNN (Region-based Convolutional Neural Network) и Faster R-CNN [11, 12], а также одноэтапные детекторы YOLO (You Only Look Once) и SSD (Single Shot MultiBox Detector) [13, 14], оптимизированные для высокой скорости обработки кадров, применяются для распознавания, классификации и сегментации плодов. Модели, такие как Mask R-CNN, позволяют точно выделять контуры объектов и обеспечивают высокую точность даже при частичном перекрытии плодов и сложном фоне. Однако их применение требует больших объёмов размеченных данных для обучения [15].

Трансформерные модели, такие как ViT и DETR, а также мультимодальные системы, комбинирующие визуальные данные с дополнительной информацией (например, спектральные, тепловизионные или 3D-данные), используются для предсказания положения объектов, классификации и анализа сцен. Модели повышают надёжность распознавания в условиях сложного освещения, густой листвы или неоднородного фона, но требуют ещё больших объёмов данных и вычислительных ресурсов по сравнению с классическими CNN [16, 17].

Для распознавания плодов яблони в кроне деревьев в исследованиях применяются RGB-камеры с различными фильтрами, а также тепловизионные и спектральные камеры [8]. Разрабатывались системы со структурированным светом и стереозрением, предоставляющие трёхмерную информацию о кроне деревьев [18]. Одной из главных проблем, с которыми сталкиваются исследователи, является рост вычислительной сложности моделей при их адаптации к разнообразным природным условиям. Баланс между вычислительной нагрузкой и точностью распознавания остаётся ключевой задачей в разработке алгоритмов для работы в режиме реального времени [19]. Результаты исследований показывают, что современные модели глубокого обучения, такие как YOLO, эффективно работают в различных условиях освещённости и на разных стадиях роста растений [20].

Целью исследований является оценка точности современной модели свёрточной нейронной сети YOLOv13 при работе в ночное время с использованием искусственного освещения для автоматизированной оценки урожайности в промышленных садах.

Материалы и методы. В исследованиях использована современная модель YOLOv13, которая была разработана исследовательской группой научных учреждений и является развитием серии YOLO (дата выхода 21 июня 2025 г.) [21]. Модель представлена в четырех вариантах, различающихся вычислительной сложностью и точностью: n (nano), s (small), l (large) и x (x-large). Версия YOLOv13-n (2,5 млн параметров, 6,4 млрд FLOPs) показывает задержку 1,97 мс на изображении с разрешением 640x640 (наборе изображений датасета Common Objects in Context) при работе на GPU; YOLOv13-s (9,0 млн параметров, 20,8 млрд FLOPs), задержка 2,98 мс; YOLOv13-l (27,6 млн параметров, 88,4 млрд FLOPs) задержка 8,63 мс; Модель YOLOv13-x (64,0 млн параметров, 199,2 млрд FLOPs) задержка 14,67 мс.

Предыдущие версии YOLO до версии 13 (включая YOLO11 и YOLO12) ограничивались моделированием только парных взаимодействий между объектами распознавания (например, «объект А рядом с объектом Б») [22]. Однако в реальных условиях объекты часто взаимодействуют группами, образуя сложные контекстные зависимости. Для решения этой проблемы в архитектуру модели YOLOv13 включен механизм HyperACE (Hypergraph-based Adaptive Correlation Enhancement) на основе гиперграфов (рисунок 1).

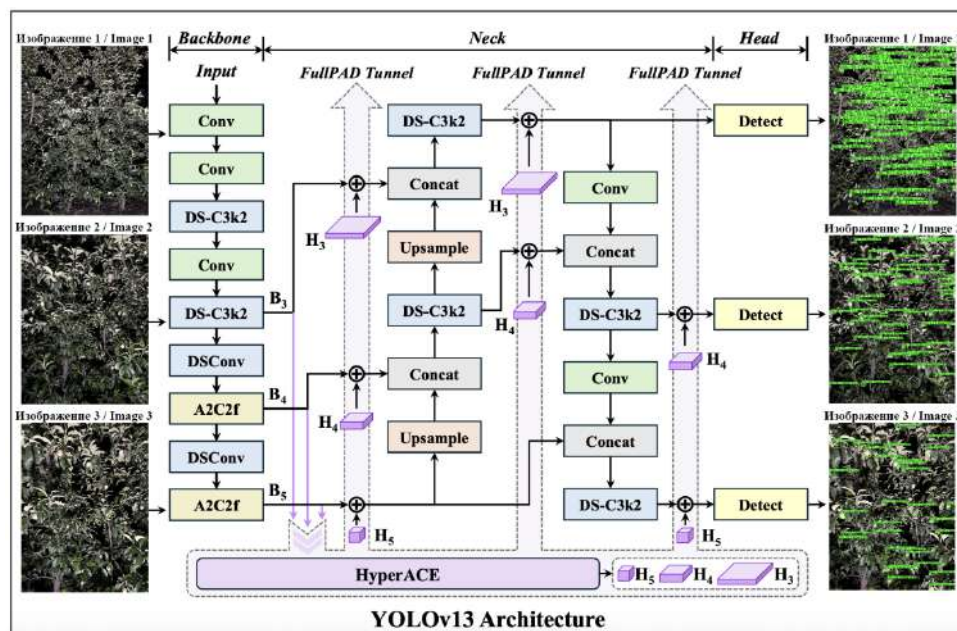


Рисунок 1 – Используемая в исследованиях архитектура модели сверточной нейронной сети глубокого обучения YOLOv13

Figure 1 – The architecture of the YOLOv13 deep learning convolutional neural network model used in the research

HyperACE автоматически выявляет сложные групповые взаимодействия с помощью нейросети (например, «яблоки А, Б и В образуют кластер»), что значительно повышает точность при густой листве, перекрытиях, малом размере объектов или их плотном расположении. Это позволяет модели учитывать корреляции высокого порядка внутри групп объектов, а не только локальные парные связи. Чтобы модель могла максимально эффективно использовать выявленные сложные связи между объектами, в архитектуру YOLOv13 введён пайплайн FullPAD (Full-Pipeline Aggregation-and-Distribution). Этот механизм берёт признаки, усиленные с помощью гиперграфов (HyperACE), и распространяет их по всей сети от нижних слоев (backbone) до верхних слоев (head). Для снижения вычислительной нагрузки и размера модели использованы блоки на основе глубинно-разделимых свёрток (DSConv). Вместо стандартных свёрточных блоков используются эффективные модули DS-Bottleneck, DS-C3k и DS-C3k2, которые значительно сокращают количество параметров и вычислений (FLOPs). Замена свёрток на DSConv позволяет сократить число параметров до 30 % и FLOPs на 28 %, без потери в точности распознавания объектов [21].

На рисунке 2 представлен график зависимости между метрикой средней точности (mAP) и вычислительной сложностью (FLOPs) моделей (YOLOv5-YOLOv13) для задачи распознавания объектов на наборе данных MS COCO (рисунок 2).

Каждая последующая версия YOLO показывает прогресс в точности и скорости. Современная модель YOLOv13 позволяет распознавать объекты на изображениях различной сложности и масштабов, строить ограничивающие рамки и определять классы объектов за один проход (One-stage), что исключает необходимость в дополнительных вычислениях и постобработке результатов. Многоуровневое использование слоев Detect позволяет эффективно распознавать объекты разных размеров, генерировать выходные данные на разных уровнях и объединять информацию для повышения производительности.

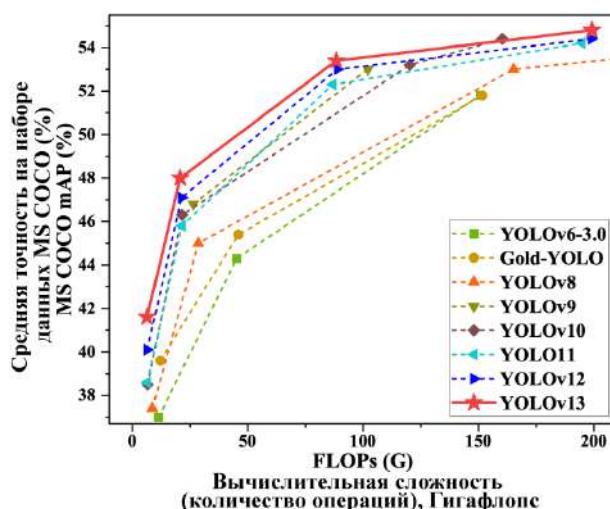


Рисунок 2 – Точность различных моделей сверточных нейронных сетей YOLOv5-YOLO13

Figure 2 – Accuracy of various YOLOv5-YOLO13 convolutional neural network models

Сбор набора исходных данных (изображений деревьев яблони) для трансферного обучения (Transfer Learning, TL – повторное использование предварительно обученной модели с её последующей донастройкой под специализированную задачу) моделей YOLOv13 nano-x-large проведен с 23:00 до 01:00. Снимки были получены с помощью RGB камеры квадрокоптера DJI Mavic 3 Multispectral и экшен-камеры DJI Osmo Action 5 Pro, обе камеры имеют следующие идентичные характеристики: матрица 1/1.3 дюйма, эквивалентное фокусное расстояние 24 мм, диафрагма f/2.8, 20 мегапикселей. В качестве единственного источника освещения использовался светодиодный осветитель Godox Litemons LED6 Bi (bi-color, 32 светодиода «холодного» белого и 32 светодиода «теплого» белого света), общей мощностью 6 Вт. Освещенность составляла до 360 лк на расстоянии 0,5 м при индексе цветопередачи CRI≥97 (TLCI≥97). Цветовая температура регулировалась в диапазоне от 3200 K до 6500 K, мощность от 0 % до 100 % (рисунок 3).



Рисунок 3 – Сбор набора исходных данных (изображений) с помощью квадрокоптера DJI Mavic 3 Multispectral и экшен-камеры DJI Osmo Action 5 Pro

Рисунок 3 – Collecting a set of source data (images) using a DJI Mavic 3 Multispectral quadcopter and a DJI Osmo Action 5 Pro action camera

Полёт БЛА выполнялся вдоль междурядий сада с шириной 3,0-3,5 метра на высоте от 0,5 до 2,0 метров над уровнем почвы для обеспечения оптимального угла обзора и равномерного распределения искусственного освещения от светодиодного источника.

Разметка изображений была выполнена с использованием инструмента выделения ограничивающих рамок (Bounding Boxes, BB) в программе RectLabel (рисунок 4). Этот метод позволил описать контур объектов, которым были присвоен класс «Apple» для плодов яблони. Для расширения набора обучающих данных было применено аугментирование изображений, включающее следующие преобразования: коррекцию насыщенности в диапазоне $\pm 15\%$, коррекцию экспозиции в диапазоне $\pm 10\%$ и гауссово размытие с ядром размером до 0,5 пикселей.

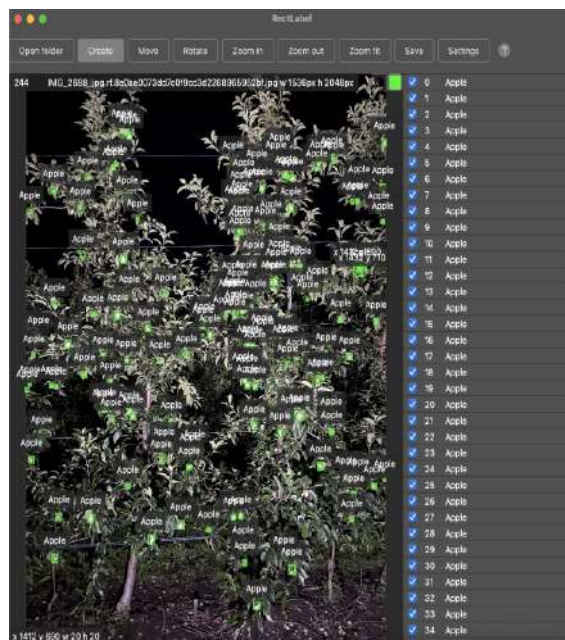


Рисунок 4 – Разметка набора данных для обучения сверточной нейронной сети YOLOv13 в программе RectLabel

Figure 4 – Labeling the dataset for training the YOLOv13 convolutional neural network in the RectLabel program

В результате общий объем данных составил 3500 изображений, включая сгенерированные при аугментации. Для обучения модели YOLO использовано 2450 снимков (70 %), для валидации и тестирования использовано по 525 изображений (по 15 % на каждую выборку). Построена карта, отображающая пространственное распределение плотности аннотаций плодов яблони по сеткам, от полного отсутствия (0) до максимума в 148 при среднем значении 48 (рисунок 5).

Качество распознавания оценивалось с использованием стандартных метрик: точность (Precision – доля верно распознанных яблок среди всех обнаруженных объектов), полнота (Recall – доля верно распознанных яблок среди всех яблок на изображении) и средняя точность mAP (mean Average Precision – интегральная метрика, учитывающая точность при различных порогах уверенности модели). В процессе обучения минимизировалась функция потерь (Loss Function), характеризующая расхождение между предсказанными и аннотированными координатами рамок [23].

Для разработки и обучения моделей сверточных нейронных сетей использовались следующие библиотеки: TensorFlow 2.15.0 и Keras 2.15.0 (с поддержкой CUDA 12.2) с мониторингом в TensorBoard 2.15.0; PyArrow 10.0.1 для обработки датасетов; NumPy для операций с массивами; JAX 0.4.23 для GPU-ускоренных вычислений с автоматическим дифференцированием; OpenCV для обработки изображений; matplotlib и tqdm для визуализации и отслеживания прогресса соответственно. Вычисления выполнялись на системе с процессором Intel Core i9-10900X (10 ядер), двумя GPU NVIDIA GeForce RTX 2080 Ti (11 ГБ VRAM каждая), 128 ГБ ОЗУ и 1 ТБ NVMe SSD.

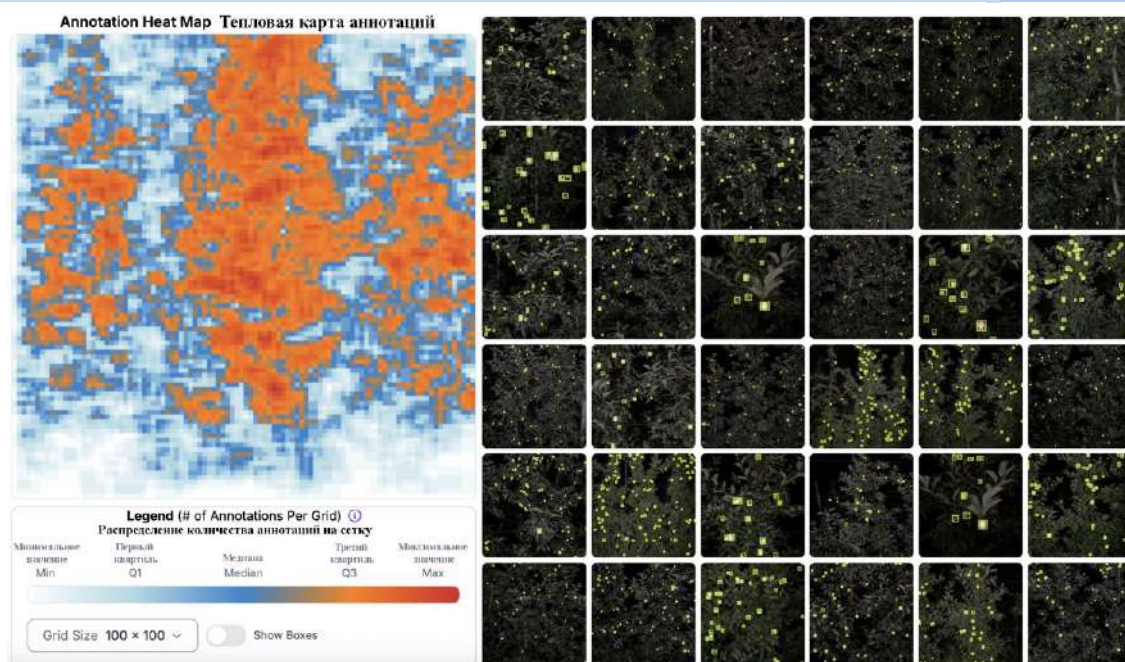


Рисунок 5 – Пространственное распределение плотности аннотаций плодов яблони на изображениях
Figure 5 – Spatial distribution of apple fruit annotation density in images

Собранные данные и обученные модели направлены на решение задачи количественной оценки урожайности, где точность распознавания напрямую влияет на точность прогнозирования урожая.

Результаты и обсуждение. В результате проведенных исследований был проведен сравнительный анализ моделей YOLOv13 nano-x-large по ключевым метрикам, включая количество параметров и вычислительную сложность (GFLOPs), при различных порогах IoU (mAP50 и mAP50:95). Порог IoU (Intersection over Union, отношение площади пересечения предсказанных и истинных ограничивающих рамок к площади их объединения) задаёт минимальный уровень перекрытия объектов, при котором детекция считается верной (например, 0.5 или 50 %) (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты обучения моделей сверточных нейронных сетей YOLOv13 nano-x-large
Table 1 – Results of training models of convolutional neural networks YOLOv13 nano-x-large

Метрика / Metric	YOLOv13n	YOLOv13s	YOLOv13l	YOLOv13x
Точность / Precision(B)	0,774	0,796	0,804	0,808
Полнота / Recall(B)	0,867	0,866	0,867	0,870
Средняя точность, порог 50 / mAP50(B)	0,855	0,872	0,881	0,883
Средняя точность порог 50-85 / mAP50:95(B)	0,444	0,467	0,471	0,476
Время инференса, мс / Inference Time, ms	18,6	26,7	55,5	79,8

(B) – метрики, рассчитанные для ограничивающих рамок (bounding boxes)

(B) – metrics calculated for bounding boxes

Эксперимент позволил определить оптимальные параметры для обучения моделей YOLOv13n-x. Параметр (Patience), задающий допустимое количество эпох без улучшений на валидации, был установлен на 100. Размер входных изображений составил 640x640 пикселей, количество эпох варьировалось от 181 до 230. Размер пакета данных (Batch Size) определен как 8 изображений, обрабатываемых одновременно в каждой итерации обновления весов.

На рисунке 6 приведены примеры распознавания плодов яблони моделями YOLOv13n-x на тестовом наборе, где каждый плод выделен ограничивающей рамкой с указанием вероятностей. Для визуализации пространственного распределения распознанных плодов яблони реализован алгоритм построения тепловой карты плотности, где каждому распознанному объекту присваивается уникальный идентификатор (UID) с последующей пространственной сортировкой результатов распознавания по вертикали (сверху-вниз) и

горизонталь (слева-направо). Карта плотности формируется путем нанесения круговых меток радиусом 30 пикселей в центрах ограничивающих рамок с последующим гауссовым размытием, нормализацией и применением цветовой палитры JET, что позволяет оценить зоны концентрации плодов в кроне деревьев.

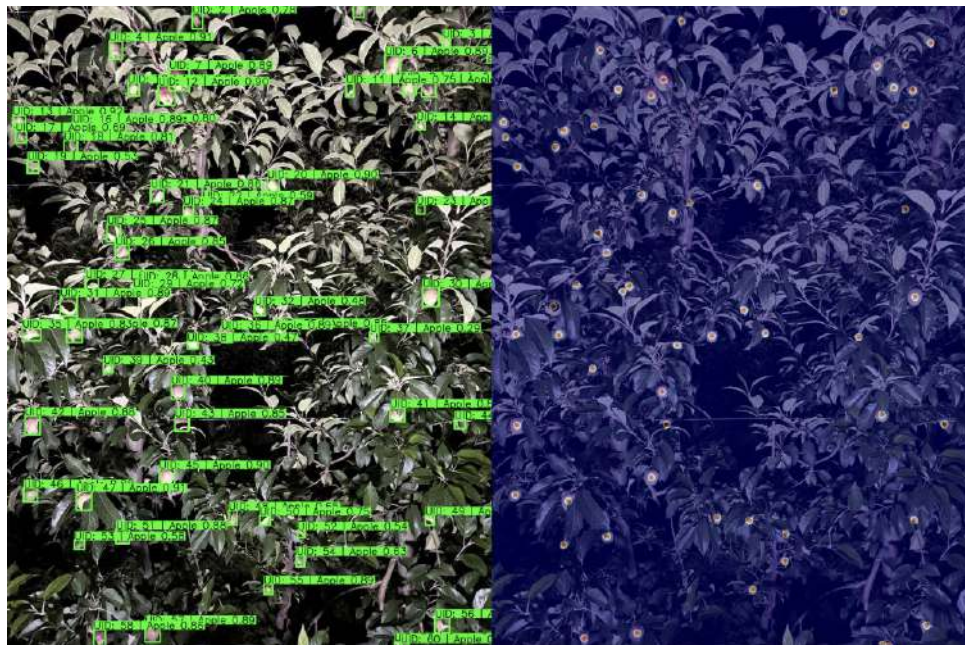


Рисунок 6 – Результаты распознавания плодов яблони моделью YOLOv13 x-large с визуализацией тепловой карты плотности

Figure 6 – Apple fruit recognition results using YOLOv13 x-large model with density map visualization

В процессе обучения на каждой итерации проводилась оценка точности и полноты распознавания с применением ограничивающих рамок, оценка средней точности, а также оценка функции потерь (рисунок 7, 8, 9). Полученные графики mAP50 и 50-95(Box)-Эпоха обучения показывают изменения метрики средней точности при пороговом значении IoU (Intersection over Union) в 50 % и 50-95 %. График отражает динамику оптимизации модели по мере увеличения числа итераций, позволяя оценить эффективность обучения с точки зрения прироста mAP и выявления оптимального количества эпох для стабилизации производительности модели. По итогам анализа выбраны оптимальные значения количества эпох для каждой модели, обеспечивающие максимальную производительность: YOLOv13 nano – 130, YOLOv13 small – 123, YOLOv13 large – 81, YOLOv13 x-large – 116.

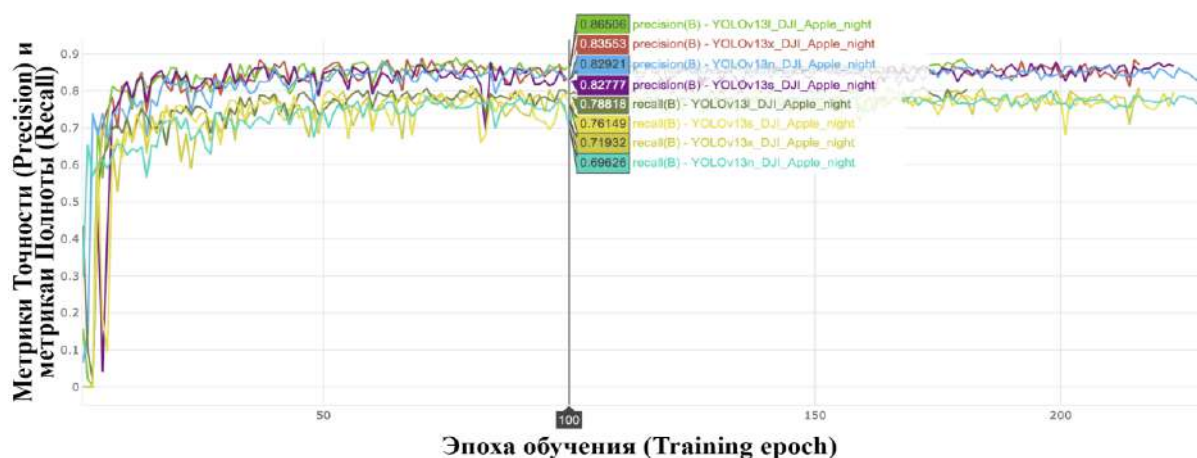


Рисунок 7 – График изменения метрик Точности (Precision) и Полноты (Recall) в зависимости от эпохи обучения

Figure 7 – Graph of changes in Precision and Recall metrics depending on the training epoch

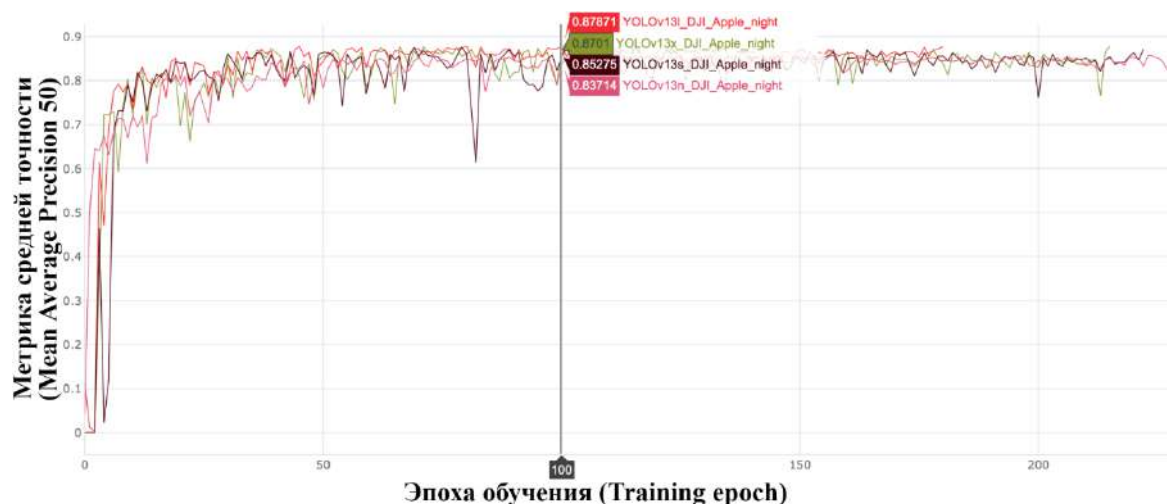


Рисунок 8 – График зависимости метрики Средней точности (mAP50) в зависимости от эпохи обучения
Figure 8 – Graph of the dependence of the Average accuracy metric (mAP50) depending on the learning epoch



Рисунок 9 – График зависимости функции потерь (Loss Function) в зависимости от эпохи обучения
Figure 9 – Graph of the dependence of the Loss Function depending on the learning epoch

По результатам комплексной оценки моделей YOLOv13 на специализированном ночном датасете установлено, что версия YOLOv13l показывает рациональное соотношение точности и производительности, достигая наивысшего значения метрики mAP50-95(B) (0,471) при сохранении приемлемой скорости обработки изображений (55,5 мс, разрешение изображений 3840x2880). Анализ показал нелинейную зависимость между масштабом модели и точностью распознавания: увеличение параметров и вычислительной сложности в вариантах large (88,4G FLOPs) и x-large (199,2G FLOPs) обеспечивает незначительный прирост точности по метрике mAP50(B) (0,881 и 0,883 соответственно), сопровождающийся существенным ростом задержки обработки (до 79,8 мс у x-large версии). Модели YOLOv13s (26,7 мс, 20,8 G FLOPs) и YOLOv13n (18,6 мс, 6,4 G FLOPs) подтверждают свою эффективность для работы в условиях ограниченных вычислительных ресурсов, сохраняя достаточно высокую точность (mAP50(B) = 0,872 и 0,855 соответственно). При этом ключевым ограничением всех моделей остается умеренное значение точности обнаружения (precision(B) ≤ 0,808). Высокий показатель метрики Recall(B) (0,861-0,870) во всех вариантах свидетельствует о высокой устойчивости архитектуры к ложноположительным срабатываниям в сложных ночных условиях работы. Полученные данные обосновывают целесообразность использования модели YOLOv13l как базового решения для точного распознавания плодов яблони, тогда как YOLOv13s рекомендуется для систем реального времени с высокими требованиями к вычислительным ресурсам.

Для исследования влияния расстояния и освещенности на точность распознавания плодов яблони был проведен эксперимент, в котором последовательное позиционирование DJI Mavic 3 Multispectral осуществлялось на фиксированных дистанциях от кроны яблоневых деревьев: 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5 и 3,0 метра. Для каждой дистанции измерение освещенности проводилось с помощью люксметра Testo 540 в центральной части кадра непосредственно перед съемкой.

Для обеспечения статистической достоверности результатов при каждой фиксированной дистанции было сделано по 50 снимков. Все измерения проводились при одинаковых условиях: цветовая температура осветителя Godox Litemons LED6 Bi была установлена на 5600 К, мощность 100 %. В результате проведенных измерений установлено, что экспериментальные значения освещенности незначительно отклоняются от теоретических (в пределах 5 %) вследствие естественных факторов, таких как отражения от окружающих поверхностей и минимальная погрешность измерительного оборудования.

Полученные изображения были обработаны с использованием обученных моделей YOLOv13n-x, и для каждой «комбинации расстояние-освещенность» была рассчитана средняя точность (mAP50) распознавания плодов. Анализ полученных данных позволил выявить нелинейную зависимость между расстоянием до осветителя, уровнем освещенности и точностью распознавания. Максимальное значение метрики средней точности mAP50 = 0,883, достигнутое моделью YOLOv13x, зафиксировано при расстоянии 0,5 м и освещенности 360 лк, тогда как на дистанции 3,0 м при освещенности 10 лк точность снижалась до 0,785. Для визуализации полученных зависимостей построен график, отображающий распределение значений метрики mAP50 в координатах «расстояние-освещенность» (рисунок 10).

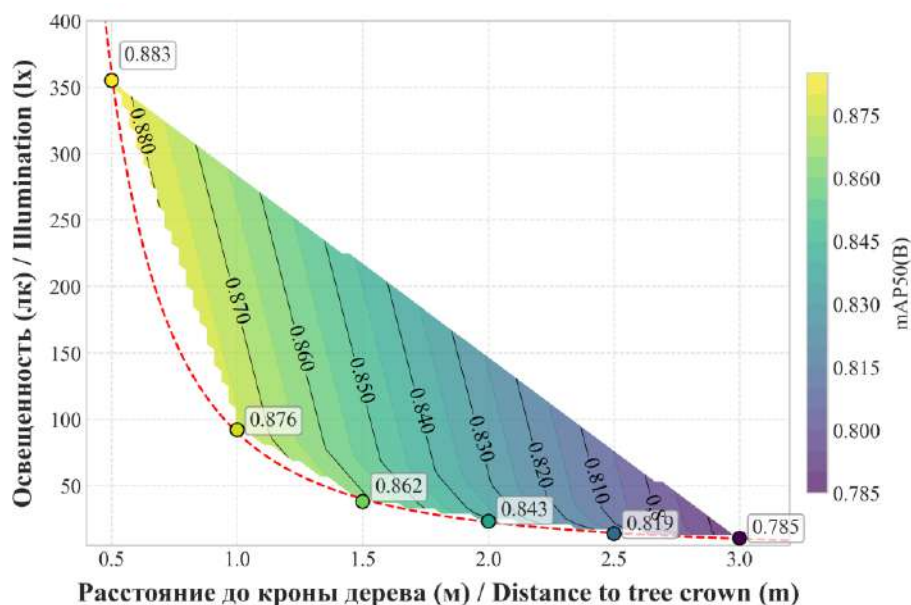


Рисунок 10 – Зависимость точности распознавания (mAP50) от дистанции и освещенности
Figure 10 – The dependence of recognition accuracy (mAP50) on distance and illumination

Для интерполяции данных использовалась функция griddata из библиотеки SciPy (Python), которая позволила построить непрерывную поверхность между экспериментальными точками и определить изолинии постоянной точности. В результате проведенных исследований экспериментально установлено, что средняя точность распознавания плодов яблони (mAP50) существенно зависит от расстояния до осветителя и уровня освещенности. Эксперимент подтвердил, что в условиях низкой освещенности плоды яблони, находящиеся вблизи источника света, обладают более выраженными отличительными признаками, что облегчает их распознавание. Анализ изолиний показал, что оптимальная рабочая зона ($mAP50 \geq 0,85$) соответствует расстояниям $\leq 1,5$ м и освещенности ≥ 40 лк, тогда как значительное падение точности ($mAP50 \leq 0,82$) наблюдается при дистанциях $\geq 2,5$ м и освещенности $\leq 14,4$ лк.

Полученные зависимости позволили установить, что для поддержания высокой точности распознавания ($>0,85$) в ночных условиях необходимо либо сокращать расстояние до яблоневого дерева до 1,5 м, либо увеличивать мощность осветителя пропорционально квадрату расстояния для поддержания требуемого уровня освещенности. Полученные результаты имеют практическое значение для проектирования систем автоматизированного мониторинга урожайности с использованием БЛА в ночных условиях, определены оптимальные параметры позиционирования летательного аппарата относительно кроны дере-

вьев и необходимая мощность осветительных устройств для обеспечения высокой точности распознавания плодов. Для дальнейшего повышения точности распознавания плодов для оценки урожайности необходимо оптимизировать распределение света в кроне деревьев, так как перепады освещенности между яркими участками и тенями снижают точность на 8-12 % по сравнению с равномерной подсветкой. Это можно достичь за счет использования нескольких источников света с разных ракурсов и применения рассеивающих элементов, что позволит снизить разницу в освещенности между участками кадра и повысить метрику mAP50. Особое внимание следует уделить освещению внутренних слоев кроны, где плотность плодов выше, но уровень освещенности ниже на 30-40 %, что существенно увеличивает вероятность пропуска плодов при распознавании.

Заключение. Исследование подтвердило эффективность механизма HyperACE для обработки изображений с плотным расположением и частичным перекрытием плодов яблони. Установлено, что модель YOLOv13l показывает оптимальное соотношение точности и вычислительной эффективности с показателем средней точности mAP50-95(B) = 0,471 при сохранении высокой скорости обработки кадров. Установлены оптимальные параметры позиционирования БЛА относительно кроны деревьев и необходимая мощность осветительных устройств для обеспечения высокой точности распознавания плодов при автоматизированной оценке урожайности. Определена нелинейная зависимость между расстоянием до источника света, уровнем освещенности и точностью распознавания. Максимальная точность по метрике средней точности mAP50 = 0,883 достигается при расстоянии 0,5 м и освещенности 360 лк, тогда как на дистанции 3,0 м при освещенности 10 лк точность снижается до mAP50 = 0,785.

Подтверждены преимущества работы систем технического зрения в ночных условиях с контролируемым искусственным освещением по сравнению с дневными съемками, где на качество изображений влияют многочисленные непредсказуемые природные факторы. Искусственное освещение обеспечило стабильность условий съемки и снижение уровня шумов.

Conclusion. Research confirmed the effectiveness of the HyperACE mechanism for processing images with dense arrangement and partial overlap of apple fruits. It was established that the YOLOv13l model shows the optimal balance of accuracy and computational efficiency with a mean average precision mAP50-95(B) = 0,471 while maintaining high frame processing speed. Optimal parameters for UAV positioning relative to tree crowns and the required power of lighting devices were established to ensure high accuracy of fruit recognition for automated yield assessment. A non-linear dependence between the distance to the light source, illumination level, and recognition accuracy was determined. The maximum accuracy by the mAP50 metric = 0,883 is achieved at a distance of 0,5 m and illumination of 360 lx, whereas at a distance of 3,0 m with illumination of 10 lx, the accuracy decreases to mAP50 = 0,785.

The advantages of operating computer vision systems under night conditions with controlled artificial lighting compared to daytime photography were confirmed, where the quality of images is affected by numerous unpredictable natural factors. Artificial lighting provided stability of shooting conditions and a reduction in noise levels.

Библиографический список

1. Huang M., Chen D., Feng D. The Fruit Recognition and Evaluation Method Based on Multi-Model Collaboration. *Applied Sciences*. 2025. V. 15. No. 2. 994.
2. Sekharamanthy P. K., Melqani F., Malacarne J. Deep Learning-Based Apple Detection with Attention Module and Improved Loss Function in YOLO. *Remote Sensing*. 2023. V. 15. No. 6. 1516.
3. Zhang G., Tian Y., Yin W., Zheng C. An Apple Detection and Localization Method for Automated Harvesting under Adverse Light Conditions. *Agriculture*. 2024. V. 14. No. 3. 485.
4. Li T., Feng Q., Qiu Q., Xie F., Zhao C. Occluded Apple Fruit Detection and Localization with a Frustum-Based Point-Cloud-Processing Approach for Robotic Harvesting. *Remote Sensing*. 2022. V. 14. No. 3. 482.
5. Shi Y., Ma Y., Geng L., Chu L., Li B., Li W. Knowledge Distillation with Geometry-Consistent Feature Alignment for Robust Low-Light Apple Detection. *Sensors*. 2025. V. 25. No. 15. 4871.
6. Linker R., Kelman E. Apple detection in nighttime tree images using the geometry of light patches around highlights. *Comput. Electron. Agric.* 2015. V. 114. Pp. 154-162.
7. Ji W., Pan Y., Xu B., Wang J. A Real-Time Apple Targets Detection Method for Picking Robot Based on ShufflenetV2-YOLOX. *Agriculture*. 2022. V. 12. No. 6. 856.
8. Khort D. O., Kutyrev 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. 10084.
9. Li J., Han R., Li F., Dong G., Ma Y., Yang W., Qi G., Zhang L. Apple Fruit Edge Detection Model Using a Rough Set and Convolutional Neural Network. *Sensors*. 2024. V. 24. No. 7. 2283.
10. Taner A., Mengstu M. T., Selvi K. Ç., Duran H., Kabaş Ö., Gür İ., Karaköse T., Gheorghită N-E. Multiclass Apple Varieties Classification Using Machine Learning with Histogram of Oriented Gradient and Color Moments. *Applied Sciences*. 2023. V. 13. No. 13. 7682.
11. Jia W., Tian Y., Luo R., Zhang Z., Lian J., Zheng Y. Detection and segmentation of overlapped fruits based on optimized mask R-CNN application in apple harvesting robot. *Comput. Electron. Agric.* 2020. V. 172. 105380.

12. Hou J., Che Y., Fang Y., Bai H., Sun L. Early Bruise Detection in Apple Based on an Improved Faster RCNN Model. *Horticulturae*. 2024. V. 10. No. 1. 100.
13. 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.
14. Hu G., Zhang E., Zhou J., Zhao J., Gao Z., Sugirbay A., Jin H., Zhang S., Chen J. Infield Apple Detection and Grading Based on Multi-Feature Fusion. *Horticulturae*. 2021. V. 7. No. 9. 276.
15. Zhang H., Tang C., Sun X., Fu L. A Refined Apple Binocular Positioning Method with Segmentation-Based Deep Learning for Robotic Picking. *Agronomy*. 2023. V. 13. No. 6. 1469.
16. Wang M., Li F. Real-Time Accurate Apple Detection Based on Improved YOLOv8n in Complex Natural Environments. *Plants*. 2025. V. 14. No. 3. 365.
17. Nishankar S., Pavindran V., Mithuran T., Nimishan S., Thuseethan S., Sebastian Y. ViT-RoT: Vision Transformer-Based Robust Framework for Tomato Leaf Disease Recognition. *AgriEngineering*. 2025. V. 7. No. 6. 185.
18. Andriyanov N., Khasanshin I., Utkin D., Gataullin T., Ignar S., Shumaev V., Soloviev V. Intelligent System for Estimation of the Spatial Position of Apples Based on YOLOv3 and Real Sense Depth Camera D415. *Symmetry*. 2022. V. 14. No. 1. 148.
19. Хорт Д. О., Кутырёв А. И., Смирнов И. Г., Воронков И. В. Разработка системы автоматизированного управления агротехнологиями в садоводстве. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. № 2. С. 61-68.
20. Lin Y., Xia Y., Xia P., Liu Z., Wang H., Qin C., Gong L., Liu C. YOLO11-ARAF: An Accurate and Lightweight Method for Apple Detection in Real-World Complex Orchard Environments. *Agriculture*. 2025. V. 15. No. 10. 1104.
21. Lei M., Li S., Wu Y., Hu H., Zhou Y., Zheng X., Ding G., Du S., Wu Z., Gao Y. YOLOv13: Real-Time Object Detection with Hypergraph-Enhanced Adaptive Visual Perception. *Computer Vision and Pattern Recognition*. 2025. arXiv:2506.17733
22. Mao M., Hong M. YOLO Object Detection for Real-Time Fabric Defect Inspection in the Textile Industry: A Review of YOLOv1 to YOLOv11. *Sensors*. 2025. V. 25. No. 7. 2270.
23. Maxwell A. E., Warner T. A., Guillén L. A. Accuracy Assessment in Convolutional Neural Network-Based Deep Learning Remote Sensing Studies - Part 1: Literature Review. *Remote Sensing*. 2021. V. 13. No. 13. 2450.

References

1. Huang M., Chen D., Feng D. The Fruit Recognition and Evaluation Method Based on Multi-Model Collaboration. *Applied Sciences*. 2025. V. 15. No. 2. 994.
2. Sekharamanthy 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. 1516.
3. Zhang G., Tian Y., Yin W., Zheng C. An Apple Detection and Localization Method for Automated Harvesting under Adverse Light Conditions. *Agriculture*. 2024. V. 14. No. 3. 485.
4. Li T., Feng Q., Qiu Q., Xie F., Zhao C. Occluded Apple Fruit Detection and Localization with a Frustum-Based Point-Cloud-Processing Approach for Robotic Harvesting. *Remote Sensing*. 2022. V. 14. No. 3. 482.
5. Shi Y., Ma Y., Geng L., Chu L., Li B., Li W. Knowledge Distillation with Geometry-Consistent Feature Alignment for Robust Low-Light Apple Detection. *Sensors*. 2025. V. 25. No. 15. 4871.
6. Linker R., Kelman E. Apple detection in nighttime tree images using the geometry of light patches around highlights. *Comput. Electron. Agric.* 2015. V. 114. Pp. 154-162.
7. Ji W., Pan Y., Xu B., Wang J. A Real-Time Apple Targets Detection Method for Picking Robot Based on ShufflenetV2-YOLOX. *Agriculture*. 2022. V. 12. No. 6. 856.
8. Khort D. O., Kutyrev 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. 10084.
9. Li J., Han R., Li F., Dong G., Ma Y., Yang W., Qi G., Zhang L. Apple Fruit Edge Detection Model Using a Rough Set and Convolutional Neural Network. *Sensors*. 2024. V. 24. No. 7. 2283.
10. Taner A., Mengstu M. T., Selvi K. Ç., Duran H., Kabaş Ö., Gür İ., Karaköse T., Gheorghita N-E. Multiclass Apple Varieties Classification Using Machine Learning with Histogram of Oriented Gradient and Color Moments. *Applied Sciences*. 2023. V. 13. No. 13. 7682.
11. Jia W., Tian Y., Luo R., Zhang Z., Lian J., Zheng Y. Detection and segmentation of overlapped fruits based on optimized mask R-CNN application in apple harvesting robot. *Comput. Electron. Agric.* 2020. V. 172. 105380.
12. Hou J., Che Y., Fang Y., Bai H., Sun L. Early Bruise Detection in Apple Based on an Improved Faster RCNN Model. *Horticulturae*. 2024. V. 10. No. 1. 100.
13. Kutyrev A. I., Smirnov I. G., Andriyanov N. A. Neural network models of apple fruit identification in tree crowns: comparative analysis. *Horticulture and viticulture*. 2023. No. 5. Pp. 56-63.
14. Hu G., Zhang E., Zhou J., Zhao J., Gao Z., Sugirbay A., Jin H., Zhang S., Chen J. Infield Apple Detection and Grading Based on Multi-Feature Fusion. *Horticulturae*. 2021. V. 7. No. 9. 276.
15. Zhang H., Tang C., Sun X., Fu L. A Refined Apple Binocular Positioning Method with Segmentation-Based Deep Learning for Robotic Picking. *Agronomy*. 2023. V. 13. No. 6. 1469.
16. Wang M., Li F. Real-Time Accurate Apple Detection Based on Improved YOLOv8n in Complex Natural Environments. *Plants*. 2025. V. 14. No. 3. 365.
17. Nishankar S., Pavindran V., Mithuran T., Nimishan S., Thuseethan S., Sebastian Y. ViT-RoT: Vision Transformer-Based Robust Framework for Tomato Leaf Disease Recognition. *AgriEngineering*. 2025. V. 7. No. 6. 185.
18. Andriyanov N., Khasanshin I., Utkin D., Gataullin T., Ignar S., Shumaev V., Soloviev V. Intelligent System for Estimation of the Spatial Position of Apples Based on YOLOv3 and Real Sense Depth Camera D415. *Symmetry*. 2022. V. 14. No. 1. 148.
19. Khort D. O., Kutyrev A. I., Smirnov I. G., Voronkov I. V. Development of an automated control system for agricultural technologies in horticulture. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2021. Vol. 15. No. 2. Pp. 61-68.
20. Lin Y., Xia Y., Xia P., Liu Z., Wang H., Qin C., Gong L., Liu C. YOLO11-ARAF: An Accurate and Lightweight Method for Apple Detection in Real-World Complex Orchard Environments. *Agriculture*. 2025. V. 15. No. 10. 1104.

21. Lei M., Li S., Wu Y., Hu H., Zhou Y., Zheng X., Ding G., Du S., Wu Z., Gao Y. YOLOv13: Real-Time Object Detection with Hypergraph-Enhanced Adaptive Visual Perception. Computer Vision and Pattern Recognition. 2025. arXiv:2506.17733

22. Mao M., Hong M. YOLO Object Detection for Real-Time Fabric Defect Inspection in the Textile Industry: A Review of YOLOv1 to YOLOv11. Sensors. 2025. V. 25. No. 7. 2270.

23. Maxwell A. E., Warner T. A., Guillén L. A. Accuracy Assessment in Convolutional Neural Network-Based Deep Learning Remote Sensing Studies - Part 1: Literature Review. Remote Sensing. 2021. V. 13. No. 13. 2450.

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: alexeykutyrev@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: alexeykutyrev@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-61

THE IRRIGATION MANAGEMENT ALGORITHM AND SOFTWARE BASED ON THE ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES

Lytov M. N., Penkova R. I.

*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 10.08.2025

Submitted 31.10.2025

The research was carried out according to the state task plan of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation FGUF-2025-0005 "To develop automated hydro-reclamation systems with variable functional modules, technologies and models of forecasting and management based on artificial intelligence algorithms".

Summary

An algorithm has been proposed and software has been developed for automated operational management and planning of vegetation irrigation using artificial intelligence technologies.

Abstract

Introduction. In Russia, back in 2019, the National Strategy for the Development of Artificial Intelligence for the period up to 2030 was approved, which is the main program document aimed at developing and implementing domestic solutions that shape the introduction of innovations in all areas of economic activity and the daily lives of citizens. The use of artificial intelligence technologies in solving practical irrigation management problems has great prospects and may become a new stage in increasing the validity of land reclamation. The purpose of the research is to develop an algorithm and software that forms the information basis for automated operational management and irrigation planning using artificial intelligence technologies. **Object.** Information support and decision-making systems for managing irrigation of agricultural crops on reclaimed lands. **Materials and methods.** The problem of computational methods for determining irrigation needs based on bioclimatic models is the significant variability of their values not only across natural zones, but also depending on the type of agricultural landscape and even smaller facies, including individual production sites. The working hypothesis of the study is the assumption of the possibility of using a trained neural network as a tool for predicting the bioclimatic coefficients of irrigated crops, taking into account the combined effect of landscape-level factors. **Results and conclusions.** The analysis of long-term experimental data on the example of irrigated soybean crops confirmed the significant variability of the actual values of the bioclimatic coefficients relative to the zonal values with a deviation in the extreme values of the range up to 7.5-29.9 %. It has been established that the variability of bioclimatic coefficients is determined by the action of landscape level factors that form the microclimate, availability of soil moisture, thermal regime, etc. Such factors include relative humidity of the air (%), wind speed (m/s), albedo of the underlying surface (%/100), humus content (%), total salt concentration in the soil (g/l), the proportion of the moistened area (%/100), and the coefficient of agro-phytocenosis bio-productivity. Accordingly, the developed neural network takes these factors into account in order to predict the specified values of the bioclimatic coefficient for each particular case.

Keywords: irrigation technologies, irrigation management, artificial intelligence technologies, irrigation planning.

Citation. Lytov M. N., Penkova R. I. The irrigation management algorithm and software based on the artificial intelligence technologies. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 563-572 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-61.

Authors' contribution. All authors were directly involved in the planning, execution and analysis of this study.

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

УДК 631.671:519.688

**АЛГОРИТМ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ОРОШЕНИЕМ
НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА****Лытов М. Н.**, кандидат сельскохозяйственных наук**Пенькова Р. И.**, кандидат сельскохозяйственных наукФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники
и мелиорации им. А. Н. Костякова
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования проведены по плану государственного задания Минобрнауки России FGUF-2025-0005 «Разработать автоматизированные гидромелиоративные системы с изменяемыми функциональными модулями, технологии и модели прогнозирования и управления на основе алгоритмов искусственного интеллекта».

Актуальность. В России еще в 2019 году утверждена Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года, которая является основным программным документом, направленным на развитие и внедрение отечественных решений, формирующих внедрение инноваций во все сферы экономической деятельности и повседневной жизни граждан. Использование технологий искусственного интеллекта в решении практических задач управления орошением имеет большие перспективы и может стать новым этапом в повышении обоснованности применения мелиораций. **Целью исследования** является разработка алгоритма и программного обеспечения, составляющего информационную основу автоматизированного оперативного управления и планирования поливов с использованием технологий искусственного интеллекта. **Объект.** Системы информационного обеспечения и принятия решений в задачах управления орошением сельскохозяйственных культур на мелиорированных землях. **Материалы и методы.** Проблемой расчетных методов определения потребности в поливе на основе биоклиматических моделей является существенная вариабельность их значений не только по природным зонам, но и в зависимости от типа агроландшафта и даже более мелких фаций, включая отдельные производственные участки. Рабочая гипотеза исследования состоит в предположении о возможности использования обученной нейронной сети в качестве инструмента прогнозирования биоклиматических коэффициентов орошаемых сельскохозяйственных культур с учетом совокупного действия факторов ландшафтного уровня. **Результаты и выводы.** Анализ многолетних опытных данных на примере орошаемой культуры сои подтвердил существенную вариабельность фактических значений биоклиматических коэффициентов относительно зональных значений с отклонением по крайним значениям диапазона до 7,5-29,9 %. Установлено, что вариабельность биоклиматических коэффициентов определяется действием факторов ландшафтного уровня, формирующих микроклимат, доступность почвенной влаги, тепловой режим и т.д. В составе таких факторов выделены: относительная влажность воздуха (%), скорость ветра (м/с), альбедо подстилающей поверхности (%/100), содержание гумуса (%), общая концентрация солей в почве, (г/л), доля увлажняемой площади (%/100), коэффициент биопродуктивности агрофитоценоза. Соответственно, эти факторы разработанная нейронная сеть учитывает, чтобы прогнозировать уточненные значения биоклиматического коэффициента для каждого частного случая.

Ключевые слова: технологии орошения, управление орошением, технологии искусственного интеллекта, планирование поливов.

Цитирование. Лытов М. Н., Пенькова Р. И. Алгоритм и программное обеспечение управления орошением на основе технологий искусственного интеллекта. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 563-572. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-61.

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. Технологии искусственного интеллекта все более активно входят в нашу жизнь, воплощаясь в новые, зачастую, действительно эффективные, технологии, которые затрагивают самые разные аспекты окружающей действительности. Сегодня искусственный интеллект рассматривается как стратегическая технология, потенциал которой предполагает кратное ускорение развития техногенных цивилизаций, может обеспечить стратегическое преимущество в конкурентной борьбе [1, 2, 3]. В России еще в 2019 году утверждена Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года, которая является основным программным документом, направленным на развитие и внедрение отечественных решений, формирующих внедрение инноваций во все сферы экономической деятельности и повседневной жизни граждан. В развитии Национальной стратегии реализуется федеральный

проект «Искусственный интеллект», задачами которого является популяризация и развитие сообщества, поддержка разработчиков, поддержка образовательных проектов, нормативное регулирование, поддержка перспективных исследований [4].

Уже сегодня технологии искусственного интеллекта имеют ряд успешных реализованных проектов, перечислять которые, в силу активной популяризации направления, наверное, нет необходимости. Но есть и проблемы, на которые, сколь бы ни было бы «модным» это направление, нельзя не обращать внимание. Фундаментальной проблемой остается принцип «черного ящика», реализуемого наиболее частыми проводниками технологий искусственного интеллекта, – нейронными сетями. Сеть позволяет настроить самые гибкие решения, однако каких-либо закономерностей, как эти решения были получены, выявить невозможно [5]. В силу этого, нейронная сеть вырабатывает «субъективные» решения, обоснованность которых не может быть гарантирована. Сохраняет значимость проблема переобучения, когда каждый следующий шаг в улучшении технологии может привести прямо к противоположному результату [6]. Очень большой научный интерес представляет работа искусственного интеллекта в динамических средах, когда требуется непрерывная подстройка сети к новым условиям [7, 8].

Использование технологий искусственного интеллекта в решении практических задач управления орошением имеет большие перспективы и может стать новым этапом в повышении обоснованности применения мелиораций [9, 10, 11, 12]. Ранее мы писали о методологических инструментах управления орошением, где рассматривали возможности применения искусственного интеллекта, для решения различных задач [13]. Настоящая работа является попыткой создать практические решения в области оперативного управления орошением и планирования поливов с использованием технологии искусственного интеллекта. Целью исследования является разработка алгоритма и программного обеспечения, составляющего информационную основу автоматизированного оперативного управления и планирования поливов с использованием технологий искусственного интеллекта.

Материалы и методы. Почва, климат и метеоусловия, а также сельскохозяйственные растения являются теми основными компонентами, которые определяют потребность в проведении оросительных мелиораций, а также необходимые параметры технологии. Орошение является инструментом регулирования водного режима почвы и водообеспечения растений при дефиците соответствующих метеорологических ресурсов. Орошение – это та технология, для которой необходимо составить прогноз. Необходимо как можно более точно оценить потребность в проведении поливов, их сроки и нормы [14, 15, 16]. Суммарное водопотребление определяется физическим процессом испарения с поверхности почвы и транспирации растений и является количественной оценкой того расхода влаги, который формируется за какой-либо промежуток времени.

Суммарное водопотребление имеет отношение и к растению, и к почве одновременно, является физической величиной и зависит от целого комплекса факторов внешней среды. Такие комплексы факторов имеют очень узкую географическую локализацию и отличаются высокой динамикой. Вместе с тем, суммарное водопотребление является основной количественной оценкой, используемой для составления баланса почвенной влаги, дефицита этого баланса и, как следствие, составления прогноза потребности в поливе. Для того, чтобы точно оценить потребность в поливах, в том числе, не имея данных физического мониторинга, крайне важно точно оценить суммарное водопотребление. Для оценки суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур за любой произвольный промежуток времени разработаны и апробированы различные методы [17, 18]. Одним из методов оценивания суммарного водопотребления является использование биоклиматической модели.

Эффективность и практическая значимость биоклиматических моделей водопотребления определяется высокой регуляционной способностью растений в отношении расходуемой на транспирацию влаги. Транспирация растений формирует до 80 % и более суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур. Биоклиматические модели учитывают регуляционную способность конкретного вида растений и поступление климатических ресурсов, на основе чего составляется прогноз. Биоклиматические коэффициенты являются основным параметром биоклиматических моделей и имеют зональный характер, то есть зависят от особенностей местного климата [19]. Многолетние исследования показали, что биоклиматические коэффициенты могут существенно варьировать не только по природным зонам, но и в зависимости от типа агроландшафта и даже более мелких фаций,

включая отдельные производственные участки. Внутризональная дифференциация биоклиматических коэффициентов может существенно повысить точность прогноза по суммарному водопотреблению культур. Нужно признать, решение этой задачи может оказаться крайне громоздким, так как факторов ландшафтного уровня, которые оказывают влияние на суммарное водопотребление и значений биоклиматических коэффициентов сельскохозяйственных культур, достаточно много, а их сочетание может произвести бесчисленное количество комплексов. Практическая значимость такого подхода, ввиду громоздкости и сложности выбора параметров биоклиматической модели, вызывает большие вопросы. Использование цифровых методов автоматического определения ландшафтно-ориентированных значений биоклиматических коэффициентов по комплексу факторов ландшафтного уровня могло бы существенно упростить решение этой задачи и повысить точность прогноза суммарного водопотребления. Нейронная сеть в этом случае является удобным и компактным решением, замещающим процедуры хранения, ведения каталогов и поиска необходимых параметров биоклиматической модели в той объемной информационной среде, которая может быть сформирована с учетом внутризонального дифференцирования биоклиматических коэффициентов. Кроме того, технологии искусственного интеллекта могут быть эффективны для подбора наиболее вероятных значений биоклиматического коэффициента, если необходимо интерполирование для промежуточных (неоцененных) уровней обеспеченности внешних факторов.

Результаты и обсуждение. Факторы влияния ландшафтного уровня оцениваются для конкретного производственного участка и должны максимально характеризовать те условия, которые могут оказывать влияние на водопотребление сельскохозяйственной культуры. Используя комплексы показателей внешних факторов и базовые значения биоклиматических коэффициентов, нейронная сеть дает уточненный прогноз значений биоклиматических коэффициентов для конкретного производственного участка. Эти уточненные значения биоклиматических коэффициентов принимаются в качестве новых параметров биоклиматической модели и используются для выработки точного прогноза суммарного водопотребления.

На следующем этапе расчетов используются классические алгоритмы прогноза потребности в проведении поливов на основе уравнения водного баланса. Составление прогнозов по балансу и дефициту водного баланса позволяет оценить потребность и ожидаемые сроки проведения очередного вегетационного полива, составить план поливов на среднесрочную перспективу.

Практическая реализация предложенного подхода связана с необходимостью решения ряда задач. И один из первых вопросов, возникающих при создании «интеллектуального» цифрового помощника, – это какие факторы нужно в первую очередь учитывать, для того чтобы получить точный прогноз по суммарному водопотреблению на локальном уровне. Факторы должны характеризовать особенности той локальной географической зоны, для которой ведутся расчеты, а также быть физически связаны с водопотреблением, включающим процессы испарения с поверхности почвы и транспирацию растений. Можно предположить необходимость учета факторов, влияющих на микроклимат растений в среде посева, факторов, определяющих доступность почвенной влаги, в том числе с точки зрения физики почвы, факторов, связанных с тепловым поглощением солнечной энергии и т.д. Однако, объективно, необходимо выбирать факторы, которые имеют статистически доказанную корреляцию с суммарным водопотреблением и вариабельностью фактических значений биоклиматических коэффициентов.

Последнее возможно только на основе анализа структурированного экспериментального материала. Данные должны быть получены в контролируемых условиях, а все факторы внешней среды должны быть в достаточной степени охарактеризованы. Накопление и структурирование таких данных является самостоятельной и достаточно объемной задачей. Но тем большую ценность имеет способность нейронной сети к обучению. Накопленные и структурированные данные могут быть использованы для обучения нейронной сети и последующего ее практического использования, но при решении того круга задач, для которого она была обучена. При возможности использования новых данных, нейронная сеть воспримет новый опыт и область условий, в которых ее можно будет применять, также может быть расширена. На данном этапе разработка модуля искусственного интеллекта проводилась на основе многолетних данных, полученных в результате проведения серии опытов с зернобобовой культурой сои, возделываемой при орошении в разных почвенно-климатических зонах Нижневолжского

региона. Массив данных, которые удалось собрать за годы исследований, включает количественные оценки фактических температурных коэффициентов испарения орошаемой сои, а также количественные характеристики условий, в которых эти данные были получены, совокупной мощностью 690 строк (рисунок 1).

Б	В	С	Д	Е	Ж	З	И	К	Л	М
7	100	0,127	56,2	3,5	0,25	2,1	2,2	1	1,17	0,125
8	200	0,131	52,3	4,5	0,25	2,1	2,2	1	1,17	0,135
9	300	0,147	45	4,7	0,25	2,1	2,2	1	1,17	0,153
10	400	0,161	32,1	2,2	0,25	2,1	2,2	1	1,17	0,158
11	500	0,178	32,7	5,9	0,25	2,1	2,2	1	1,17	0,194
12	600	0,2	45	7,1	0,25	2,1	2,2	1	1,17	0,22
13	700	0,215	52	5,5	0,25	2,1	2,2	1	1,17	0,223
14	800	0,229	41	1,2	0,25	2,1	2,2	1	1,17	0,216
15	900	0,243	41	4,5	0,25	2,1	2,2	1	1,17	0,245
16	1000	0,259	45	4,2	0,25	2,1	2,2	1	1,17	0,258
17	1100	0,262	35	4,2	0,25	2,1	2,2	1	1,17	0,264
18	1200	0,272	32	3,1	0,25	2,1	2,2	1	1,17	0,269

Рисунок 1 – Фрагмент массива данных для оценки факторов вариабельности зональных биоклиматических коэффициентов орошаемой сои
Figure 1 – Data array for assessing the variability factors of zonal bioclimatic coefficients of irrigated soybeans

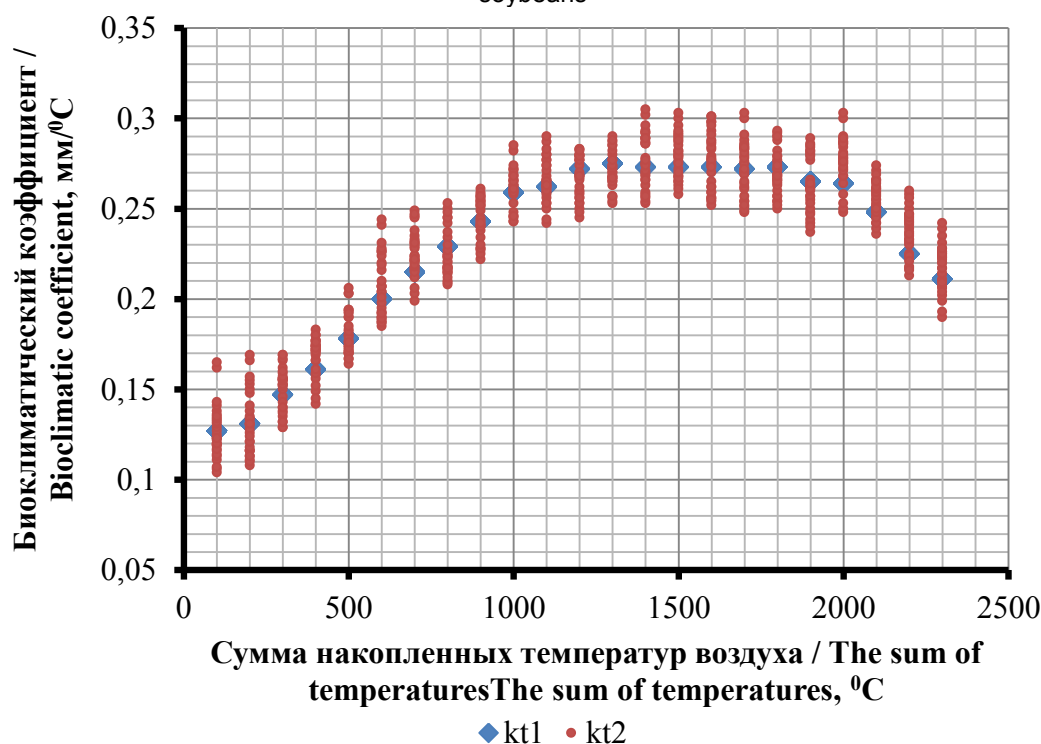


Рисунок 2 – Вариабельность зональных биоклиматических коэффициентов сои под влиянием комплекса факторов ландшафтного уровня
Figure 2 – Variability of zonal bioclimatic coefficients of soybeans under the influence of a complex of landscape level factors

kt1 – зональные значения температурных коэффициентов испарения влаги (на примере орошаемой сои); kt2 – фактические значения биоклиматических коэффициентов, формирующиеся под действием комплекса местных факторов.

kt1 – zonal values of temperature coefficients of moisture evaporation; kt2 – actual values of bioclimatic coefficients formed under the influence of a complex of local factors.

На рисунке 2 показана вариабельность зональных биоклиматических коэффициентов под влиянием комплекса факторов ландшафтного уровня. Из графика видно, что фактические значения биоклиматических коэффициентов, которые имеют красные отметки, могут существенно отличаться от базовых зональных значений, которые выделены синими отметками. В частности, при накоплении 0-100 °С, в зависимости от сочетания факторов ландшафтного уровня фактические значения биоклиматического коэффициента изменялись от 0,104 до 0,165 мм/°С при базовом (зональном) значении 0,127 мм/°С. При накоплении посевами 1000-1100 °С среднесуточных температур воздуха фактические значения биоклиматического коэффициента изменялись от 0,242 до 0,290 мм/°С при базовом (зональном) значении 0,262 мм/°С.

В диапазоне накопленных температур 2000-2100 °С фактические значения биоклиматического коэффициента изменялись от 0,236 до 0,274 мм/°С при базовом (зональном) значении 0,248 мм/°С. При проведении расчетов такая вариабельность может стать источником существенных ошибок в составлении прогноза суммарного водопотребления и оценки потребности проведения очередного вегетационного полива.

Предполагается, что нейронная сеть, опираясь на базовое значение, будет прогнозировать биоклиматический коэффициент, близкий к фактическому значению. Используя для этого факторы частного порядка, свойственные данному участку, и для данной технологии, и с учетом погодных особенностей.

Многолетние опытные данные также были использованы для выделения факторов, оказывающих существенное влияние на формирование суммарного водопотребления и фактические значения биоклиматических коэффициентов сои. Учитывая, что биоклиматический коэффициент нами определялся по температуре, в составе таких факторов были выделены относительная влажность воздуха (Н, %), скорость ветра (V, м/с), альbedo подстилающей поверхности (а, %/100), содержание гумуса (g, %), общая концентрация солей в почве (С, г/л), доля увлажняемой площади (S, %/100), коэффициент биопродуктивности агрофитоценоза (К). Коэффициент биопродуктивности агрофитоценоза определяли делением фактической урожайности сои к 3,0 т/га (ближний целевой уровень продуктивности сои при орошении).

По выделенным факторам был проведен корреляционный анализ, результаты которого приведены в таблице 1. Чтобы исключить влияние, объективно имеющего место и не нуждающегося в доказательствах, изменения биоклиматических коэффициентов в течение вегетационного периода, корреляции были рассчитаны для каждого из периодов с определенным диапазоном накопленных температур воздуха (интервал 100 °С).

Наибольшие корреляции вариабельности фактических значений биоклиматического коэффициента сои были отмечены со скоростью ветра (V). Действительно, температурные коэффициенты испарения влаги не учитывают ветровой режим, который может складываться на поле. Частный коэффициент корреляции фактических температурных коэффициентов со скоростью ветра достигал 0,871-0,982. С относительной влажностью воздуха выявлены значимые отрицательные корреляции. Существенная связь вариабельности фактических температурных коэффициентов сои отмечена с такими факторами, как доля увлажняемой площади поля, концентрация солей в корнесодержащем слое почвы, содержание гумуса, чуть ниже корреляции с альbedo подстилающей поверхности и коэффициентом продуктивности посева. Соответственно, эти факторы нейронная сеть должна учитывать, чтобы прогнозировать уточненные значения биоклиматического коэффициента для каждого частного случая.

Нейронная сеть представляет собой математическую модель, а также её программное или аппаратное воплощение, построенные по принципу организации биологических нейронных сетей – сетей нервных клеток живого организма. Применение нейронных сетей позволяет решать ряд важных задач, таких как: классификация, предсказание, распознавание, а также решение задач без учителя. Нейронные сети открывают широкие возможности для повышения эффективности анализа данных в любой сфере, в том числе и в сельском хозяйстве, так как позволяют работать с большими объемами информации, отлично справляются с её анализом, выявляя скрытые закономерности и тенденции. Предлагаемая к использованию нейронная сеть (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024685475 от 30 октября 2024 года) позволяет осуществить прогнозирование параметров биоклиматической модели водопотребления сельскохозяйственных культур для любой территории. Программа разрабатывалась в кроссплатформенной интегрированной среде разработки для языка программирования Python «PyCharm».

Таблица 1 – Частные корреляции факторов вариальности температурных коэффициентов испарения по периодам развития растений

Table 1 – Partial correlations of factors of variability of temperature coefficients of evaporation by periods of plant development

Накопленные температуры / Accumulated temperatures, °C	Частные корреляции / Partial correlations						
	H	V	a	g	C	S	K
0-100	-0,391	0,952	0,005	0,036	0,065	0,291	0,051
101-200	-0,380	0,958	0,316	-0,315	0,343	0,112	-0,095
201-300	-0,315	0,981	0,207	-0,164	0,173	0,315	-0,049
301-400	-0,147	0,918	0,120	-0,157	0,146	0,025	0,196
401-500	-0,138	0,942	-0,193	0,119	-0,236	-0,350	0,309
501-600	-0,637	0,982	0,476	-0,516	0,448	-0,029	-0,063
601-700	-0,386	0,940	0,214	-0,167	0,294	0,308	-0,134
701-800	-0,436	0,918	0,354	-0,402	0,448	-0,046	0,015
801-900	-0,175	0,970	-0,108	0,109	-0,018	0,004	0,072
901-1000	-0,354	0,882	0,107	-0,132	0,097	0,071	0,183
1001-1100	-0,319	0,923	0,423	-0,499	0,497	-0,099	0,093
1101-1200	-0,505	0,950	-0,218	0,160	-0,252	-0,242	0,320
1201-1300	-0,361	0,871	-0,272	0,267	-0,246	0,005	0,251
1301-1400	0,129	0,967	-0,196	0,149	-0,174	-0,209	0,241
1401-1500	0,071	0,942	0,317	-0,380	0,278	-0,152	0,082
1501-1600	-0,595	0,925	0,185	-0,339	0,219	-0,384	0,458
1601-1700	-0,315	0,937	0,111	0,021	0,118	0,432	-0,434
1701-1800	0,006	0,911	0,126	-0,210	0,044	-0,261	0,252
1801-1900	-0,632	0,935	0,132	-0,122	0,191	0,119	-0,032
1901-2000	-0,523	0,939	0,111	-0,063	0,227	0,317	-0,077
2001-2100	0,417	0,961	-0,088	0,064	-0,025	-0,151	0,084
2101-2200	0,287	0,951	0,205	-0,218	0,320	0,104	0,025
2201-2300	0,134	0,965	-0,210	0,265	-0,231	0,155	-0,004

Представленная нейросеть основана на простой последовательной архитектуре («Sequential») из библиотеки «Keras» и имеет два полносвязных слоя. Используемый тип архитектуры подразумевает расположение слоев в линейной последовательности, т.е. каждый слой получает входные данные от предыдущего слоя и передает свой выход следующему. Такая архитектура является простой и эффективной для решения прогнозных задач.

После завершения этапа программирования выполняется обучение. Обучение нейронной сети – это процесс, в ходе которого модель искусственного интеллекта (в данном случае – нейронная сеть) учится выполнять определенные задачи на основе предоставленных ей данных. Есть множество методов «тренировки» нейронных сетей, но все они основываются на двух ключевых принципах: с помощью учителя и без него. В нашем случае применялся первый метод. Обучение с учителем (Supervised Learning) – это наиболее распространенный подход, при котором нейросеть обучается на основе предварительно размеченных данных. Эти данные включают в себя входные значения и соответствующие им целевые (ответы). Нейросеть обучается предсказывать последние на основе входных данных.

Сам процесс обучения заключается в получении нейронной сетью входных данных и предсказании результатов на основе текущих параметров (весов). Затем эти предсказания сравниваются с ожидаемыми результатами. В случае, если предсказание нейросети не совпадает с ожидаемым результатом, то происходит процесс, называемый обратным распространением ошибки. В ходе него вычисляется, насколько каждый вес внутри нейросети способствовал общей ошибке. Затем эти веса корректируются в направлении, которое уменьшит ошибку.

Обученная нейронная сеть тестировалась на новых данных, не использованных ранее. Это позволило оценить, насколько хорошо работает программа в сопоставимых ситуациях. В целях оценки в код программы был добавлен визуализатор данных, благодаря которому можно визуально оценить точность предсказаний модели (рисунок 3).

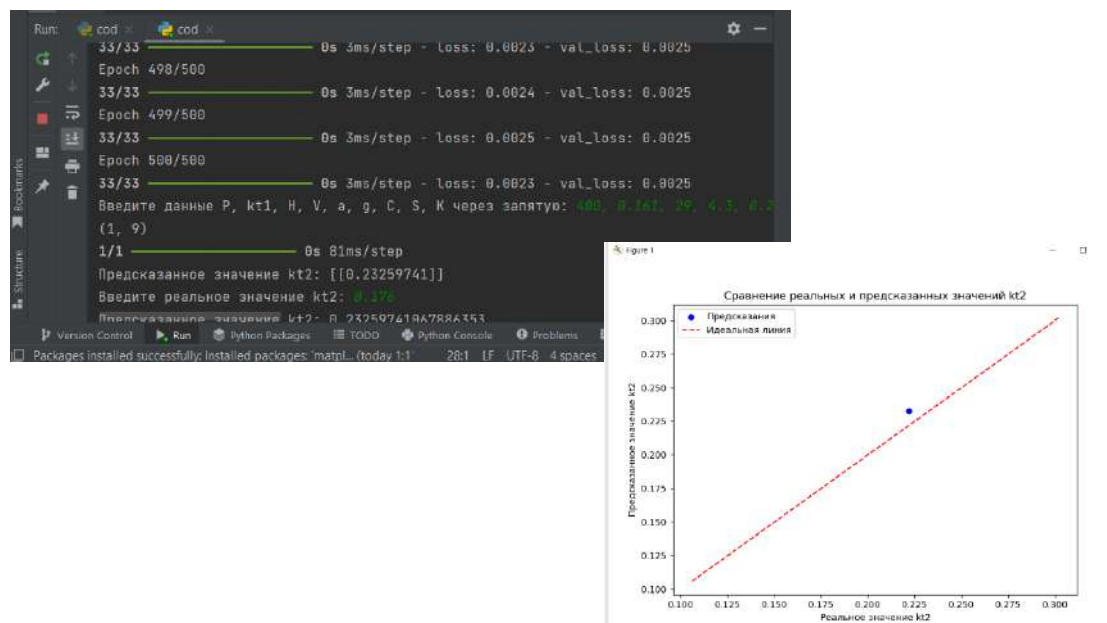


Рисунок 3 – Точность предсказанного биоклиматического коэффициента для орошаемой сои с использованием обученной нейронной сети

Figure 3 – Accuracy of the predicted bioclimatic coefficient for irrigated soybeans using a trained neural network

К особенностям архитектуры программы можно отнести использование функции потерь «mean_squared_error» для минимизации средней ошибки между предсказанным и реальным значениями, а также использование оптимизатора «Adam». Результатом работы программного обеспечения с обученной нейронной сетью является вывод уточненных значений биоклиматических коэффициентов с визуализацией данных для анализа точности предсказаний модели.

Выводы. Таким образом, разработан алгоритм и программное обеспечение, позволяющее существенно повысить точность планирования поливов в соответствии с потребностью возделываемой культуры на основе технологий искусственного интеллекта. Алгоритм является продуктом синтеза известных балансовых методов определения потребности в поливе и нейронных сетей. Алгоритм использует биоклиматическую модель расчета суммарного водопотребления, но значения биоклиматических коэффициентов определяются с учетом особенностей каждого конкретного производственного участка на основе нейросетевого прогнозирования. Анализ многолетних опытных данных на примере орошаемой культуры сои подтвердил существенную вариабельность фактических значений биоклиматических коэффициентов относительно зональных значений с отклонением по крайним значениям диапазона до 7,5-29,9 %. Установлено, что вариабельность биоклиматических коэффициентов определяется действием факторов ландшафтного уровня, формирующих микроклимат, доступность почвенной влаги, тепловой режим и т.д. В составе таких факторов выделены относительная влажность воздуха (%), скорость ветра (м/с), альбедо подстилающей поверхности (%/100), содержание гумуса (%), общая концентрация солей в почве, (г/л), доля увлажняемой площади (%/100), коэффициент биопродуктивности агрофитоценоза. Соответственно, эти факторы разработанная нейронная сеть учитывает, чтобы прогнозировать уточненные значения биоклиматического коэффициента для каждого частного случая. Предложенная нейронная сеть основана на простой последовательной архитектуре («Sequential») из библиотеки «Keras» и имеет два полносвязных слоя. Используемый тип архитектуры подразумевает расположение слоев в линейной последовательности. Такая архитектура является простой и эффективной для решения прогнозных задач. К особенностям архитектуры программы можно отнести использование функции потерь

«mean_squared_error» для минимизации средней ошибки между предсказанным и реальным значениями, а также использование оптимизатора «Adam». Предлагаемая нейронная сеть представляет собой перспективный инструмент для генерации уточненных значений биоклиматических коэффициентов водопотребления орошаемой сои с учетом совокупности факторов ландшафтного уровня.

Conclusions. An algorithm and software have been developed to significantly improve the accuracy of irrigation planning in accordance with the needs of the cultivated crop based on artificial intelligence technologies. The algorithm is a product of the synthesis of well-known balancing methods for determining irrigation needs and neural networks. The algorithm uses a bioclimatic model for calculating total water consumption, but the values of the bioclimatic coefficients are determined based on neural network forecasting, taking into account the characteristics of each specific production site. The analysis of long-term experimental data on the example of irrigated soybean crops confirmed the significant variability of the actual values of bioclimatic coefficients relative to the zonal values with a deviation in the extreme values of the range up to 7.5-29.9 %. It has been established that the variability of bioclimatic coefficients is determined by the effect of landscape level factors forming the microclimate, availability of soil moisture, thermal regime, etc. Such factors include relative humidity (%), wind speed (m/s), albedo of the underlying surface (%/100), humus content (%), total salt concentration in the soil (g/l), proportion of the moistened area (%/100), coefficient of bio-productivity agro-phytocenosis. Accordingly, the developed neural network takes these factors into account in order to predict the refined values of the bioclimatic coefficient for each particular case. The proposed neural network is based on a simple sequential architecture ("Sequential") from the Keras library and has two fully connected layers. The type of architecture used implies the arrangement of layers in a linear sequence. This architecture is simple and effective for solving predictive tasks. The features of the program architecture include the use of the "mean_squared_error" loss function to minimize the average error between the predicted and real values, as well as the use of the "Adam" optimizer. The proposed neural network is a promising tool for generating refined values of bioclimatic coefficients of water consumption of irrigated soybeans, taking into account a combination of landscape level factors.

Библиографический список

1. Ковалев И. В., Лосев В. В. Обзор документов стратегического планирования федерального уровня в сфере научно-технологического развития. Сквозные технологии - искусственный интеллект. Информатика. Экономика. Управление. 2023. Т. 2. № 3. С. 401-424.
2. Райков А. Н., Коротаев Д. А. Поддержка развития инновационной среды с применением искусственного интеллекта. Цифровая экономика. 2022. № 2 (18). С. 22-32.
3. Гурджиев Г., Чарыева Я., Батыров И., Сапарова О. Применение искусственного интеллекта для оптимизации агротехнологий. In Situ. 2025. № 2. С. 44-47.
4. О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации: указ Президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_335184/
5. Бирюков Д. Н., Супрун А. Ф. От «черного ящика» к прозрачности: философско-методологические основы объяснимости и интерпретируемости в искусственном интеллекте. Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2025. № 1 (63). С. 30-42.
6. Костромитин М. А. Борьба с переобучением нейронных сетей: причины, влияние и методы предотвращения. Научный аспект. 2024. Т. 21. № 5. С. 2809-2814.
7. Анищенко Ю. А., Рагозин А. А., Рагозина М. А. Перспективы применения нейросетей: преимущества и риски. Естественные и технические науки. 2024. № 4 (191). С. 18-20.
8. Базаров С. А., Томилова Н. И. Архитектуры нейронных сетей для систем прогнозирования. Актуальные исследования. 2024. № 15-1 (197). С. 38-44.
9. Соловьев Д. А., Камышова Г. Н., Терехова Н. Н. и др. Цифровые технологии в управлении орошением. Аграрный научный журнал. 2019. № 4. С. 93-97.
10. Новиков А. Е., Дранников А. В. Прецизионные технологии орошения в повышении устойчивости земледелия к природным изменениям. Орошаемое земледелие. 2024. № 4 (47). С. 45-50.
11. Рогачев Д. А., Кирейчева Л. В. Цифровая трансформация и искусственный интеллект в АПК и мелиорации. Орошаемое земледелие. 2025. № 1 (48). С. 5-7.
12. 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.
13. Лытов М. Н. Методологические инструменты управления орошением с искусственным интеллектом. Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13. № 2. С. 1-18.
14. Saha G., Shahrin F., Khan F. H., Meshkat M. M., Azad A. A. M. Smart lot-driven precision agriculture: land mapping, crop prediction, and irrigation system. PLoS ONE. 2025. V. 20. № 3. e0319268.
15. Ольгаренко В. Иг., Бабичев А. Н., Монастырский В. А. Принципы применения элементов технологии точного земледелия и прецизионного орошения в сельскохозяйственном производстве. Новости науки в АПК. 2018. № 2-2 (11). С. 23-26.
16. Shukla Y. K., Jain Rc., Dubey S., Bora S. S., Senapati S. K., Saini N. A comprehensive review of modern technologies for climate resilient agriculture. International Journal of Environment and Climate Change. 2025. V. 15. No 3. Pp. 49-59.

17. Бородычев В. В., Лытов М. Н. Алгоритм решения задач управления водным режимом почвы при орошении сельскохозяйственных культур. Мелиорация и водное хозяйство. 2015. № 1. С. 8-11.
18. Хожанов Н. Н. Методика расчета суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур. Известия НВ АУК. 2021. № 3 (63). С. 174-181.
19. Ольгаренко Г. В., Цекоева Ф. К. Планирование экологически безопасных режимов орошения агро-биоценозов с учетом изменчивости гидрометеорологических условий. Природообустройство. 2012. № 5. С. 7-11.

References

1. Kovalev I. V., Losev V. V. Review of strategic planning documents at the federal level in the field of scientific and technological development. End-to-end technologies – artificial intelligence. Computer science. Economy. Management. 2023. Vol. 2. No 3. Pp. 401-424.
2. Raikov A. N., Korotaev D.A. Support for the development of an innovative environment using artificial intelligence. The digital economy. 2022. No 2 (18). Pp. 22-32.
3. Gurdjiev G., Charyeva Ya., Batyrov I., Saparova O. Application of artificial intelligence for optimization of agricultural technologies. In Situ. 2025. No 2. Pp. 44-47.
4. On the development of artificial intelligence in the Russian Federation: Decree of the President of the Russian Federation No. 490 dated October 10, 2019. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_335184/
5. Biryukov D. N., Suprun A. F. From the "black box" to transparency: philosophical and methodological foundations of explainability and interpretability in artificial intelligence. Information security issues. Computer systems. 2025. No 1 (63). Pp. 30-42.
6. Kostromitin M. A. The fight against retraining of neural networks: causes, effects and methods of prevention. Scientific aspect. 2024. Vol. 21. No 5. Pp. 2809-2814.
7. Anishchenko Yu. A., Ragozin A. A., Ragozina M. A. Prospects for the use of neural networks: advantages and risks. Natural and technical sciences. 2024. No 4 (191). Pp. 18-20.
8. Bazarov S. A., Tomilova N. I. Neural network architectures for forecasting systems. Current research. 2024. No 15-1 (197). Pp. 38-44.
9. Soloviev D. A., Kamysheva G. N., Terekhova N. N. and others. Digital technologies in irrigation management. Agricultural scientific journal. 2019. No 4. Pp. 93-97.
10. Novikov A. E., Drannikov A.V. Precision irrigation technologies in increasing the sustainability of agriculture to natural changes. Irrigated agriculture. 2024. No 4 (47). Pp. 45-50.
11. Rogachev D. A., Kireicheva L. V. Digital transformation and artificial intelligence in agriculture and land reclamation. Irrigated agriculture. 2025. No 1 (48). Pp. 5-7.
12. Ronzhin A. L., Savelyev A. I. Artificial intelligence systems in solving the problems of digitalization and robotization of the agro-industrial complex. Agricultural machinery and technology. 2022. Vol. 16. No 2. Pp. 22-29.
13. Lytov M. N. Methodological tools for irrigation management with artificial intelligence. Land reclamation and hydraulic engineering. 2023. Vol. 13. No 2. Pp. 1-18.
14. Saha G., Shahrin F., Khan F. H., Meshkat M. M., Azad A. A. M. Smart lot-driven precision agriculture: land mapping, crop prediction, and irrigation system. PLoS ONE. 2025. V. 20. No 3. e0319268.
15. Olgarenko V. I., Babichev A. N., Monastyrsky V. A. Principles of application of elements of precision farming technology and precision irrigation in agricultural production. Science news in the Agroindustrial Complex. 2018. № 2-2 (11). Pp. 23-26.
16. Shukla Y. K., Jain R., Dubey S., Bora S. S., Senapati S. K., Saini N. A comprehensive review of modern technologies for climate resilient agriculture. International Journal of Environment and Climate Change. 2025. V. 15. No 3. Pp. 49-59.
17. Borodychev V. V., Lytov M. N. An algorithm for solving problems of managing the water regime of the soil during irrigation of agricultural crops. Land reclamation and water management. 2015. No 1. Pp. 8-11.
18. Khozhanov N. N. Methodology for calculating the total water consumption of agricultural crops. Izvestiya NV AUK. 2021. № 3 (63). Pp. 174-181.
19. Olgarenko G. V., Tsekoeva F. K. Planning of ecologically safe irrigation regimes of agrobiocenoses, taking into account the variability of hydro-meteorological conditions. Environmental management. 2012. No 5. Pp. 7-11.

Информация об авторах

Лытов Михаил Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «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

Пенькова Раиса Ивановна, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9348-4408>, e-mail: raja14-1@mail.ru

Authors' Information

Lytov Michail Nikolaevich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Head of the Department, 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 Str., 9), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2743-9825>, e-mail: vkovniigim@yandex.ru

Penkova Raisa Ivanovna, Candidate of Agricultural Sciences, 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 Str., 9), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9348-4408>, e-mail: raja14-1@mail.ru

THE SUBSTANTIATION OF THE CULTIVATOR'S WEEDING PAWS DESIGN PARAMETERS

Martynov I. S., Shaprov M. N., Borodin V. I.

Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: ismartynov@mail.ru

Received 10.08.2025

Submitted 31.10.2025

Summary

Row-by-row cultivation of row crops is an important agrotechnical technique aimed at destroying weeds, loosening the soil and improving the air-water regime of the root zone. The main task of row-by-row tillage is to create favorable conditions for plant development. When cultivated in arid conditions, the presence of soil moisture is the most important for plant development. In this regard, the working bodies of the row cultivator have been modernized and their parameters have been justified, taking into account the conditions for minimizing plant damage and improving the quality of processing.

Abstract

Introduction. Row-by-row cultivation of row crops is an important agrotechnical technique aimed at destroying weeds, loosening the soil and improving the air-water regime of the root zone. Its main task is to create favorable conditions for the development of plants. Moreover, the maximum efficiency of row-by-row processing of row crops largely depends on the parameters of the cultivators' working bodies and their placement. **Object.** The object of research is the working bodies for row-by-row processing of row crops and the justification of their parameters. **Materials and methods.** The main way to care for crops is row-by-row cultivation, which uses pointed and hollow paws. In order to attract additional moisture to the root zone, the floor paws have been upgraded. **Results and conclusions.** During row-to-row processing, the main weight of the cultivator is distributed on the support wheels of the sections. However, all the forces of soil resistance fall on the tillage organs. The upgraded hollow paws are equipped with a sealing pad, which allows moisture to be drawn from deeper layers to the root system on both sides of the row. When determining the traction resistance of the working organs, it was theoretically revealed that the sealing joint slightly increases the load of the hollow paw. Thus, the proposed cultivator paws ensure high-quality row-by-row processing of melons with increased soil moisture in the area of lateral root development.

Keywords: *inter-row tillage, cultivators, row cultivators, cultivator screeds, soil compaction.*

Citation. Martynov I. S., Shaprov M. N., Borodin V. I. The substantiation of the cultivator's weeding paws design parameters. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 573-582 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-62.

Authors' contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, implementation, or analysis of this study. All authors of this article have read and presented the final version in a simplified form.

Conflict of interest. The authors declare that they have no conflicts of interest.

УДК 631.316.4

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛОЛЬНЫХ ЛАП КУЛЬТИВАТОРА

Мартынов И. С., кандидат технических наук, доцент

Шапров М. Н., доктор технических наук, профессор

Бородин В. И., аспирант

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград Российская Федерация

Актуальность. Междурядная обработка пропашных культур является важным агротехническим приёмом, направленным на уничтожение сорной растительности, рыхление почвы и улучшение воздушно-водного режима корнеобитаемой зоны. Основной задачей междурядной обработки почвы является создание благоприятных условий для развития растений. При обработке пропашных культур соблюдаются требования, учитывающие сроки и глубину обработки, уничтожение сорной растительности, величину защитной зоны, травмирование культурных растений и другие. Также нужно учитывать, что при возделывании в засушливых условиях наиболее важным для развития растений является наличие почвенной влаги.

В связи с этим актуальной является проблема совершенствования технологии междурядной обработки почвы, направленная на уничтожение сорняков с обеспечением необходимой влажности в зоне развития корней. Решение данной проблемы будет способствовать улучшению развития растений. **Объект.** Объектом исследований является полольная лапа культиватора и обоснование ее параметров. **Материалы и методы.** Основным способом ухода за посевами является междурядная

культивация, при которой используются стрельчатые и полольные лапы. С целью подтягивания дополнительной влаги в корневую зону полольные лапы были модернизированы. **Результаты и выводы.** При междурядной обработке основной вес культиватора распределяется на опорные колеса секций. Однако все силы сопротивления почвы, приходится на почвообрабатывающие органы. Модернизированные полольные лапы оборудованы уплотняющим наральником, позволяющим подтягивать влагу из более глубоких слоев к корневой системе с обеих сторон ряда. При определении тягового сопротивления рабочих органов теоретически выявлено, что уплотняющий наральник незначительно увеличивает нагрузку полольной лапы. Таким образом, предлагаемые лапы культиватора обеспечивают качественное выполнение междурядной обработки бахчевых культур с повышением влажности почвы в зоне развития боковых корней.

Ключевые слова: междурядная обработка почвы, культиваторы, пропашные культиваторы, рабочие органы культиваторов, уплотнение почвы.

Цитирование. Мартынов И. С., Шапров М. Н., Бородин В. И. Обоснование конструктивных параметров полольных лап культиватора. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 573-582. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-62.

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. Междурядная обработка пропашных культур является важным агротехническим приемом, направленным на уничтожение сорной растительности, рыхление почвы и улучшение воздушно-водного режима корнеобитаемой зоны. Основной задачей междурядной обработки почвы является создание благоприятных условий для развития растений. При обработке пропашных культур должны соблюдаться требования, учитывающие сроки и глубину обработки, уничтожение сорной растительности, величину защитной зоны, травмирование культурных растений и др. Причем, выполняя технологические операции, следует обращать внимание на фазы развития сорных и культурных растений, грамотно комбинировать рабочие органы пропашного культиватора для повышения эффективности его работы [1-10]. Также нужно учитывать, что при возделывании в засушливых условиях наиболее важным для развития растений является наличие почвенной влаги [1-6, 11-15].

Изучение технологических процессов поверхностной обработки рабочими органами позволяет сделать вывод о том, что в настоящее время лапы культиваторов имеют ряд недостатков [2, 4-8, 10, 13, 16-24].

Поэтому максимальная эффективность междурядной обработки пропашных культур во многом зависит от параметров рабочих органов культиваторов и их размещения.

Материалы и методы. Существует несколько способов ухода за посевами. Основным из них являются механизированный, а именно, культивация [2].

При междурядной обработке в основном используются стрельчатые и полольные лапы, каждая из которых имеет свои особенности. Стрельчатые хорошо подрезают сорняки и разрыхляют почву, но частично оборачивают обработанный слой, что приводит к потере влаги в ней [2, 6]. Их размещают в середине междурядья. Полольные лапы уничтожают сорняки с минимальным выносом почвенной влаги, но и меньшим рыхлением. Кроме того, для расстановки рабочих органов требуется учитывать особенности возделываемой культуры. Так, например, у бахчевых культур в первую очередь развивается стержневая часть корневой системы. Затем формируется боковые корни, которым требуется дополнительное количество влаги.

С целью подтягивания влаги для корневой системы растений, лапы бритвы были модернизированы (рисунок 1) [2, 4, 5].

Они «состоят из стойки, одностороннего плоскорежущего лезвия с вертикальной щекой и уплотняющим наральником».

К стойке прикреплено одностороннее плоскорежущее лезвие с вертикальной щекой, в нижней части которой уплотняющий наральник» [5].

При обработке почвы полольная лапа культиватора, двигаясь в верхнем слое почвы, рыхлит ее и подрезает сорные растения. Одновременно с уничтожением сорняков наральник уплотняет нижний слой обрабатываемой зоны, подтягивая влагу к корневой системе.

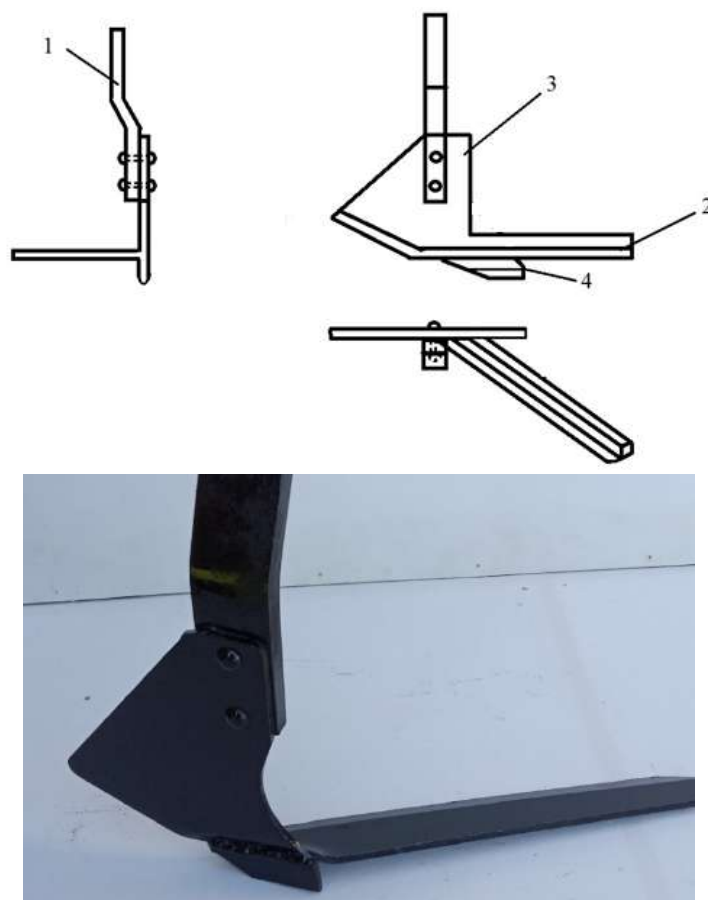


Рисунок 1 – Полольная лапа:

1 – стойка; 2 – плоскорежущее лезвие; 3 – вертикальная щека; 4 – уплотняющий наральныйник

Figure 1 – Weeding paw:

1 – stand; 2 – flat-cutting blade; 3 – vertical cheek; 4 – sealing nose

Результаты и обсуждение.

При междурядной обработке основной вес культиватора (рисунок 2) распределяется на опорные колеса секций. Однако все силы сопротивления почвы приходятся на лапы.

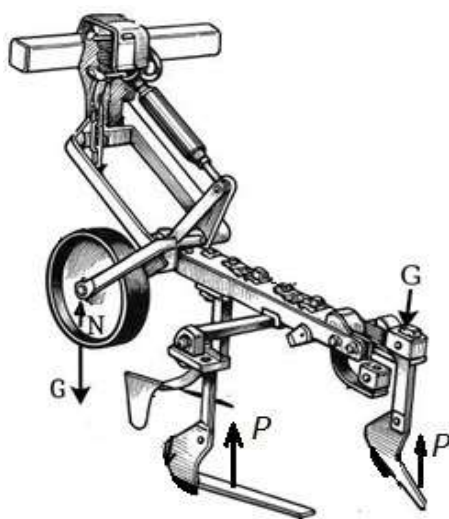


Рисунок 2 – Схема сил, действующая на секцию культиватора

Figure 2 – Diagram of the forces acting on the cultivator section

Если рассматривать только рабочие органы, то при «движении возникают сопротивления почвы вхождению в нее лезвия $R_{\text{лез}}$, сопротивление почвы деформации, производимой поверхностью лапы $R_{\text{деф}}$, сила тяжести подрезанной почвы $G_{\text{пт}}$, сила инерции пласта $F_{\text{пл}}$ и силы трения $F_{\text{тр}}$.

При его движении в почве возникают: сопротивление почвы проникновению в нее лезвия $R_{\text{л}}$, сопротивление почвы деформации, производимой рабочей поверхностью клина $R_{\text{г}}$, сила тяжести пласта G инерция пласта F и силы трения, возникающие на рабочей поверхности клина, T » [25].

По данным [17-19] «сопротивлению внедрению острого лезвия при работе клина в почве, не содержащей камней и прочных корней, можно учитывать вместе с сопротивлением почвы деформации».

Так как при междурядной обработке кроме подрезания сорняков и разрушения почвенной корки осуществляется уплотнение почвы, необходимо учитывать этот тип сопротивления.

Таким образом, тяговое сопротивление лапы в горизонтальной проекции равно

$$P_x = R_{\text{уп}} + R_{\text{дх}} + R_{\text{ФХ}} + R_{\text{ГХ}}, \quad (1)$$

где $R_{\text{уп}}$ – горизонтальная составляющая силы сопротивления почвы уплотнителем, Н; $R_{\text{дх}}$ – горизонтальная составляющая силы сопротивления почвы деформации, определяемая опытным путем, Н; $R_{\text{ФХ}}$ – горизонтальная составляющая силы сопротивления, используемая для преодоления динамического давления пласта и выраженная силой инерции, Н; $R_{\text{ГХ}}$ – горизонтальная составляющая силы сопротивления, используемая для преодоления статистического давления пласта и выраженная силой тяжести пласта, Н.

Уплотнитель высотой h воздействует на почву по линии АВ (рисунок 3). Рассмотрим детально процесс уплотнения с позиции механики грунтов, сосредоточившись на силах, действующих на уплотняющий наральник. Приложенная сверху сила F вызывает деформацию грунта, приводя его к уплотнению. В результате этого возникает реактивная сила со стороны грунта R_3 , направленная вверх и противодействующая силе F , приложенной сверху. При этом реактивная сила является результатом сложения элементарных сил сопротивления грунта смятию.

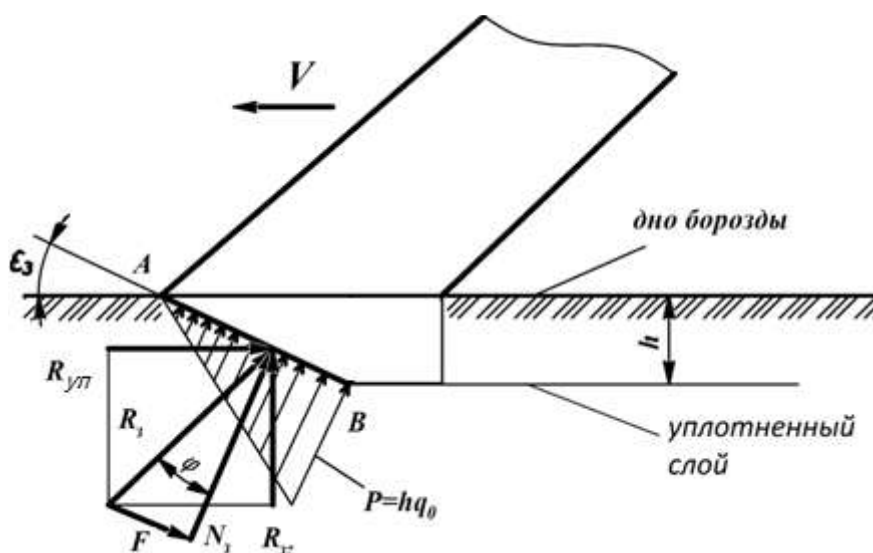


Рисунок 3 – Схема сил сопротивления почвы при уплотнении
Figure 3 – Diagram of soil resistance forces during compaction

Принимаемое сопротивление почвы смятию пропорционально величине деформации, эпюра нормальных давлений почвы на уплотнитель будет иметь форму треугольника. Максимальное значение давления почвы в точке В равно $p=h \cdot q_0$, где q_0 – коэффициент объемного смятия почвы.

Важно отметить, что равнодействующая элементарных сил сопротивления (составляющих силы R_3) не совпадает по направлению с направлением силы F . Она отклоняется на угол трения ϕ .

Тогда R_3 определим

$$R_3 = \frac{N_3}{\cos \varphi} = \frac{q_o \cdot h^2 \cdot b}{2 \cos \varphi \cdot \sin \varepsilon_3} \quad (2)$$

где b – ширина уплотняющего наральника, м.

При «подрезании пласта на него действует реакция недеформированной почвы, (рисунок 4) находящейся впереди лапы, Q_G , сила тяжести пласта G и результирующая элементарных нормальных сил сопротивления почвы и сил трения на рабочей поверхности лезвия R_G » [25].

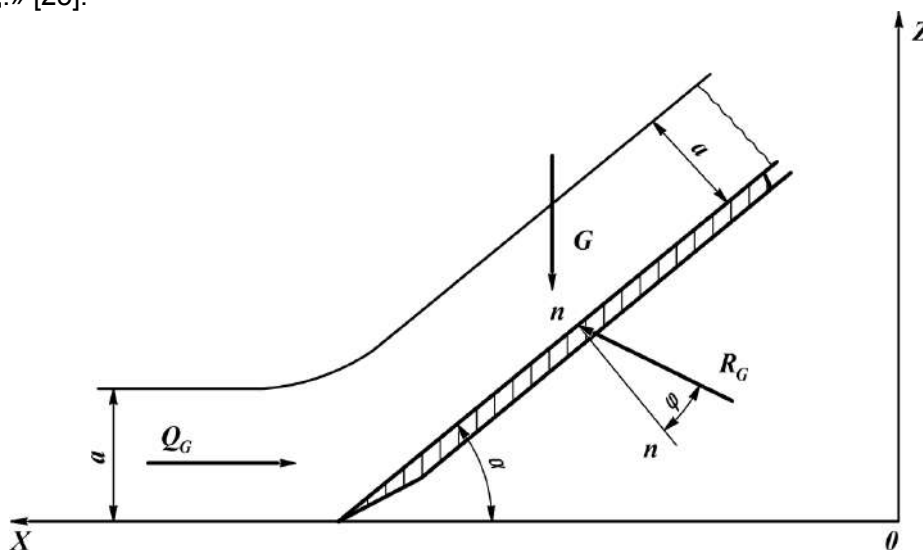


Рисунок 4 – Силы действующие на лапу
Figure 4 – Forces acting on the paw

Допустим, что «пласт почвы движется по лезвию лапы, не изменяя длины и толщины. Пренебрегаем также сопротивлением изгибу пласта при поступлении его на лапу» [25].

Проектируем силы на оси OX и OZ

$$\left. \begin{aligned} Q_G &= R_G \cdot \sin(\alpha + \varphi), \\ G &= R_G \cdot \cos(\alpha + \varphi). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\text{Откуда} \quad Q_G = G \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi). \quad (4)$$

Поскольку

$$R_{GX} \equiv Q_G = G \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi),$$

$$G = a \cdot b \cdot l \cdot \gamma_{об} \cdot g,$$

где a – глубина хода клина, м; b – ширина захвата клина, м; l – длина рабочей поверхности клина AB , м; $\gamma_{об}$ – объемная масса почвы, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ,

$$\text{то} \quad R_{GX} = a \cdot b \cdot l \cdot \gamma_{об} \cdot g \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi). \quad (5)$$

Динамическое давление «пласта почвы F_d на рабочую поверхность лапы, обусловленное силой инерции пласта, можно рассматривать как непрерывный удар частиц почвы о ее плоскость» [25]. Поэтому на основании теоремы изменения количества движения

$$dm(U_a - U_0) = F_{dt},$$

где U_0 – начальная скорость частиц почвы до взаимодействия с лапой $U_0 = 0$, U_a – абсолютная скорость движения пласта, м/с.

Рассмотрим расчет скорости движения почвы U_a и сил сопротивления, возникающих при обработке почвы, опираясь на представленные формулы и рисунок 5. Пласт почвы в этом случае ведет себя как сплошная лента, и его усадка пренебрежимо мала. Это существенно упрощает расчет, поскольку скорость U_r становится равной скорости движения лапы U .

Следовательно:

$$U_a = 2 \cdot U \cdot \sin \frac{\alpha}{2}. \quad (7)$$

Формула (7) напрямую вытекает из геометрии треугольника скоростей (рисунок 5), и ее применение обосновано отсутствием усадки почвы. Учитывая, что начальная скорость почвы U_0 равна нулю, динамическая сила сопротивления F_d определяется следующим образом

$$F_d = U_a (dm/dt) \quad (8)$$

где $\frac{dm}{dt}$ – масса почвы, поступающей на лапу в единицу времени.

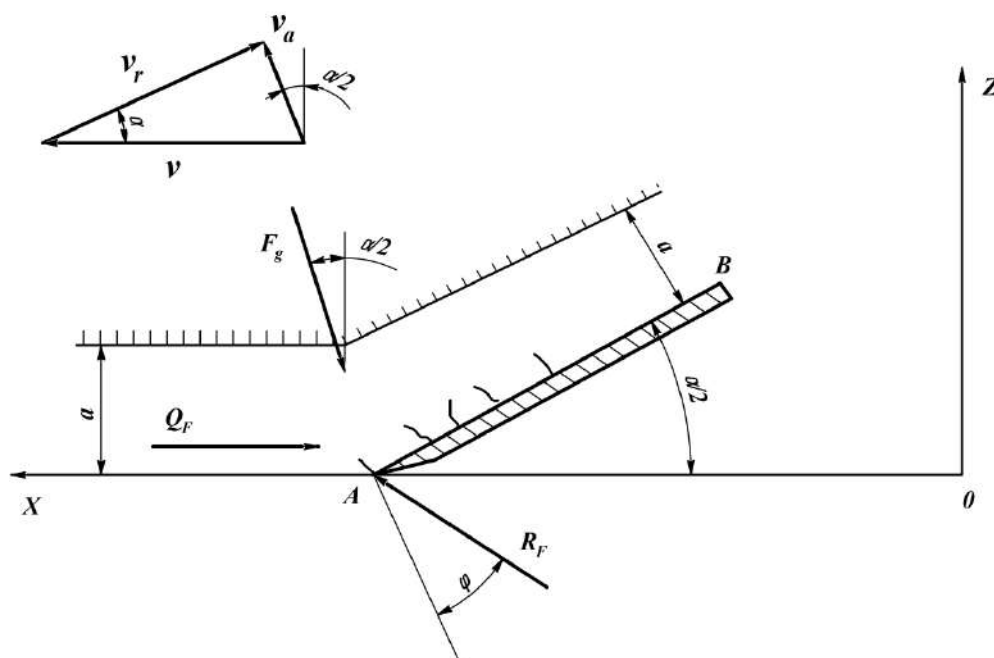


Рисунок 5 – Силы, действующие на лапу при динамическом давлении подрезанной почвы
Figure 5 – Forces acting on the paw due to the dynamic pressure of the soil layer

Таким образом

$$\frac{dm}{dt} = a \cdot b \cdot v \cdot \gamma_{об}. \quad (9)$$

Подставив выражения (7) и (9) в (8), мы получим:

$$F_d = 2 \cdot a \cdot b \cdot \gamma_{об} \cdot v^2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}. \quad (10)$$

Сила F_d (рисунок 5) «приложена к рабочей поверхности клина вблизи лезвия т.к. именно в начале поступления почвы на лапу он передает ей ударный импульс. В результате чего почва начинает двигаться с постоянной скоростью U_a . Сила F_d уравнивается реактивной силой R_F , отклоненной на угол ϕ от нормали Q_F можно с некоторым допущением принять горизонтальным» [25].

Проекция силы R_d на оси координат ZOY

$$\left. \begin{aligned} R_{FX} &= Q_F + F_\delta \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, \\ R_{FZ} &= F_\delta \cdot \cos \frac{\alpha}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Выразив R_{FX} и R_{FZ} соответственно через

$$R_{FX} = R_F \cdot \sin(a + \varphi),$$

$$R_{FZ} = R_F \cdot \cos(a + \varphi),$$

И решая совместно выражения (11) с учетом (10), получим:

$$R_{FX} = a \cdot b \cdot \gamma_{об} \cdot v^2 \sin \alpha \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi), \quad (12)$$

$$R_{FZ} = a \cdot b \cdot \gamma_{об} \cdot v^2 \sin \alpha. \quad (13)$$

Сопротивление смятию почвы уплотнителем (рисунок 3) можно определить по выражению (2). Горизонтальная составляющая силы сопротивления смятию почвы определяется по выражению

$$R_{3x} = \frac{q_0 \cdot h^2 \cdot b \cdot \sin(\varepsilon_3 + \varphi)}{2 \cdot \cos \varphi \cdot \sin \varepsilon_3} \quad (14)$$

Причем, для устойчивого хода лапы должно выполняться условие $R_{3x} < R_{Gx}$.

Для определения параметров уплотнителя необходимо учитывать свойства почвы и особенности развития растений. Так как угол трения светло-каштановых почв о сталь составляет $20-28^\circ$ то $\alpha < \varphi_{тр}$. Длина уплотняющего наральника задается конструктивными особенностями лапы бритвы и принимается равной 6 см. Поэтому минимальную и максимальную высоты наральника можно определить геометрически (рисунок 6).

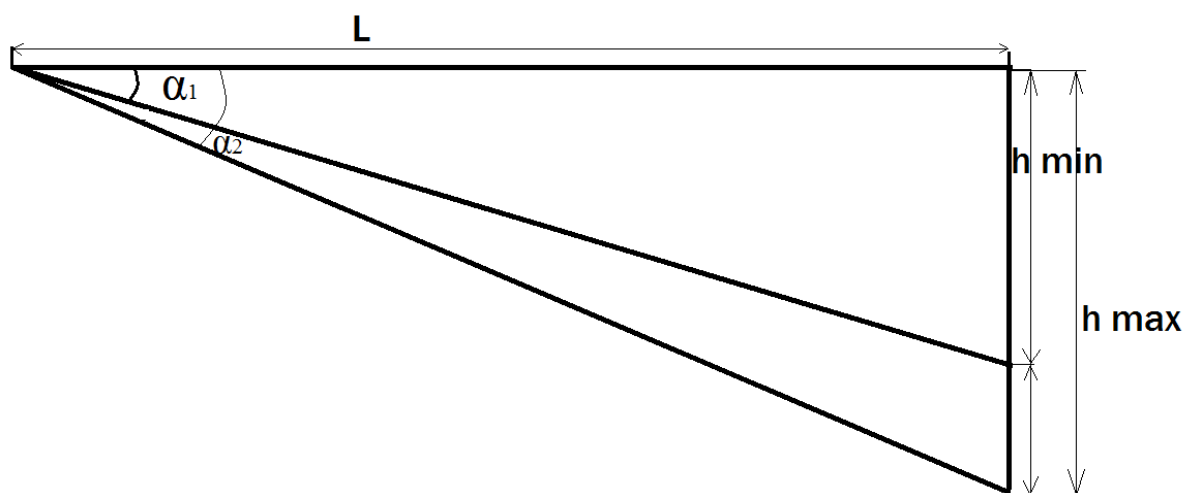


Рисунок 6 – Схема наральника
Figure 6 – Diagram of the nose guard

Используя формулу $h = l \cdot \tan(\alpha)$ и учитывая углы $\alpha_1 = 20^\circ$ $\alpha_2 = 25^\circ$, определим значения высоты уплотняющего наральника $h_{\min} = 2,18$ см и $h_{\max} = 2,8$ см. Так как боковые корни бахчевых культур формируются на глубине 2-3 см ниже уровня посева, то целесообразно принять высоту уплотняющего наральника 2 см.

Кроме того, к моменту первой культивации длина стержневого корня достигает 10-20 см, а боковых 3-4 см в каждую сторону, расстояние между полольными лапами должно быть $h_{защ} \geq 10$ см (рисунок 7).

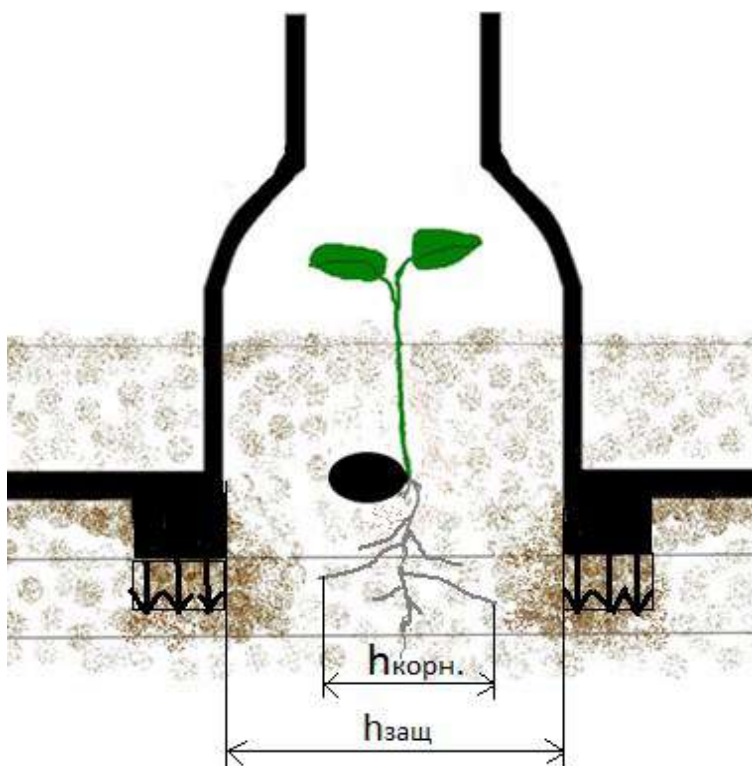


Рисунок 7 – Схема уплотнения почвы
Figure 7 – Diagram of soil compaction

Принимая во внимание следующие параметры: $\gamma_{об} = 1400 \frac{кг}{м^3}$, $l=0,385$ м, $b=0,165$ м, $a=0,06$ м, $\alpha=15^\circ$, $\varphi=26^\circ$, $h_{yn}=0,02$ м, $b_{yn}=0,015$ м, $v=5$ км/ч, определим усилия $R_{Gx} = 14,03$ Н, $R_{zx} = 2,61$ Н ($\epsilon_3=20^\circ$) $R_{zx} = 3,26$ Н ($\epsilon_3=25^\circ$) и $R_{Fx} = 5,89$ Н.

Определение общей величины тягового сопротивления полольной лапы с уплотнителем осуществляем без учета силы сопротивления на деформацию ими почвы, т.к. размеры уплотнителя малы и усилие R_{dx} невелико.

$$P_x = R_{zx} + R_{Gx} + R_{Fx} = 3,26 + 14,03 + 5,89 = 23,18 \text{ Н.}$$

По результатам теоретически полученных значений изготовлены опытные образцы полольных лап (рисунок 1) и проведены их исследования (рисунок 8).



Рисунок 8 – Установка для исследования тягового сопротивления полольных лап
Figure 8 – Installation for studying the traction resistance of weeding paws

Заключение. Модернизированные полые лапы оборудованы уплотняющим наральником, позволяющим подтягивать влагу из более глубоких слоев к корневой системе с обеих сторон рядка. При определении тягового сопротивления рабочих органов теоретически выявлено, что уплотняющий наральник незначительно увеличивает нагрузку полых лап.

Таким образом, предлагаемые лапы культиватора обеспечивают качественное выполнение междурядной обработки бахчевых культур с повышением влажности почвы в зоне развития боковых корней.

Conclusion. The upgraded hollow paws are equipped with a sealing pad, which allows moisture to be drawn from deeper layers to the root system on both sides of the row. When determining the traction resistance of the working organs, it was theoretically revealed that the sealing joint slightly increases the load of the hollow paw.

Thus, the proposed cultivator paws ensure high-quality row-by-row processing of melons with increased soil moisture in the area of lateral root development.

Библиографический список

1. Алдошин Н. В., Маматов Ф. М., Исмаилов И. И. Средства механизации для обработки почвы в бахчеводстве. Техника и оборудование для села. 2021. № 2 (284). С. 12-15.
2. Бородин В. И. и др. Совершенствование технологии междурядной обработки пропашных культур. Известия НВ АУК. 2025. № 3 (81). С. 557-567.
3. Курдюмов В. И. и др. Анализ способов ухода за посевами пропашных культур. Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения. 2020. С. 346-351.
4. Мартынов И. С., Шапоров М. Н., Бородин В. И. Рабочий орган для междурядной обработки почвы. Сельский механизатор. 2022. № 10. С. 8.
5. Мартынов И. С., Шапоров М. Н., Гузенко Е. Ю., Иванова Т. С. Разработка и исследование рабочего органа для междурядной обработки бахчевых культур. Известия НВ АУК. 2023. № 2 (70). С. 534-542.
6. Мартынов И. С., Шапоров М. Н., Гузенко Е. Ю., Иванова Т. С. Механизация предпосевной обработки почвы при возделывании бахчевых культур. Вестник аграрной науки Дона. 2023. Т. 16. № 3 (62). С. 38-47.
7. Поваарь А. А., Мяло В. В. Недостатки и сравнительный анализ орудий для поверхностной обработки почвы. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2016. № 1. С. 242-248.
8. Романовский Н. В., Захаров А. М. Способ повышения эффективности междурядной обработки овощных культур. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 4 (56). С. 311-319.
9. Соколов А. С., Соколова Г. Ф. Изучение влияния кратности междурядных обработок на засоренность и урожайность дыни в Астраханской области. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 5 (163). С. 76-81.
10. Шилов С. А., Шилов А. Н., Фадеев А. А. Кинематические параметры рабочего органа с изменяемой глубиной обработки почвы по ширине междурядья. Дальневосточный аграрный вестник. 2022. Т. 16. № 3. С. 130-134.
11. Elliott J. et al. Characterizing agricultural impacts of recent large-scale US droughts and changing technology and management. Agricultural Systems. 2018. V. 159. Pp. 275-281.
12. Shaprov M. N. et al. Melons and gourds sowing quality improving in conditions of risky farming. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. No 965 (1). P. 012052.
13. Murmu K., Thakur T. C. Design and development of combined conservation Tillage machine with chiselers and clod pulverizing roller. AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. № 50 (1). Pp. 66-72.
14. Nasyev B. et al. Physicochemical and biological indicators of soils in an organic farming system. The Scientific World Journal. 2021. V. 2021. Pp. 957-977.
15. Scialabba N., Müller-Lindenlauf M. Organic agriculture and climate change. Renewable Agriculture and Food Systems. 2010. Vol. 25. Special I. 2. Pp. 158-169.
16. Джаббаров Н. И., Добринов А. В. Обоснование конструктивных параметров рабочего органа для рыхления почвы и уничтожения сорных растений в органическом земледелии. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15. № 1 (72). С. 23-33.
17. Захаров А. М., Мурзаев Е. А., Комоедов А. Д. Теоретическое обоснование конструктивных параметров рабочего органа автоматизированной секции культиватора. АгроЭкоИнженерия. 2024. № 2 (119). С. 58-71.
18. Мазур В. В. и др. Определение оптимальных параметров комбинации рабочих органов культиватора для междурядной обработки кукурузы в условиях Амурской области. Дальневосточный аграрный вестник. 2023. Т. 17. № 4. С. 197-208.
19. Несмиян А. Ю., Семинихин А. М., Богомягких В. А., Фоменко Д. С. Обоснование параметров приспособления для формирования противозерозионного рельефа в междурядьях пропашных культур. Вестник аграрной науки Дона. 2017. № 4 (40). С. 21-29.
20. Руденко Н. Е. и др. Ресурсосберегающий пропашной культиватор. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. № 4. С. 31-37.
21. Федоров С. Е. и др. Повышение качества поверхностной обработки почвы. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2020. № 4. С. 121-127.
22. Чаткин М. Н., Федоров С. Е., Бычков М. В., Жалнин А. А. Оптимизация параметров рабочих органов культиваторов. ТЕСНика. 2020. № 1. С. 34-37.
23. Юдина Е. М., Малашихин Н. В. Совершенствование технических средств для обработки междурядий. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 3 (77). С. 131-133.
24. Coleman G.R.Y. et al. Using energy requirements to compare the suitability of alternative methods for broadcast and cite-specific weed control. Weed Technology. 2019. Vol. 33. Issue 4. Pp. 633-650.
25. Синекоков Г. Н., Панов И. М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М., «Машиностроение», 1977. 328 с.

References

1. Aldoshin N. V., Mamatov F. M., Ismailov I. I. Mechanization tools for soil cultivation in melon growing. Machinery and equipment for the village. 2021. No. 2 (284). Pp. 12-15.
2. Borodin V. I. et al. Improving the technology of inter-row cultivation of row crops. News of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education.. 2025. No 3 (81). Pp. 557-567.
3. Kurdyumov V. I. et al. Analysis of methods of caring for row crops. Agricultural science and education at the present stage of development: experience, problems and ways to solve them. 2020. P. 346-351.
4. Martynov I. S., Shaprov M. N., Borodin V. I. Working body for inter-row tillage. Rural machine operator. 2022. No. 10. P. 8.
5. Martynov I. S., Shaprov M. N., Guzenko E. Yu., Ivanova T. S. Development and study of the working body for inter-row tillage of melons and gourds. News of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education.. 2023. No 2 (70). Pp. 534-542.
6. Martynov I. S., Shaprov M. N., Guzenko E. Yu., Ivanova T. S. Mechanization of pre-sowing tillage in the cultivation of melons and gourds. Bulletin of Agrarian Science of the Don. 2023. Vol. 16. No. 3 (62). Pp. 38-47.
7. Povar A. A., Myalo V. V. Disadvantages and comparative analysis of tools for surface tillage. Bulletin of Omsk State Agrarian University. 2016. No. 1. Pp. 242-248.
8. Romanovsky N. V., Zakharov A. M. Method for increasing the efficiency of inter-row cultivation of vegetable crops. News of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2019. No. 4 (56). Pp. 311-319.
9. Sokolov A. S., Sokolova G. F. Study of the influence of the frequency of inter-row cultivations on weed infestation and melon yield in the Astrakhan region. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2018. No. 5 (163). Pp. 76-81.
10. Shilov S. A., Shilov A. N., Fadeev A. A. Kinematic parameters of the working element with variable tillage depth across the row spacing. Far Eastern Agrarian Bulletin. 2022. Vol. 16. No. 3. Pp. 130-134.
11. Elliott J. et al. Characterizing agricultural impacts of recent large-scale US droughts and changing technology and management. Agricultural Systems. 2018. Vol. 159. Pp. 275-281.
12. Shaprov M. N. et al. Melons and gourds sowing quality improving in conditions of risky farming. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. No. 965 (1). R. 012052.
13. Murmu K., Thakur T. C. Design and development of combined conservation Tillage machine with chiselers and clod pulverizing roller. AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. No. 50 (1). Pp. 66-72.
14. Nasiyev B. et al. Physicochemical and biological indicators of soils in an organic farming system. The Scientific World Journal. 2021. V. 2021. Pp. 957-977.
15. Scialabba N., Müller-Lindenlauf M. Organic agriculture and climate change. Renewable Agriculture and Food Systems. 2010. Vol. 25. Special Issue. 2. Pp. 158-169.
16. Dzhaborov N. I., Dobrinov A. V. Justification of the design parameters of the working body for loosening the soil and destroying weeds in organic farming. Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2022. Vol. 15. No. 1 (72). Pp. 23-33.
17. Zakharov A. M., Murzaev E. A., Komoedov A. D. Theoretical justification of the design parameters of the working body of the automated section of the cultivator. AgroEcoEngineering. 2024. No. 2 (119). Pp. 58-71
18. Mazur V. V. et al. Determination of optimal parameters of the combination of cultivator working bodies for inter-row cultivation of corn in the conditions of the Amur region. Far Eastern Agrarian Bulletin. 2023. Vol. 17. No. 4. Pp. 197-208.
19. Nesmiyan A. Yu., Seminikhin A. M., Bogomyagikh V. A., Fomenko D. S. Justification of the parameters of the device for the formation of anti-erosion relief in the row spacing of row crops. Bulletin of Agrarian Science of the Don. 2017. No. 4 (40) Pp. 21-29.
20. Rudenko N. E. et al. Resource-saving row-crop cultivator. Agricultural Machinery and Technologies. 2017. No. 4. Pp. 31-37.
21. Fedorov S. E. et al. Improving the quality of surface soil cultivation. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2020. No. 4. Pp. 121-127
22. Chatkin M. N., Fedorov S. E., Bychkov M. V., Zhelnin A. A. Optimization of the parameters of the working bodies of cultivators. TESNika. 2020. No. 1. Pp. 34-37.
23. Yudina E. M., Malashikhin N. V. Improvement of technical means for processing row spacing. Bulletin of the Orenburg State Agrarian University. 2019. No. 3 (77). Pp. 131-133.
24. Coleman G.R.Y. et al. Using energy requirements to compare the suitability of alternative methods for broadcast and site-specific weed control. Weed Technology. 2019. Vol. 33. Issue 4. Pp. 633-650.
25. Sineokov G. N., Panov I. M. Theory and Calculation of Soil-Tilling Machines. M., Mashinostroenie, 1977. 328 p.

Информация об авторах

Мартынов Иван Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), ORCID: 0000-0002-6185-7740, e-mail: ISMartynov@mail.ru

Шапров Михаил Николаевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), ORCID: 0000-0002-9929-5042, e-mail: m.shaprov@yandex.ru

Бородин Виталий Игоревич, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), ORCID: 0009-0001-0005-475X, e-mail: megavitas.borodin@yandex.ru

Authors' Information

Martynov Ivan Sergeevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), ORCID: 0000-0002-6185-7740, e-mail: ismartynov@mail.ru

Shaprov Mikhail Nikolaevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), ORCID: 0000-0002-9929-5042, e-mail: m.shaprov@yandex.ru

Borodin Vitaly Igorevich, postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), ORCID: 0009-0001-0005-475X. e-mail: megavitas.borodin@yandex.ru

THE INFORMATIVE VALUE OF THE ON-BOARD COMBINE HARVESTERS CONTROL SYSTEMS

Pomogaev V. M.

Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin
Omsk, Russian Federation

Corresponding author E-mail: vm.pomogaev@omgau.org

Received 26.07.2025

Submitted 25.09.2025

Summary

The article presents the results of assessing the information content of on-board control systems of grain harvesters using the methodology developed by the author. Experimental studies have confirmed the correctness of the formulated methodological approaches and the hypothesis that the more units and assemblies are covered by control, the higher the information content indicator and the efficiency coefficient of on-board control systems. The methodology can be used to plan the implementation of technical condition monitoring systems, to assess the impact of digital options on the technical and economic performance of self-propelled agricultural machinery and the efficiency of organizing maintenance and repair.

Abstract

Introduction. The development and widespread implementation of digital intelligent technologies in the maintenance and repair system opens up new opportunities for monitoring the technical condition of self-propelled agricultural machines. The use of on-board monitoring systems for these purposes is the most promising. However, the issues of assessing the potential of on-board monitoring systems as a source of information on the technical condition of machine elements remain incompletely worked out. **Object.** The object of the study is the processes of implementing remote monitoring of the technical condition of self-propelled agricultural machines. **Materials and methods.** The developed methodology for assessing the information content of on-board monitoring systems is based on the principles and methods of information theory and automatic control. The proposed methodology involves the use of the value of the amount of information and the efficiency coefficient of the on-board monitoring system. To test the formulated methodological approaches and reveal the information potential of on-board monitoring systems, an experimental and measuring complex was designed, and to generate failure statistics, in order to calculate the information content and efficiency coefficient of on-board monitoring systems, data on failures of combine harvesters was collected. **Results and conclusions.** Of the 27 types of failures in the control group of grain combine harvesters, the on-board monitoring system revealed 14 failures in the ACROS 550, 15 failures in the ACROS 585, and 16 failures in the ACROS 595 Plus. For the ACROS 550 combine harvesters, the information content of the BSC (ИБСК) is 1.905, the efficiency coefficient of the BSC ($K_{\text{эб}}$) is 0.456; for the ACROS 585 combine harvesters, the information content of the BSC (ИБСК) is 1.995, the efficiency coefficient of the BSC ($K_{\text{эб}}$) is 0.478, for the ACROS 595 Plus combine harvesters, the information content of the BSC (ИБСК) is 2.194, the efficiency coefficient of the BSC ($K_{\text{эб}}$) is 0.525.

Keywords: combine harvesters, combine control systems, on-board control systems.

Citation. Pomogaev V. M. The informative value of the on-board combine harvesters control systems. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 583-591 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-63.

Authors' contribution. Author of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study.

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

УДК 631.173:004.048+631.354.2

ИНФОРМАТИВНОСТЬ БОРТОВЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ
ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

Помогаев В. М., кандидат экономических наук, доцент

Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина
г. Омск, Российская Федерация

Актуальность. Развитие и широкое внедрение цифровых интеллектуальных технологий в системе ТОиР открывает новые возможности для реализации контроля технического состояния самоходных сельскохозяйственных машин. Использование в этих целях бортовых систем контроля является наиболее перспективным. Однако остаются не в полной мере проработанными вопросы оценки потенциала бортовых систем контроля, как источника информации о техническом состоянии элементов машин. **Объект.** Объектом исследования являются процессы реализации удаленного контроля технического состояния самоходных сельскохозяйственных машин. **Материалы и методы.**

В основу разработанной методики оценки информативности бортовых систем контроля положены принципы и методы теории информации и автоматического управления. Предложенная методика предполагает использование значения количества информации и коэффициента эффективности бортовой системы контроля. Для проверки сформулированных методических подходов и раскрытия потенциала информативности бортовых систем контроля был спроектирован экспериментально-измерительный комплекс, а для формирования статистики отказов, с целью расчета информативности и коэффициента эффективности бортовых систем контроля, осуществлялся сбор данных об отказах зерноуборочных комбайнов. **Результаты и выводы.** Из 27 видов отказов в контрольной группе зерноуборочных комбайнов с помощью бортовой системы контроля было выявлено 14 отказов у ACROS 550, 15 отказов у ACROS 585, 16 отказов у ACROS 595 Plus. Для комбайнов ACROS 550 информативность БСК ($I_{БСК}$) составляет 1,905, коэффициент эффективности БСК ($K_{эф}$) 0,456; для комбайнов ACROS 585 информативность БСК ($I_{БСК}$) составляет 1,995, коэффициент эффективности БСК ($K_{эф}$) 0,478, для комбайнов ACROS 595 Plus информативность БСК ($I_{БСК}$) составляет 2,194, коэффициент эффективности БСК ($K_{эф}$) 0,525.

Ключевые слова: зерноуборочные комбайны, системы контроля комбайнов, бортовые системы контроля.

Цитирование. Помогаев В. М. Информативность бортовых систем контроля зерноуборочных комбайнов. Известия НВ АУК. 2025. 6(84). 583-591. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-63.

Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Современные сельскохозяйственные машины представляют собой сложные технические системы, оснащенные электронными устройствами для управления рабочими процессами и контроля технического состояния. Как правило, все электронные устройства объединяются в единую сеть, управляемую микропроцессором и программным обеспечением, и в целом представляют собой бортовую систему контроля (БСК). В процессе эксплуатации такие системы позволяют оператору самоходной сельскохозяйственной машины (ССМ) получать информацию о функционировании элементов машин, а также об их работоспособности [1].

Все больше научных работ посвящается вопросам разработки, внедрения и оценки технологий удаленного диагностирования и мониторинга технического состояния [2-4]. Все больше появляется практического опыта использования систем телеметрии и мониторинга (Голубев И. Г., Мишуров Н. П., Гольяпин В. Я., Апатенко А. С., Северюгина Н. С. Системы телеметрии и мониторинга сельскохозяйственной техники: аналит. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 76 С.). Эта информация является важным звеном в системе технического обслуживания и ремонта (ТОиР), которая позволяет устанавливать причины отказов, прогнозировать изменение технического состояния и планировать операции ТОиР [5-7]. Очевидно, чем больше информации, тем лучше контроль, правильнее организовано ремонтно-обслуживающее воздействие, выше надежность машин [8, 9].

Использование БСК для задач диагностирования в период планового технического обслуживания и ремонта или при возникновении отказов зачастую вполне достаточно. Однако, из-за значительных промежутков времени между плановыми операциями ТОиР невозможно получить достаточное количество информации для прогнозирования отказов и организации ремонтно-обслуживающего воздействия. Ряд ученых отмечают перспективность организации удаленного диагностирования и мониторинга технического состояния [10]. Ведущие отечественные и зарубежные производители самоходных сельскохозяйственных машин (Ростсельмаш, John Deere, CLAAS и др.) уже предлагают фирменные системы удаленного автоматизированного контроля. В настоящее время эти системы в значительной степени служат интересам дилеров, обеспечивая контроль использования машин в гарантийный период.

Принято считать, что к показателям эффективности диагностических систем относятся: продолжительность диагностирования, достоверность диагностирования и прогнозирования технического состояния; полнота, глубина поиска отказа и т.д. Однако остается до конца не исследованным вопрос о том, насколько те или иные системы встроенного контроля в процессе эксплуатации позволяют снять неопределенность при оценке правильности функционирования элементов машин, поиске мест возникновения отказов, при прогнозировании изменения технического состояния.

Целью настоящего исследования является разработка методики оценки информативности бортовых систем контроля, позволяющей определить на основе количества диагностической информации степень контроля электронными системами элементов машин, отказы которых наиболее часто проявляются в процессе эксплуатации.

Материалы и методы. Объектом исследования являются процессы реализации удаленного контроля технического состояния самоходных сельскохозяйственных машин. Представленное исследование нацелено на дополнение существующих теоретических представлений о совершенствовании системы ТОиР на основе использования интеллектуальных цифровых технологий. Современные технологии контроля технического состояния, прежде всего, позволяют увеличить количество информации о состоянии узлов и деталей машин. Передаваемая пользователю информация от программы или технического устройства, несет в себе смысл. Качество этого смысла, которое характеризует долю полезной информации в общем объеме передаваемого сообщения, трактуют как информативность. В теории текста под информативностью понимается новое знание, имеющееся в тексте, а оценка информативности позволяет оценить отношение содержания текста к тому знанию, которым обладает пользователь (Дридзе Т. М. Язык и социальная психология. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 240 с.).

В процессе теоретических исследований было установлено, что информативность БСК ($I_{БСК}$) можно представить как предел уровня информации необходимый для точного прогнозирования изменения технического состояния (I_n), достоверного определения места отказа (I_o) и объективной оценки правильности функционирования (I_ϕ) (1).

$$I_{БСК} = f(I_n, I_o, I_\phi) = \left(\lim_{n \rightarrow N_{max}} \sum_{j=0}^n i_j \Delta t \right) \quad (1)$$

где: n – число контролируемых элементов; N_{max} – максимально доступное количество контролируемых элементов машин для получения полного знания об объекте контроля; i_j – информация полученная от j -го объекта контроля за период времени Δt .

На практике это означает, что если БСК позволяет достоверно определять место отказа, то ее информативность выше БСК, позволяющей определять только правильность функционирования машины. Информативность БСК, позволяющей получать информацию для прогнозирования технического состояния, выше уровня информативности БСК, позволяющей определять место отказа и правильность функционирования.

Используя постулаты теории информации, информацию можно рассмотреть как выбор одного сообщения из конечного наперед заданного множества из N равновероятных сообщений, а количество информации I , содержащееся в выбранном сообщении, определяется как двоичный логарифм N . То есть информация о функционировании (I_ϕ) может содержать два сообщения: объект контроля исправен или объект неисправен. В этом случае энтропия контроля технического состояния будет равна 1 ($I = \log_2 2$ (2)). Когда объект неисправен, информация о месте отказа (I_o) и информация о числе возможных прогнозных состояний (I_n) несет в себе гораздо больше сообщений и распадается на множество N . В таком случае, с использованием формулы Шеннона, количество информации ($I_{БСК}$), получаемой от бортовой системы контроля, будет рассчитываться по формуле (2):

$$I_{БСК} = - \sum_{i=0}^N P_i \log(P_i) \quad (2)$$

где: P_i – вероятность i -го отказа, при условии, что $\sum_{i=0}^N P_i \leq 1$.

Связи с тем, что число неисправных состояний ССМ может быть огромным, а число возможных прогнозируемых состояний стремиться к бесконечности, на практике используют статистический подход. В этом случае энтропия объекта контроля всегда ограничена числом вариантов отказов, выявленных в процессе эксплуатации. С учетом сказанного можно ввести коэффициент эффективности БСК, который будет представлять собой отношение информативности БСК к максимально достижимому уровню информативности. Его в свою очередь можно представить через информационную энтропию (3):

$$K_{эф} = \log_2(N) / \log_2(N_{max}) \quad (3)$$

где: N_{max} – максимальное количество отказов элементов машин, выявленных в процессе эксплуатации.

Таким образом, методика оценки информативности БСК предполагает использование значений количества информации и коэффициента эффективности БСК. Количество информации (I) позволяет оценить то, насколько та или иная БСК снимает неопределенность при контроле элемента машины с учетом вероятности возникновения его отказа. Коэффициент эффективности ($K_{эф}$) позволяет оценить, насколько та или иная БСК охватывает контролем элементы машин относительно всех критических элементов машин, выявленных статистикой отказов на протяжении жизненного цикла или заданного периода эксплуатации.

Результаты и их обсуждение. С целью проверки сформулированных методических подходов и раскрытия потенциала информативности БСК современных самоходных сельскохозяйственных машин был проведен эксперимент. Для его реализации был спроектирован экспериментально-измерительный комплекс на основе абонентского телематического терминала (АТТ) Galileosky 10-ой линейки, позволяющего осуществлять обмен данными с электронным блоком управления (ЭБУ) ССМ и взаимодействовать с телематическим сервером для передачи мониторинговой информации. Было произведено подключение к CAN-шине ЭБУ двигателя и электропитанию бортовой сети зерноуборочных комбайнов ACROS 550, ACROS 585, ACROS 595 Plus. Такой способ подключения позволил настроить передачу со всей диагностической сети БСК (рисунок 1).

Продолжительность проведения эксперимента была ограничена сезонной работой комбайнов. Фактический мониторинг осуществлялся в период с 22.08.2023 по 11.10.2023. Данные поступали в автоматическом режиме при работе комбайна и записывались с помощью CAN-логгер через сервер Wialon Local. Для последующей обработки данные с сервера выгружались в дата-центр Омского ГАУ.

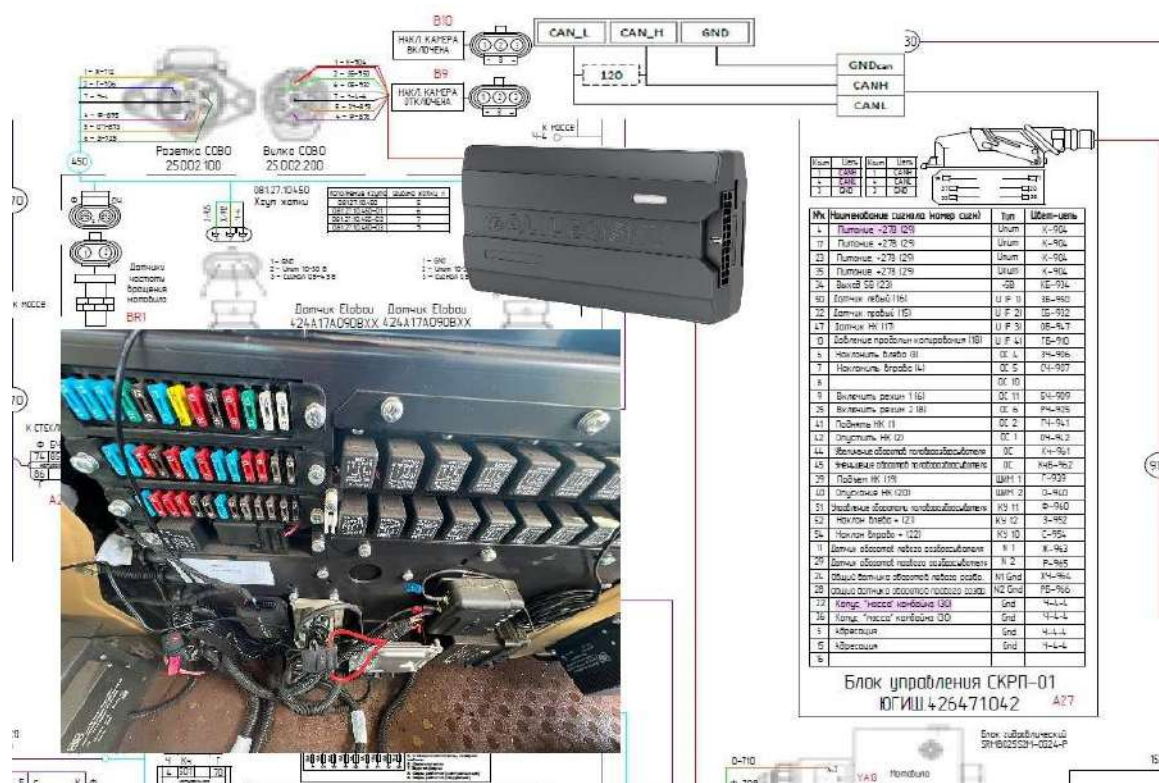


Рисунок 1 – Подключение АТТ к БСК и электросети ССМ
Figure 1 – Connecting the ATT to the BSC and the SSM power grid

Экспериментально-измерительная установка функционировала в режиме удаленного диагностирования для определения места возникновения отказа и оценки правильности функционирования узлов и агрегатов зерноуборочных комбайнов. Контроль технического состояния охватывал три контура зерноуборочных комбайнов: двигатель, шасси, технологическая часть (жатвенная часть, молотильная часть, копнитель) (рисунок 2).

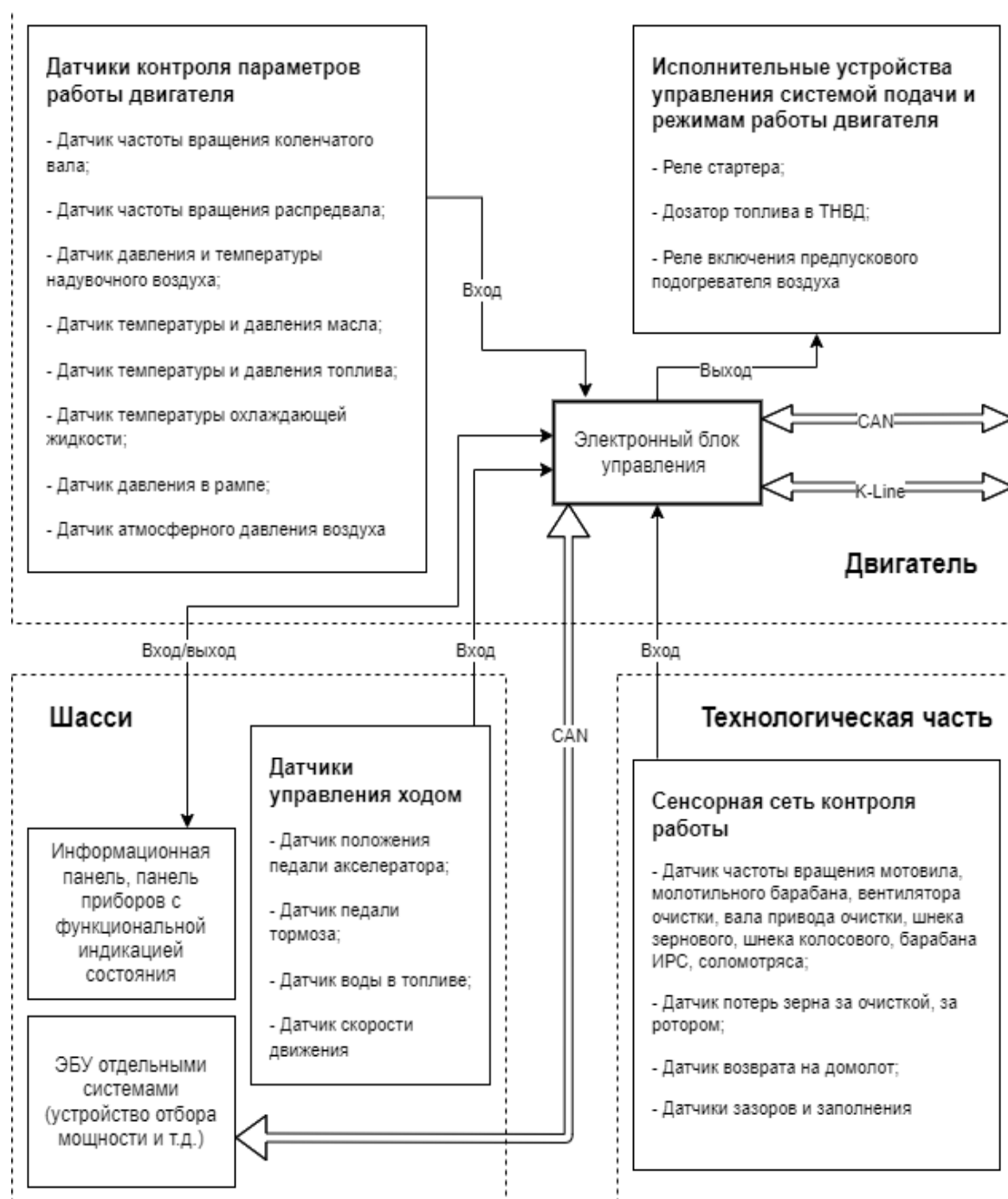


Рисунок 2 – Принципиальная структурная схема БСК зерноуборочных комбайнов семейства «ACROS»

Figure 2 – Basic structural diagram of the BSC of grain harvesting combines of the «ACROS» family

Кроме того, в процессе эксперимента осуществлялся сбор данных об отказах зерноуборочных комбайнов ACROS 550, ACROS 585, ACROS 595 Plus в процессе эксплуатации для формирования статистики отказов, необходимой для расчета информативности БСК и коэффициента эффективности БСК. Наблюдение осуществлялось за эксплуатацией 13 зерноуборочных комбайнов с наработкой от 150 до 2200 моточасов в период осенних полевых работ 2023 года. Выявленные отказы, расчет вероятности их проявления в исследуемом интервале времени и данные для расчета информативности и коэффициента эффективности БСК представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Данные для расчета информативности и коэффициента эффективности БСК
Table 1 – Data for calculating the information content and efficiency coefficient of the BSC

№	Вид отказа / Type of refusal	Вероятность возникновения отказа, (P) / Probability of failure, (P)	Log ₂	-Plog ₂
1	Отказ насоса системы охлаждения / Cooling system pump failure	0,015	-6,087	0,090
2	Течь охлаждающей жидкости через патрубки / Coolant flow through the nozzles	0,029	-5,087	0,150
3	Отказ термостата / Thermostat failure	0,015	-6,087	0,090
4	Обрыв приводного ремня вентилятора системы охлаждения / Cooling system fan drive belt breakage	0,029	-5,087	0,150
5	Течь радиатора / Radiator leak	0,015	-6,087	0,090
6	Течь расширительного бачка / Expansion tank leak	0,015	-6,087	0,090
7	Повреждение элементов топливпровода / Damage to fuel line elements	0,015	-6,087	0,090
8	Нарушение работы форсунок / Malfunction of the injectors	0,029	-5,087	0,150
9	Недостаточное давление турбонаддува / Insufficient turbocharging pressure	0,015	-6,087	0,090
10	Снижение давления в шинах / Reducing tire pressure	0,044	-4,503	0,199
11	Разрушение подшипника в бортовом редукторе / Destruction of the bearing in the on-board gearbox	0,015	-6,087	0,090
12	Разрушение ультравтулки / Destruction of the ultra sleeve	0,015	-6,087	0,090
13	Течь масла по корпусу гидромотора / Oil flowing through the body of the hydraulic motor	0,015	-6,087	0,090
14	Обрыв электропроводки / Electrical wiring breakage	0,044	-4,503	0,199
15	Отказ предохранителя / Fuse failure	0,059	-4,087	0,240
16	Отказ датчика уровня топлива в баке / Fuel level sensor failure in the tank	0,015	-6,087	0,090
17	Отказ датчика убранной площади / Failure of the cleaned area sensor	0,029	-5,087	0,150
18	Отказ датчиков (включения леникса, выгрузного шнека, клавиш, решет, оборотов вала и т.д.) / Sensor failure (switching on the lenix, discharge screw, keys, sieves, shaft rotations, etc.)	0,074	-3,766	0,277
19	Отказ муфты предохранительной шнека жатки / Failure of the safety screw coupling of the header	0,029	-5,087	0,150
20	Облом (загиб) режущего сегмента жатки, пальца направляющего / Breakage (bend) of the cutting segment of the header, the guide finger	0,088	-3,503	0,309
21	Обрыв и/или растяжение цепи транспортера наклонной камеры / Breakage and/or stretching of the conveyor chain of the inclined chamber	0,029	-5,087	0,150
22	Деформация рычага натяжного привода молотилки / Deformation of the lever of the threshing machine tension drive	0,015	-6,087	0,090
23	Обрыв транспортной ленты / Conveyor belt breakage	0,029		
24	Деформация ножей измельчителя / Deformation of chopper knives	0,029	-5,087	0,150
25	Разрушение крестовины карданов / Destruction of the cardan crosspiece	0,029	-5,087	0,150
26	Растяжение и/или обрыв приводных ремней комбайна / Stretching and/or breaking of the drive belts of the combine	0,118	-3,087	0,363
27	Разрушение подшипников вращающихся элементов комбайна / Destruction of bearings of rotating elements of the combine	0,147	-2,766	0,407
	Σ	1,000		4,175

Анализ возможностей БСК зерноуборочных комбайнов с учетом их комплектации показал, что можно проконтролировать правильность функционирования и установить причину отказа как на основе встроенных инструментов контроля, так и с подключением внешних диагностических устройств и систем удаленного мониторинга.

Используя формулу 2 возможно для каждой модели зерноуборочного комбайна посчитать информативность БСК ($I_{\text{БСК}}$), а с помощью формулы 3 коэффициент эффективности БСК ($K_{\text{эф}}$) (таблица 2).

Таблица 2 – Информативность и эффективность бортовых систем контроля

Table 2 – Information content and efficiency of on-board control systems

Марка / Параметры / Brand / Parameters	Выявленные БСК отказы, шт. / Identified BSC failures, pcs.	Информативность БСК, $I_{\text{БСК}}$ / Informative value of BSC, I_{BSC}	Коэффициент эффективности БСК, $K_{\text{эф}}$ / Efficiency coefficient of BSC, K_{ef}
ACROS 550	14	1,905	0,456
ACROS 585	15	1,995	0,478
ACROS 595 Plus	16	2,194	0,525

Из 27 видов отказов в контрольной группе зерноуборочных комбайнов с помощью БСК было выявлено 14 отказов у ACROS 550, 15 отказов у ACROS 585, 16 отказов у ACROS 595 Plus. С учетом рассчитанной вероятности возникновения выявленных отказов за период наблюдения у всей группы зерноуборочных комбайнов была рассчитана информативность БСК ($I_{\text{БСК}}$) и рассчитан коэффициент эффективности ($K_{\text{эф}}$). Количество информации от БСК и весовость выявленных отказов для ACROS 595 Plus оказались выше, чем для других моделей, за счет того, что данная модель и ее комплектация имели дополнительно установленные датчики.

Экспериментальные исследования подтвердили гипотезу о том, что чем больше узлов и агрегатов охватывается контролем, тем выше показатель информативности и коэффициент эффективности БСК. Сравнение этих показателей у различных марок зерноуборочных комбайнов позволяет оценить перспективы повышения эффективности ТОиР за счет использования встроенных систем контроля. Кроме того, результаты эксперимента показали, что дополнительно установленные датчики на критические, наиболее ответственные узлы и агрегаты способны существенно повысить информативность и эффективность БСК и как следствие эффективность ТОиР за счет сокращения времени устранения последствий отказов. Результаты эксперимента подтверждают правильность сформулированных методических подходов к оценке потенциала БСК и формулирования способов расчета информативности и коэффициента эффективности БСК.

Правильность методических подходов и релевантность полученных результатов подтверждается и результатами других исследований. Так были получены данные о том, что установка дополнительных датчиков давления в цилиндрах дизеля тепловоза позволяет повысить точность контроля на 2-3 % и принять своевременные решения о выполнении операций ТОиР [11]. Ряд авторов утверждают, что системы диагностирования должны строиться как цифровые информационные системы, информативность которых необходимо рассматривать через коэффициент эффективности автоматизированных систем технического диагностирования (АСТД), рассчитываемый как отношение информативности АСТД к энтропии объекта диагностирования [12]. В другом исследовании утверждается, что встроенные системы управления становятся важнейшим фактором обеспечения надежности машин и требуют разработки критериев оценки их технологичности и качества [13].

Заключение. Таким образом можно заключить, что предложенная методика оценки информативности и эффективности БСК позволяет снять неопределенность при оценке правильности функционирования элементов ССМ, поиске мест возникновения отказов, при прогнозировании изменения технического состояния. Исследования подтвердили гипотезу о том, что чем больше узлов и агрегатов охватывается контролем, тем выше показатель информативности и коэффициент эффективности БСК. Сравнение этих показателей у различных марок зерноуборочных комбайнов позволяет оценить перспективы повышения эффективности ТОиР за счет использования встроенных систем контроля.

При использовании спроектированного экспериментально-измерительного комплекса на основе АТТ Galileosky были получены данные с ЭБУ зерноуборочных комбайнов ACROS 550, ACROS 585, ACROS 595 Plus для оценки правильности функционирования элементов ССМ,

поиска мест возникновения отказов. Из 27 видов статистически значимых отказов, установленных в процессе эксплуатации, с помощью БСК было выявлено 14 отказов у ACROS 550, 15 отказов у ACROS 585, 16 отказов у ACROS 595 Plus.

Применение методики оценки потенциала информативности БСК позволило установить, что: для комбайнов ACROS 550 информативность БСК ($I_{БСК}$) составляет 1,905, коэффициент эффективности БСК ($K_{эф}$) 0,456; для комбайнов ACROS 585 информативность БСК ($I_{БСК}$) составляет 1,995, коэффициент эффективности БСК ($K_{эф}$) 0,478, для комбайнов ACROS 595 Plus информативность БСК ($I_{БСК}$) составляет 2,194, коэффициент эффективности БСК ($K_{эф}$) 0,525.

Предложенная методика позволяет сравнивать БСК отдельных моделей и марок сельскохозяйственных машин с точки зрения возможности контроля критически важных элементов машин. Данные о потенциале информативности БСК, при наличии сведений о стоимости устранения тех или иных отказов, позволяют оценить влияние цифровых опций на технико-экономические показатели эксплуатации ССМ, эффективность организации ТОиР и в целом на себестоимость производства.

Conclusion. Thus, it can be concluded that the proposed methodology for assessing the informativeness and efficiency of the BSC allows removing uncertainty when assessing the correctness of the functioning of the elements of the CMS, searching for failure locations, and predicting changes in the technical condition. The studies confirmed the hypothesis that the more units and assemblies are covered by the control, the higher the informativeness indicator and the efficiency coefficient of the BSC. Comparison of these indicators for different brands of grain harvesters allows assessing the prospects for increasing the efficiency of maintenance and repair through the use of built-in control systems. Using the designed experimental and measuring complex based on the Galileosky ATT, data were obtained from the ECU of the ACROS 550, ACROS 585, ACROS 595 Plus grain harvesters to assess the correctness of the functioning of the elements of the CMS and search for failure locations. Of the 27 types of statistically significant failures identified during operation, 14 failures were detected with the help of the BSC in the ACROS 550, 15 failures in the ACROS 585, and 16 failures in the ACROS 595 Plus.

The use of the methodology for assessing the potential of the BSC information content made it possible to establish that: for the ACROS 550 combines, the information content of the BSC (I_{BSC}) is 1.905, the efficiency coefficient of the BSC (K_{ef}) is 0.456; for the ACROS 585 combines, the information content of the BSC (I_{BSC}) is 1.995, the efficiency coefficient of the BSC (K_{ef}) is 0.478, for the ACROS 595 Plus combines, the information content of the BSC (I_{BSC}) is 2.194, the efficiency coefficient of the BSC (K_{ef}) is 0.525. The proposed methodology allows comparing the BSC of individual models and brands of agricultural machinery in terms of the ability to control critical elements of the machines. Data on the informative potential of the BSC, given the availability of information on the cost of eliminating certain failures, allows assessing the impact of digital options on the economic indicators of the operation of the CMS, the efficiency of the organization of maintenance and repair, and, in general, on the cost of production.

Библиографический список

1. Черноиванов В. И., Габитов И. И., Неговора А. В. Цифровые технологии и электронные средства в системе технического обслуживания и ремонта автотракторной и комбайновой техники. Труды ГОСНИТИ. 2018. Т. 130. С. 74-81.
2. Ran Y., Zhou X., Lin P., Wen Y. R. A survey of predictive maintenance: systems, purposes and approaches. IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2019. No. 20. Pp. 1-36.
3. Ersöz O. Ö., Inal A. F., Aktepe A., Türker A. K., Ersöz S. A. A systematic literature review of the predictive maintenance from transportation systems aspect. Sustainability. 2022. No. 14. P. 1465.
4. Помогаев В. М., Редреев Г. В., Ревякин П. И., Басакина А. С. Возможности использования данных электронных систем сельскохозяйственных машин для построения предсказательных моделей. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2022. № 2 (46). С. 153-166.
5. Помогаев В. М. Концептуальная модель методологии прогнозного обслуживания сельскохозяйственных машин. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 4 (72). С. 538-547.
6. Пегачков А. А. Прогнозирование ресурса и оценка технического состояния двигателей на основе параметров, отслеживаемых системой удаленного диагностирования. Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2022. № 9. С. 27-31.
7. Катаев Ю. В., Герасимов В. С., Тишанинов И. А. Использование систем бесконтактной диагностики при техническом обслуживании энергонасыщенной сельскохозяйственной техники. Технический сервис машин. 2022. № 2 (147). С. 60-66.
8. Помогаев В. М., Редреев Г. В. Информационное обеспечение в системе технического обслуживания и ремонта мобильных машин в сельском хозяйстве. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2022. № 2 (46). С. 145-152.
9. Дидманидзе О. Н., Дорохов А. С., Катаев Ю. В. Тенденции развития цифровых технологий диагностирования технического состояния тракторов. Техника и оборудование для села. 2020. № 11 (281). С. 39-43.

10. Саяпин А. С., Петрищев Н. А., Пестряков Е. В. Совершенствование управления техническим состоянием машин за счет использования цифровых средств мониторинга. Технический сервис машин. 2023. Т. 61. № 4 (153). С. 10-17.
11. Семенов А. П., Лакин И. К., Хромов И. Ю. Информационная энтропия систем технического диагностирования локомотивов. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2020. № 3 (67). С. 42-53.
12. Карпенко М. Ю., Петухов С. А. Оценка эффективности бортовых систем регистрации параметров работы тепловозов. Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта. 2022. № 2 (5). С. 60-67.
13. Hae-Sool Yang The Reliability Evaluation Method of Embedded Controlled Systems Considering the International Standard. Journal of Digital Convergence. 2017. No. 15 (2). Pp. 199-206.

References

1. Chernov Ivanov V. I., Gabitov I. I., Negovora A. V. Digital technologies and electronic means in the system of maintenance and repair of motor vehicles and tractors and combine harvesters. Proceedings of GOSNITI. 2018. V. 130. Pp. 74-81.
2. Ran Y., Zhou X., Lin P., Wen Y. R. A survey of predictive maintenance: systems, purposes and approaches. IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2019. No. 20. Pp. 1-36.
3. Ersöz O. Ö., Inal A. F., Aktepe A., Türker A. K., Ersöz S. A. A systematic literature review of the predictive maintenance from transportation systems aspect. Sustainability. 2022. No. 14. P. 1465.
4. Pomogaev V. M., Redreev G. V., Revyakina P. I., Basakina A. S. Possibilities of using data from electronic systems of agricultural machinery for constructing predictive models. Bulletin of Omsk State Agrarian University. 2022. No. 2 (46). Pp. 153-166.
5. Pomogaev V. M. Conceptual model of the methodology of predictive maintenance of agricultural machinery. Bulletin of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2023. No. 4 (72). Pp. 538-547.
6. Pegachkov A. A. Forecasting the resource and assessing the technical condition of engines based on the parameters monitored by the remote diagnostics system. Repair. Restoration. Modernization. 2022. No. 9. Pp. 27-31.
7. Kataev Yu. V., Gerasimov V. S., Tishaninov I. A. Use of contactless diagnostic systems in the maintenance of energy-intensive agricultural machinery. Techn. service of machines. 2022. No. 2 (147). Pp. 60-66.
8. Pomogaev V. M., Redreev G. V. Information support in the system of technical maintenance and repair of mobile machines in agriculture. Bulletin of Omsk State Agrarian University. 2022. No. 2 (46). Pp. 145-152.
9. Didmanidze O. N., Dorokhov A. S., Kataev Yu. V. Trends in the development of digital technologies for diagnosing the technical condition of tractors. Machinery and equipment for the village. 2020. No. 11 (281). Pp. 39-43.
10. Sayapin A. S., Petrishchev N. A., Pestryakov E. V. Improving the management of the technical condition of machines through the use of digital monitoring tools. Technical service of machines. 2023. V. 61. No. 4 (153). Pp. 10-17.
11. Semenov A. P., Lakin I. K., Khromov I. Yu. Information entropy of locomotive technical diagnostics systems. Modern technologies. Systems analysis. Modeling. 2020. No. 3 (67). Pp. 42-53.
12. Karpenko M. Yu., Petukhov S. A. Evaluation of the effectiveness of on-board systems for recording the operating parameters of diesel locomotives. Fundamental and applied issues of transport. 2022. No. 2 (5). Pp. 60-67.
13. Hae-Sool Yang The Reliability Evaluation Method of Embedded Controlled Systems Considering the International Standard. Journal of Digital Convergence. 2017. No. 15 (2). Pp. 199-206.

Информация об авторах

Помогаев Виталий Михайлович, кандидат экономических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина», (Российская Федерация, 644008, г. Омск, ул. Институтская площадь, 1), e-mail: vm.pomogaev@omgau.org

Author's Information

Pomogaev Vitalij Mikhailovich, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin, (Russian Federation, 644008, Omsk, Institutskaya Square, 1), e-mail: vm.pomogaev@omgau.org

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-64

THE NEURAL INTERFACES ROLE IN THE INTEGRATED DEVELOPMENT OF THE AGRICULTURAL ENGINEERING: THE REVIEW, ANALYSIS AND PROSPECTS

Chernyaeva A. V., Chernyaev M. A.

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: AMBA81@mail.ru

Received 31.07.2025

Submitted 29.09.2025

Summary

The article presents the results of a comprehensive analysis of the current state and prospects for the use of neural technologies in the Russian agro-industrial complex. The results of the study showed that neural technologies, and in particular neuro interfaces, have significant potential to improve the efficiency and sustainability of the agricultural sector, but require solving a number of technical, economic and ethical issues for large-scale implementation.

Abstract

Introduction. Development trends in domestic neural technologies will allow us to state the transition to more intelligent and adaptive systems in industrial and agricultural production processes. Federal and regional digital transformation programs in achieving national development goals emphasize the role of neural

technologies and actualize support for innovations with the emergence of real production cases of promising developments and robotic solutions for the Russian agro-industrial complex. One of the priority areas of development of neural technologies may be the issue related to the expansion of the scope of application of neural interfaces beyond traditional medical laboratories with the subsequent integration of neural interfaces into agricultural engineering, as well as the main limitations for realizing their potential, which in general for agriculture can be considered as a breakthrough technology that can increase the efficiency and sustainability of automated technical solutions for agricultural processes in improving the conditions of transport mobility and food security. **Object.** Current status and prospects for the use of neural interfaces in the agro-industrial complex, in particular the regional aspect of agricultural engineering in the Volgograd region within the framework of the implementation of the national program "Digital Economy of the Russian Federation" and in accordance with national development goals for the period up to 2036 on the implementation of neural technologies in the agricultural sector. **Materials and methods.** The selection and review of factual source material with subsequent interpretation of scientific original research, publications and reports on the topic of practical application of neural interfaces was implemented through the structural-analytical method, logical-selective analysis of information from secondary sources and model analysis. **Results and conclusion.** The article presents a comprehensive interdisciplinary approach that takes into account technical and social aspects for analyzing the current state of the use of neural technologies in the agro-industrial complex of Russia in accordance with the implementation of national goals of digital development. An overview of trends in the prospective expansion of the use of neural interfaces in narrow areas of agriculture is provided, opening up a range of possibilities for the digital transformation of the agricultural sector from agricultural machinery control and monitoring to optimization of production processes. Federal and regional initiatives in the field of digitalization and automation of agriculture are presented, as well as examples of the successful implementation of neural network solutions in monitoring and forecasting crop yields, firstly, they are particularly significant for understanding the possibilities of introducing neural interfaces in agricultural engineering, and secondly, they are a factor in increasing the competitiveness and innovative development of the agro-industrial complex of the Volgograd region. The article also includes important aspects that limit the large-scale implementation of neural interfaces, but require close attention when using neural technologies (solving ethical issues, reducing the cost of development, implementation and implementation; objectivity of interpretation of brain activity, etc.).

Keywords: neural interfaces, development of agriculture, digitalization of the agro-industrial complex, agricultural engineering.

Citation. Chernyaeva A. V., Chernyaev M. A. The neural interfaces role in the integrated development of the agricultural engineering: the review, analysis and prospects. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 591-601 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-64.

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

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

УДК 631.171+159.9.072.533

РОЛЬ НЕЙРОИНТЕРФЕЙСОВ В КОМПЛЕКСНОМ РАЗВИТИИ АГРОИНЖЕНЕРИИ: ОБЗОР, АНАЛИЗ, ПЕРСПЕКТИВЫ

Черняева А. В., кандидат психологических наук, доцент
Черняев М. А., лаборант

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Тенденции развития отечественных нейротехнологий позволят констатировать переход к более интеллектуальным и адаптивным системам в промышленных и сельскохозяйственных производственных процессах. Федеральные и региональные программы цифровой трансформации в достижении национальных целей развития подчеркивают роль нейротехнологий и актуализируют поддержку инноваций с появлением реальных производственных кейсов перспективных разработок и робототехнических решений для агропромышленного комплекса России. Одним из приоритетных направлений развития нейротехнологий может стать вопрос, связанный с расширением области применения нейроинтерфейсов за пределами традиционных медицинских лабораторий с последующей интеграцией нейроинтерфейсов в агроинженерию, а также основных ограничений для реализации их потенциала, что в целом, для сельского хозяйства, может рассматриваться как прорывная технология, которая способна повысить эффективность и устойчивость автоматизированных технических решений агропроцессов в улучшении условий транспортной мобильности и продовольственной безопасности. **Объект.** Актуальное состояние и перспективы применения нейроинтерфейсов в агропромышленном комплексе, в частности, региональный аспект, агроинженерия Волгоградской области в рамках реализации национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» и в соответствии с национальными целями развития на перспективу до 2036 г. по вопро-

сам внедрения нейротехнологий в аграрную отрасль. **Материалы и методы.** Подбор и обзор фактологического источниковедческого материала с последующей интерпретацией научных оригинальных исследований, публикаций и отчетов по теме практического применения нейроинтерфейсов реализовывался за счет структурно-аналитического метода, логико-селективного анализа информации вторичных источников и модельного анализа. **Результаты и выводы.** В статье представлен комплексный междисциплинарный подход, учитывающий технические и социальные аспекты по анализу современного состояния использования нейротехнологий в агропромышленном комплексе России согласно реализации национальных целей цифрового развития. Приведён обзор тенденций перспективного расширения применения нейроинтерфейсов в узких областях сельского хозяйства открывающий спектр возможностей цифровой трансформации аграрной отрасли от управления сельскохозяйственной техникой и мониторинга до оптимизации производственных процессов. Представлены федеральные и региональные инициативы в области цифровизации и автоматизации сельского хозяйства, а также примеры успешного внедрения нейросетевых решений в мониторинге и прогнозировании урожайности, во-первых, выступающие особо значимыми для осмысления возможностей внедрения нейроинтерфейсов в агроинженерию, а во-вторых являющиеся фактором повышения конкурентоспособности и инновационного развития агропромышленного комплекса Волгоградской области. Статья также включает важные аспекты ограничивающие масштабное внедрение нейроинтерфейсов, но требующие пристального внимания при использовании нейротехнологий (решение этических вопросов, снижение себестоимости разработки, реализации и внедрения; объективность интерпретация мозговой активности и пр.).

Ключевые слова: нейроинтерфейсы, развитие сельского хозяйства, цифровизация агропромышленного комплекса, агроинженерия.

Цитирование. Черняева А. В., Черняев М. А. Роль нейроинтерфейсов в комплексном развитии агроинженерии: обзор, анализ, перспективы. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 591-601. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-64.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. По данным реализации национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» на ускоренное внедрение цифровых технологий в экономику и социальную сферу России в 2024 г. по уровню достижения показателей приходится 99,50 %. Основное внимание уделено нейротехнологиям, искусственному интеллекту, иммерсивным технологиям, робототехнике, цифровой сенсорике и пр. в таких значимых научно-технических отраслях, как технические, информационные, прикладные науки, производство и др. В зависимости от успешного развития и внедрения прорывных нейротехнологий, в частности нейрокомпьютерных интерфейсов в медицину, промышленность, образование они могут стать одним из факторов перспективного практического применения в различных сельскохозяйственных отраслях от управления сельскохозяйственной техникой (сельскохозяйственные роботы, дроны, IoT-устройства и пр.) до оптимизации производственных процессов (интеллектуальный мониторинг, прогнозирование, обработка аномалий и угроз безопасности и т.д.).

Преобразование и внедрение нейроинтерфейсов в агроинженерию и смежные сельскохозяйственные области в обеспечение указа президента от 07.05.2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» позволит увеличить целевые показатели достижения национальной цели продовольственной безопасности, транспортной мобильности, цифровой трансформации, беспилотных авиационных систем по вопросу «Технологическое лидерство» за счет интеллектуальной автоматизации и применения устойчивых нейрокомпьютерных технологий в агропроизводстве [1]. Как правило, понятие нейрокомпьютерного интерфейса или нейроинтерфейса включает в себя серьезные системы подключения, обработки информации в мозге человека с последующей обратной передачей на внешнее устройство [2-3]. Первоначально устройства биологической обратной связи возникли, а в последнее двадцатилетие стали одним из главных трендов в области нейронаук [3-4]. Как известно, нейроинтерфейсы призваны решать задачи имитации структуры и функций человеческого мозга, так, например, подключение мозга к компьютеру при помощи нейроинтерфейса позволяет управлять объектами виртуальной реальности или реальным объектом, а внедрение новых методов минимизирующих инвазивные технологии, например, функциональной ультразвуковой нейровизуализации позволяет расширить спектр реги-

страции данных с различных областей мозга без операбельного вмешательства и имплантации для декодирования пространственно-временных моделей активности мозга, снижая при этом риски и упрощая внедрение нейроинтерфейсов в практическую деятельность сфер его применения. Обзор внедрения нейроинтерфейсов по сферам применения представлен на рисунке 1.

НЕЙРОКОМПЬЮТЕРНЫЙ ИНТЕРФЕЙС ИЛИ НЕЙРОИНТЕРФЕЙС			
ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ	МЕДИЦИНА	ПРОМЫШЛЕННОСТЬ	АГРОИНЖЕНЕРИЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЕ	Система для обеспечения связи между мозгом и устройствами для восстановления и улучшения функций организма	Технология управления машинами и процессами напрямую оператором через мозговые сигналы для повышения эффективности и безопасности	Совокупность системы и технологии ментального управления оператором сельскохозяйственной техникой и роботами
ПРИМЕНЕНИЕ	Восстановление двигательных функций, лечение неврологических заболеваний, возвращение слуха глухим и пр.	Автоматизация процессов, дистанционное управление техникой, снижение утомляемости операторов и пр.	Дистанционное управление техникой, повышение точности и скорости управления техникой, снижение физической нагрузки и пр.
ПРИМЕР	Роботизированный протез, экзоскелет управляемый силой мысли пациентов с параличом	Производственная линия управляемая с помощью нейроинтерфейса	Роботизированный манипулятор управляемый через ЭЭГ-гарнитуру силой мысли оператором

Рисунок 1 – Обзор применения нейроинтерфейсов в медицине, промышленности и агроинженерии
Figure 1 – Review of the application of neural interfaces in medicine, industry and agricultural engineering

Следует отметить, что независимо от области применения нейроинтерфейсы предполагают обеспечение прямой связи мозга с техникой. К особенностям по результатам сравнительного анализа можно отнести применение нейроинтерфейсов, так упор в медицине сделан на реабилитацию и восстановление, на автоматизацию и безопасность в промышленности и эффективность управления сельскохозяйственной техникой в агроинженерии.

Обзор информации о работах в области применения нейроинтерфейсов в агроинженерии Волгоградской области на официальных федеральных (Южный федеральный округ. Общероссийская платформа. Стратегия 24. URL: <https://strategy24.ru/ufo>) и региональных (Об утверждении Стратегии в области цифровой трансформации отраслей экономики, социальной сферы и государственного управления Волгоградской области: распоряжение губернатора Волгоградской области. URL: https://digital.gov.ru/uploaded/files/volgogradskaya-oblast_W0KkdGF.pdf) ресурсах профильных научных баз данных в открытых источниках представлен в рамках интеграции в более обширные проекты и программы цифровизации, автоматизации и роботизации аграрного сектора.

В 2023 г. в материалах VI национальной конференции «Современные проблемы АПК и их решение» на базе ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ представлена статья, посвященная VI системе и прогнозированию экономической эффективности применения «неинвазивной» оценки веса животных в ООО «ГК РУСАГРО».

В 2024 году в рамках 35-й международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника» (URL: <https://er.rtc.ru/images/docs/2024/Abstracts-2024-2.pdf>) был предложен ряд проектов по цифровизации аграрной отрасли опосредованно включенных в региональный компонент, среди которых особый интерес представляют тенденции операционализации интеллектуальных систем: наземная роботизация сельскохозяйственных операций, управление мобильными платформами, автопилотирование техники, навигация беспилотных роботов (далее БПЛА), сенсорики технического зрения для малоразмерных БПЛА, нейроморфные механизмы, сенсорики систем ориентирования в пространстве на основе магниторезистивных тонкопленочных структур, имитационное моделирование для обучения нейронных сетей, нейроинтерфейсы в нейрорегуляции мехатронным устройством на примере андроидного робота, спайковые нейронные сети в обучении биоморфных шагающих роботов, моделирование нейроинтерфейсов на основе моторных паттернов и многие др.

Активное воздействие нейросетевого подхода в прогнозировании развития агропромышленного комплекса и повышение интереса к высокой адаптивности нейросетевых моделей в обработке больших данных регистрируются в научных публикациях исследователей Волгоградской области и ЮФО за период 2024-2025 гг.

Вопросами цифровой трансформации опосредованно занимаются во многих хозяйствах Юга России, внедряя облачные сервисы и программно-аппаратные комплексы («Цифровое землепользование» «Умное поле», «Поле.рф», «Умный сад», «Умная теплица», «Умное ферма», РСМ «Агротроник», ИТЕЛМА, Плинор и др.) [5]. Например, при апробации ИТЕЛМА применение нейротехнологий реализуется за счет нейросетевых алгоритмов управления агропроцессами использующих возможности искусственного интеллекта (далее ИИ) и способных выполнять роль контролера в дистанционном мониторинге сельскохозяйственных угодий и состояния животных (Косогор С.Н. Цифровые технологии в сельском хозяйстве. Часть 1. Системы безопасности. 2025. URL: <https://www.secuteck.ru/articles/cifrovye-tehnologii-v-selskom-hozyajstve-chast-1>).

Образовательные и исследовательские инициативы участников ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ по направлению цифровизации технологий производства, управления агротехникой, ИИ в навигации БПЛА, систем видеоаналитики мониторинга состояния искусственных агробиосистем и др., включая подготовку кадров в области цифровых технологий отражены в научных разработках и представлены на ежегодных национальных научно – практических конференциях «Научное обоснование стратегии цифрового развития АПК и сельских территорий» за 2024-2025 гг., а также всероссийской сельскохозяйственной выставке «День поля 2025» создавая базу для включения нейротехнологий и нейроинтерфейсов в область перспективных разработок [6-9].

В аналитических отчетах по устойчивому развитию и цифровизации аграрного сектора региона просматривается перспектива применения нейроинтерфейсов управления сельскохозяйственной техники и оптимизации агропроцессов.

Созданный в Николаевском районе Волгоградской области пилотный нацпроект «Цифровая экономика» по использованию искусственного интеллекта доказал эффективность, как показывает анализ текущих исследований результативности применения нейросетей в мониторинге сельскохозяйственных угодий в прогнозировании урожаев, вовлечении и возделывании земельных ресурсов ранее неиспользуемых в сельхозобороте (Нацпроекты 19-24: Волгоградская область будет использовать нейросети в сельском хозяйстве. «Национальные проекты России». URL: <https://xn--80aapampemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/news/volgogradskaya-oblast-budet-ispolzovat-neyroseti-v-selskom-khozyaystve/>).

Согласно современным исследованиям индивидуальная настройка нейроинтерфейсов позволяет персонализировать технологию применяя алгоритмы глубокого обучения с адаптацией специальных устройств под особенности конкретного пользователя, в том числе для мониторинга состояния оператора и управления сельскохозяйственной техникой.

Общая динамика повышения продуктивности отраслей сельского хозяйства и усовершенствования технологических процессов аграрной сферы приводит к необходимости анализа перспективных направлений внедрения нейроинтерфейсов в агроинженерию.

Материалы и методы. Поиск исследований проводился при помощи структурно-аналитического метода и логико-селективного анализа информации вторичных источников (сбор и интерпретация фактологического материала, источниковедческий анализ, метод тематического анализа, обзор научных оригинальных исследований, публикаций и отчетов), а также использования модельного анализа (разработка операционализации функционала нейроинтерфейса оператором с учетом особенностей инженерных решений в сельском хозяйстве). Применение комплексного подхода обусловило возможность оценить текущее состояние практического применения нейротехнологий в смежных областях и возможностей внедрения нейроинтерфейсов в сельское хозяйство для его дальнейшего развития.

Результаты и обсуждение. Несмотря на то, что важную роль в экономике Волгоградской области занимает промышленность (37 % ВРП) значительное место отводится сельскому хозяйству (Волгоградская область располагается на третьем месте в России по размерам сельскохозяйственных угодий и по производству овощей), в котором ведущие позиции принадлежат традиционному ведению аграрной отрасли и являющемуся главным

видом хозяйственной деятельности области, задействовано свыше 16 % населения и произведено 13 % ВРП области (Волгоградская область. Инвестиционный портал регионов России: Пространство возможностей. URL: <https://www.investinregions.ru/regions/34/statistics/>; Профиль региона. Отделение Банка России по Волгоградской области. URL: https://www.cbr.ru/volgograd/ekonom_profil/#wr). Многие исследователи высокотехнологичности автоматизированных агропроцессов сходятся во мнении, что значительные перспективы эффективности сельского хозяйства связаны с применением цифровых технологий, систем искусственного интеллекта, облачных платформ, сенсорных устройств, коллаборативных роботов (далее коботов) и других автономных систем, установленных на сельскохозяйственной технике [10-12]. Все это создает определенную почву для решения задач, требующих оперативной обработки больших объёмов разнородной информации интеллектуальной автоматизации агропроизводства. Вне контекста аграрной отрасли нейроинтерфейсы представляет собой прорывную технологию [13-14]. В контексте сельского хозяйства и в частности агроинженерии они выступают звеньями конкурентоспособности отечественных разработок способных простимулировать инновационное развитие аграрного сектора.

Современное использование нейроинтерфейсов применяемых в медицине, специфически улучшающих моторные, сенсорные, и когнитивные функции при неврологических расстройствах и травмах нервной системы, существенно расширяется по спектру различных сфер оптимизации деятельности на основе принципа двух подходов обработки сигналов и распознавания образов [15]. И если первый подход достаточно эффективно реализуется в общераспространенных последовательных операциях обработки информации (запрограммированные алгоритмы), то второй подход распознавания образов значительно сложен для осуществления. И в данном случае решением может стать принцип функционирования биологических нейронных сетей (ядром выступает деятельность человеческого мозга) для распознавания сенсорной информации и соответствующих реакций адекватного отреагирования внешних воздействий. Визуализация алгоритма функционирования от принципа работы биологических нейронных сетей до цифровой реализации с выработкой собственных искусственных нейронных сетей в процессе обучения представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Нейроструктурная модель алгоритмизации нейроинтерфейса
Figure 2 – Neural structural model of neural interface algorithmization

Визуализация алгоритма позволяет отразить путь, начиная с принципа организации биологических сетей до последующего практического внедрения искусственных нейросетевых интерфейсов в агроинженерию, позволяя реализовать самонастраиваемую и интеллектуальную агротехнику. Так биологическая нейронная сеть осуществляет распознавание сенсорной информации, вырабатывая реакции адекватного отреагирования внешних воздействий, при этом искусственная сеть осуществляет этот процесс на компьютере (учится, устраняет ошибки, формирует алгоритмы, корректирует связи (веса), самосовершенствует

модели и пр.) и непосредственное применение в реальных практических задачах сельского хозяйства позволяет автоматизировать процессы, повышая точность и эффективность. К примеру, автоматизация техники (трактор, комбайн, погрузчик, робототехника и др.) на основе нейроинтерфейса представлена схематично на рисунке 3.



Рисунок 3 – Схема автоматизации робототехники на основе нейроинтерфейсов
Figure 3 – Scheme of automation of robotics based on neural interfaces

В основе идеи внедрения нейроинтерфейсов в агроинженерию лежит технология считывания с мозга оператора электромагнитных сигналов с последующим анализом и интерпретацией как цифровой команды управления сельскохозяйственной техникой силой мысли оператора. Событийно-связанная синхронизация достигается за счет нейронных сигналов, классифицируемых в неинвазийном управлении интерфейсом по происхождению, частотному и временному паттерну модуляции области покрытия мозга и продемонстрирована на рисунке 4.

Эндогенный			Экзогенный	
Частотная область			Временная область	
Двигательная	Теменная	Зрительная	Теменная	Мозг
Двигательные образы	Пространственное внимание	Зрительная стимуляция	Целевой отклик на принятие решения на различные стимулы	Корковый потенциал зон

Рисунок 4 – Типы сигналов нейроинтерфейса головного мозга
Figure 4 – Types of brain neural interface signals

Операционализация функционала нейроинтерфейса оператором в агроинженерии реализуется посредством средств ментального управления техникой (прямое) при помощи специального оборудования для считывания мозговых сигналов и программного обеспечения для последующей интерпретации данных. Активная позиция в процессе внедрения нейроинтерфейсов отводится оператору и требует значительного периода обучения и соблюдения ряда поэтапных действий.

На первом этапе необходимо снять мозговую активность оператора. Для регистрации электрических сигналов мозга оператора, в данном случае, используются специальные неинвазивные устройства с электродами (шлем, ЭЭГ-гарнитура и пр.). После соблюдения всех процедур первого этапа будут получены сигналы мозга оператора (мысленные усилия, воображение и т.д.) опосредовано связанные с движением конечностей. Данные результаты позволят настроить систему программного обучения.

На втором этапе на оператора возлагается миссия обучить систему нейроинтерфейса за счет научения распознавать сигналы тренировок оператора (паттерны мозговой активности) при формировании мысленных команд, например, воображение оператором движения рукой влево для команды «влево». Временной отрезок второго этапа по декодированию и преобразованию сигналов может занимать от нескольких недель до нескольких месяцев, результативность тренировок позволяет адаптировать прямое ментальное управление техникой.

На третьем этапе оператор непосредственно приступает к мысленному управлению сельскохозяйственной техникой (трактор, комбайн, робот-погрузчик, беспилотник и пр.) без применения физических действий (передача цифровых команд по управлению техникой на бортовую систему) передавая сигналы команд «вверх», «вниз», «влево», «вправо», «стоп» и др. и получая обратную связь.

На четвертом этапе перед оператором открывается перспектива совершенствования и повышения эффективности применения нейроинтерфейсов, например, повышение скорости и точности управления техникой (включение рабочих агрегатов, изменение скорости или направления и др.), применение дополнительных сенсоров (отслеживание состояния нервной системы, контроль взгляда оператора и пр.), расширение возможностей дистанционного управления в более сложных условиях (погодные условия, особенности поля и пр.).

Анализ основных трендов применения нейроинтерфейсов в практической деятельности за 2024-2025 гг. показал направленность на объединение искусственного интеллекта и нейроинтерфейсов, что отражено в таблице 1.

Таблица 1 – Ключевые тенденции внедрения нейроинтерфейсов по годам

Table 1 – Key trends in the implementation of neural interfaces by year

2024	2025
Интеграция ИИ и неинвазивные технологии / Integration of artificial intelligence and non-invasive technologies	Внедрение систем двунаправленных нейронтерфейсов с обратной связью / Implementation of Bidirectional Neuron Interface Systems with Feedback
Персонализация интерфейсов через глубокое обучение / Personalization of interfaces through deep learning	Применение новых типов мемристорных и нейроморфных чипов / Application of new types of memristor and neuromorphic chips
Рост практического применения нейроинтерфейсов / Growing practical applications of neural interfaces	Внедрение адаптивных алгоритмов машинного обучения / Implementation of adaptive machine learning algorithms
Разработка новых материалов и микроэлектроники / Development of new materials and microelectronics	Интеграция генеративного ИИ для автоматизации данных / Integrating generative of artificial intelligence for Data Automation
Актуализация решений по вопросам безопасности, этики и долговременной работы / Updating decisions on safety, ethics and sustainability	Ускорение работы систем ИИ и существенное повышение энергоэффективности нейроинтерфейсов / Acceleration of artificial intelligence systems and significant increase in energy efficiency of neural interfaces
Внедрение в реальные производственные процессы / Implementation in real production processes	Создание отечественных разработок с нейрообратной связью / Creation of domestic developments with neurofeedback

Ключевые направления развития и внедрения нейроинтерфейсов за 2024 г. характеризуются расширением практического применения автоматизации сельскохозяйственных процессов. Так, особенности интеграции неинвазивных технологий (около 87 % рынка) с

ИИ позволили проводить в реальном времени анализ больших объемов мозговых данных и адаптировать устройства согласно индивидуальным особенностям пользователя, что представляется особенно важным в решении сложных задач агроинженерии (управление техникой, мониторинг состояния операторов и др.). За счет персонализации нейроинтерфейсов под конкретного пользователя с помощью машинного обучения существенно увеличилась эффективность взаимодействия с агротехникой. В вопросах практического применения нейроинтерфейсов в реальных производственных процессах агросектора за анализируемый период наблюдается увеличение доли коммерциализации инновационных продуктов и автоматизации рутинных задач, способствующих компенсации нехватки рабочей силы и повышению производительности. Созданные биосовместимые, гибкие и мягкие электроды имеют немаловажное значение в обеспечении долговременной работы устройств, опосредованно применяемых в агроинженерии. Актуальность внедрения нейроинтерфейсов в реальные производственные процессы стимулировала поиск решений по этическим и социальным вопросам безопасности, приватности данных, а перспективы долговременной работы обуславливают разработку соответствующих норм и стандартов [16].

В 2025 г. по данным исследований применения нейроинтерфейсов акцент делается уже на качественный скачок. К примеру, расширение функциональности и энергоэффективности систем за счет внедрения двунаправленных нейронтерфейсов с обратной связью (системы считывающие сигналы мозга с обеспечением обратной связи пользователем) и применение новых типов мемристорных и нейроморфных чипов (мемристоры имитируют синапсы мозга, что при внедрении нейроморфного чипа позволяет сократить расход энергии, а мемристорные устройства способны воспроизводить синаптическую пластичность важную для ускорения интеграции нейронной сети). Данный аспект рассматривается как немаловажный фактор автономности распределенных сельскохозяйственных устройств в полевых условиях (IoT-устройства, автономные роботы, коботы, дроны, датчики, камеры, метеорологические станции и др.), где зачастую ресурсы питания ограничены. Преобразования обновления декодера мозговых волн и обучения пользователей дали значительный прирост в вопросах внедрения адаптивных алгоритмов двойной обратной связи машинного обучения в аграрной отрасли в целом, так скорость принятия решений выступает прорывной технологией относительно мониторинга ухода и продуктивности культур и сельскохозяйственных животных (распознавание заболеваний растений, обработка состояния животных, анализ изображения полей, прогнозирования урожая и свойств новых сортов, оптимизации агротехнических процессов и пр.) или улучшения сенсорного восприятия ориентирования робототехники и систем технического зрения (распознавание лиц, автомобильных номеров, сорняков, болезней растений, обработка физиологических сигналов животных, обработка аномалий, опасных ситуаций, угроз безопасности несанкционированного доступа и др.). Наблюдается рост общей динамики массового внедрения генеративного ИИ и моделей автоматизации данных, что опосредованно влияет на развитие практического применения нейроинтерфейсов. В целом по стране за последние несколько лет констатируется рост интереса к нейротехнологиям, в том числе ведется активная работа по разработке отечественных новых поколений нейроинтерфейсов обладающих двунаправленной и нейрообратной связью взаимодействия человека и техники, необходимо отметить, факт того, что несмотря на прохождение пилотной стадии всех экспериментальных проектов, которая обусловлена высокой стоимостью внедрения и требует значительных инвестиций для массового применения, а также сложностью согласования науки, техники и технологий они все же ведутся. К участникам отечественного рынка разработчиков нейроинтерфейсов можно отнести Bitronics Lab – создание набора сенсоров для конструктора «Юный нейро-моделист», компанию Neurobotics – разработан нейроинтерфейс для управления беспилотным летательным аппаратом, лаборатория «Промышленные системы потоковой обработки данных» центра НТИ СПбПУ совместно с компанией Линкус-формат – запуск открытой аппаратно-программной платформы для создания нейротренажеров и нейроинтерфейсов и др. В апреле 2025 года в Свердловской области стартовал проект «Нейророга» (стартап Neiry) при финансовой поддержке АО «Мира ай кэпитал», направлен на увеличение надоев и привеса биомассы за счет создания нейроинтерфейсов или инвазивных нейронных имплантатов, стимулирующих головной мозг коровы.

Преимущества и перспективы внедрения нейроинтерфейсов определяют осмысленные новые сферы применения технологий и на современном этапе выступают драйвером, стимулирующим инновационное развитие аграрного сектора и конкурентоспособность отечественных продуктов.

Заключение. Отмечено увеличение практического применения нейроинтерфейсов за рамками медицинских лабораторий и внедрение в реальные производственные процессы промышленности и сельского хозяйства (мониторинг состояния оператора, управление техникой, оптимизация труда и др.).

Установлено, что законодательная поддержка инновационной деятельности в Волгоградской области, согласно приоритетным инновационным направлениям развития регионов РФ за 2024-2025 гг., приходилась на цифровые и робототехнические решения в сельском хозяйстве, что на региональном уровне способствовало созданию благоприятных условий для развития и внедрения нейротехнологий в агросектор.

Обозначены основные проблемы комплексного применения нейроинтерфейсов в агроинженерии заключающиеся в особенностях интерпретации активности мозга (сложности расшифровки сигналов при условии одновременного анализа больших массивов данных), высокой стоимости внедрения (значительные инвестиции для массового применения), а также этических и социальных вопросах (открытость приватности, безопасности данных, потенциальных рисков, связанных с манипуляциями сознанием и пр.).

В связи с этим, можно сделать вывод: процесс внедрения и применения нейроинтерфейсов в агроинженерию подразумевает комплексный междисциплинарный подход. Однозначного заключения сегодня невозможно сделать, так как большинство вопросов сопряжено интеграционными связями совокупности смежных биотехнических нейронаук и полидетерминировано самим предметом исследования, при этом демонстрирует перспективное расширение области применения нейроинтерфейсов, выступая одним из условий цифрового развития и конкурентоспособности аграрного сектора, а также определяя потенциальные возможности повышения транспортной мобильности и продовольственной безопасности.

Conclusion. An increase in the practical application of neural interfaces outside of medical laboratories and their implementation in real production processes in industry and agriculture (monitoring the operator's condition, controlling equipment, optimizing labor, etc.) have been noted.

It was established that legislative support for innovative activities in the Volgograd region in accordance with the priority innovative areas of development of the regions of the Russian Federation for 2024-2025 fell on digital and robotic solutions in agriculture, which at the regional level contributed to the creation of favorable conditions for the development and implementation of neural technologies in the agricultural sector.

The main problems of the complex application of neural interfaces in agricultural engineering are identified, consisting of the peculiarities of interpreting brain activity (the complexity of decoding signals under the condition of simultaneous analysis of large arrays of data), the high cost of implementation (significant investments for mass application), as well as ethical and social issues (openness of privacy, data security, potential risks associated with manipulation of consciousness, etc.).

In this regard, it can be concluded that the process of implementation and application of neural interfaces in agricultural engineering implies a comprehensive interdisciplinary approach. It is impossible to make a clear conclusion today, since most of the questions are associated with integrative links between a set of related biotechnical neurosciences and are poly determined by the subject of the study itself, at the same time, it demonstrates a promising expansion of the scope of application of neural interfaces, acting as one of the conditions for digital development and competitiveness of the agricultural sector, and also identifying potential opportunities for increasing transport mobility and food security.

Библиографический список

1. О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года: указ Президента РФ от 7 мая 2024 г. № 309. Официальный сайт Минцифры. <https://digital.gov.ru/documents/ukaz-prezidenta-rossijskoj-federaczii-309>
2. Карандеев Д. Ю., Карандеева И. Ю., Бычкова И. А. О необходимости разработки современных неинвазивных нейрокомпьютерных интерфейсов. Научно-технический вестник Поволжья. 2023. № 4. С. 91-93.
3. Лебедев М. А. Сознание и душа: что добавляют нейроинтерфейсы? Труды кафедры богословия Санкт-Петербургской Духовной Академии. 2019. № 2 (4). С. 76-105.
4. Бриль Е. В., Шадеркина А. И., Ефимочкина С. М. и др. Инвазивные нейроинтерфейсы – области применения. Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения. 2024. Т. 10. № 2. С. 27-42.
5. Мирошниченко Ю. А., Гамаюнов П. П., Фомин С. Д. Цифровая трансформация агропромышленного комплекса. Известия НВ АУК. 2025. № 2 (80). С. 465-471.
6. Несмиянов И. А., Воробьева Н. С., Бочарников В. С., Иванов А. Г., Дяшкин-Титов В. В., Дяшкин А. В. Роботизированный модуль для укладки мульчирующей пленки и системы капельного орошения. Известия НВ АУК. 2024. № 5 (77). С. 352-360.
7. Лебедь Н. И., Цепляев В. А., Цепляев А. Н., Токарев К. Е., Фомин С. Д., Русаков Е. Г. Разработка алгоритма поведения и имитационное моделирование робототехнического устройства идентификации контаминации и удаления образцов при микрклональном размножении растений в условиях in vitro. Известия НВ АУК. 2025. № 1 (79). С. 393-402.
8. Ажгалиев Р. С., Воробьева Н. С., Иванов А. Г., Дяшкин А. В. Автоматизация технологического процесса высвобождения ростка из-под пленки с использованием мобильной роботизированной платформы. Известия НВ АУК. 2025. № 3 (81). С. 547-557.

9. Черняева А. В., Черняев М. А. Анализ ключевых аспектов научного обоснования стратегии цифрового развития агропромышленного комплекса и сельских территорий Волгоградской области. *Известия НВ АУК*. 2025. № 2 (80). С. 166-178.

10. Polenghi A., Cattaneo L., Macchi M. A framework for fault detection and diagnostics of articulated collaborative robots based on hybrid series modelling of Artificial Intelligence algorithms. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2025. № 35. Pp. 1929-1947.

11. Zhang S., Li S., Li X. et al. A Human-Robot Dynamic Fusion Safety Algorithm for Collaborative Operations of Cobots. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. 2022. № 104. 18.

12. Castillo-Girones S., Munera S., Martínez-Sober M., Blasco J., Cubero S., Gómez-Sanchis J. Artificial Neural Networks in Agriculture, the core of artificial intelligence: What, When, and Why. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2025. No 230. 109938.

13. Лунев Д. В., Поветыкин С. К., Кудрявцев Д. О. Нейроинтерфейсы: обзор технологий и современные решения. *Современные инновации, системы и технологии*. 2022. Т. 2. № 3. С. 117-126.

14. Ляпунцова Е. В., Белоусова Е. А. Нейроинтерфейсы и искусственный интеллект: применение и проблемы. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2024. № 7. С. 346-350.

15. Edelman B. J., Zhang S., Schalk G., Brunner P., Muller-Putz G., Guan C., He B. Non-Invasive Brain-Computer Interfaces: State of the Art and Trends. *IEEE Rev Biomed Eng*. 2025. No 18. Pp. 26-49.

16. Фирсов Д. Е., Ивашковская А. В. Разработка этических рекомендаций в области внедрения нейротехнологий. *Медицинская этика*. 2024. Т. 12. № 4. С. 4-8.

References

1. On the national development goals of the Russian Federation for the period up to 2030 and for the future up to 2036: Decree of the President of the Russian Federation of May 7, 2024 № 309. Official website of the Ministry of Digital Development. <https://digital.gov.ru/documents/ukaz-prezidenta-rossijskoj-federaczii-309>

2. Karandeev D. Yu., Karandeeva I. Yu., Bychkova I. A. On the need to develop modern non-invasive neurocomputer interfaces. *Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region*. 2023. № 4. Pp. 91-93.

3. Lebedev M. A. Consciousness and soul: what will neural interfaces add? *Proceedings of the Department of Theology of the St. Petersburg Theological Academy*. 2019. № 2(4). Pp. 76-105.

4. Bril E. V., Shaderkina A. I., Efimochkina S. M. et al. Invasive neural interfaces - areas of application. *Russian Journal of Telemedicine and Electronic Health*. 2024. Vol. 10. No 2. Pp. 27-42.

5. Miroshnichenko Yu. A., Gamayunov P. P., Fomin S. D. Digital transformation of the agro-industrial complex. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp*. 2025. No 2 (80). Pp. 465-471.

6. Nesmiyanov I. A., Vorob'eva N. S., Bochamnikov V. S., Ivanov A. G., Dyashkin-Titov V. V., Dyashkin A. V. Robotic module for mulch film laying and drip irrigation system. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp*. 2024. No 5 (77). Pp. 352-360.

7. Lebed N. I., Tseplyaev V. A., Tseplyaev A. N., Tokarev K. E., Fomin S. D., Rusakov E. G. The development of the behavior algorithm and simulation of the robotic device for identification of contamination and removal of samples in microclonal reproduction of plants in vitro. *Proc. of the Lower Volga AgroUniversity Comp*. 2025. No 1 (79). Pp. 393-402.

8. Azhgaliev R. S., Vorobyeva N. S., Ivanov A. G., Dyashkin A. V. The automation of the technological process of releasing the sprout from under the film using the mobile robotic platform. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp*. 2025. No 3 (81). Pp. 547-557

9. Chernyaeva A. V., Chernyaev M. A. The analysis of key aspects of the scientific substantiation of the strategy for the digital development of the agro-industrial complex and rural areas of the Volgograd region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp*. 2025. No 2 (80). Pp. 166-178.

10. Polenghi A., Cattaneo L., Macchi M. A framework for fault detection and diagnostics of articulated col-laborative robots based on hybrid series modelling of Artificial Intelligence algorithms. *Journal of Intelligent Manufac-turing*. 2025. № 35. Pp. 1929-1947.

11. Zhang S., Li S., Li X. et al. A Human-Robot Dynamic Fusion Safety Algorithm for Collaborative Operations of Cobots. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. 2022. V. 104. 18.

12. Castillo-Girones S., Munera S., Martínez-Sober M., Blasco J., Cubero S., Gómez-Sanchis J. Artificial Neural Networks in Agriculture, the core of artificial intelligence: What, When, and Why. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2025. V. 230. 109938.

13. Lunev D. V., Poletikin S. K., Kudryavtsev D. O. Neural interfaces: a review of technologies and modern solutions. *Modern innovations, systems and technologies*. 2022. Vol. 2. No 3. Pp. 117-126.

14. Lyapunova E. V., Belousova E. A. Neural interfaces and artificial intelligence: applications and problems. *Bulletin of Tula State University. Technical sciences*. 2024. No 7. Pp. 346-350.

15. Edelman B. J., Zhang S., Schalk G., Brunner P., Muller-Putz G., Guan C., He B. Non-Invasive Brain-Computer Interfaces: State of the Art and Trends. *IEEE Rev Biomed Eng*. 2025. № 18. Pp. 26-49.

16. Firsov D. E., Ivashkovskaya A. V. Development of ethical guidelines in the field of implementation of neuro-technologies. *Medical Ethics*. 2024. Vol. 12. № 4. Pp. 4-8.

Информация об авторах

Черняева Анна Валерьевна, кандидат психологических наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9830-1044>, e-mail: AMBA81@mail.ru

Черняев Матвей Александрович, лаборант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: cllac@bk.ru

Authors' Information

Chernyaeva Anna Valerievna, Candidate of Psychological Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9830-1044>, email: AMBA81@mail.ru

Chernyaev Matvey Aleksandrovich, laboratory assistant, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: cllac@bk.ru

ROBOTIC SEEDER FOR THE SOWING GRAIN EARS

Chulkov A. S., Borzenko S. I., Gerasimenko S. A., Moskovskiy M. N., Khamuev V. G.

Federal Scientific Agro-engineering Center VIM
Moscow, Russian Federation

Corresponding author E-mail: andrei.chulkov@mail.ru

Received 25.06.2025

Submitted 20.08.2025

The studies were carried out as part of the topics for the implementation of the state assignment FGUN-2025-0007 "Develop scientific foundations for the creation of digital intelligent control systems for technologies, processes, innovative technical means for breeding, seed production and production of grain, leguminous and oil crops".

Summary

The article develops a design scheme and operating algorithm for a 3-row robotic selection seeder. The parameters of feeding cassettes with ears using a robot for feeding seed material and the parameters of the air flow created by a fan for pushing ears in the ear duct were determined, and the patterns of the relationship between the technical parameters of the seeder and the technology of sowing grain crops with ears were established.

Abstract

Introduction. To perform the technology of sowing selection of grain crops, manual labor or selection seeders are used. In connection with the development of selection equipment for sowing in the direction of robotization, in order to improve the quality of sowing and reduce the labor intensity of work, it is necessary to improve the selection seeder for sowing grain with ears. **Object.** Scheme, operating algorithm and determine the design and technological parameters of a robotic seeder for sowing grain crops in ears. **Materials and methods.** A robotic seed drill for sowing grain crops in ears is developed on the basis of a robot for feeding seed material manufactured in accordance with GOST R 60.0.0.4-2023. **Results and discussion.** The design scheme and the algorithm of operation of a 3-row robotic selection seeder have been developed. The parameters of feeding cassettes with ears using a robot for feeding seed material and the parameters of the air flow created by a fan for pushing ears in the ear duct have been determined. **Conclusions.** The feed rate of the cassettes with ears (the speed of the actuator rod extension) at a distance between the ears of 0.4 m has a linear dependence and varies from 0.042 to 0.084 m/s depending on the operating speed of the seeder. The recommended air flow rate varies from 10.41 m/s to 36.08 m/s. The recommended diameter of the ear duct is from 0.03 to 0.04 m. The developed 3-row robotic selection seeder will contribute to increased productivity, reduced labor intensity in sowing grain crops with ears while ensuring the purity of the variety.

Keywords: robots for seed feeding, sowing of grain crops, leguminous crops, breeding cassette seeders, robotic cassette loading devices.

Citation. Chulkov A. S., Borzenko S. I., Gerasimenko S. A., Moskovskiy M. N., Khamuev V. G. Robotic seeder for the sowing grain ears. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 602-610 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-65.

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

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

УДК 631.331

РОБОТИЗИРОВАННАЯ СЕЯЛКА ДЛЯ ПОСЕВА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР КОЛОСЬЯМИ

Чулков А. С., кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

Борзенко С. И., младший научный сотрудник

Герасименко С. А., кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Московский М. Н., профессор РАН, доктор технических наук, главный научный сотрудник

Хамуев В. Г., кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»
г. Москва, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках выполнения темы государственного задания FGUN-2025-0007 «Разработать научные основы создания цифровых интеллектуальных систем управления технологическими процессами, инновационные технические средства для селекции, семеноводства и производства зерновых, зернобобовых и масличных культур».

В статье разработаны конструкционная схема и алгоритм работы 3-хрядной роботизированной селекционной сеялки. Определены параметры подачи кассет с колосьями при помощи робота для подачи семенного материала и параметры воздушного потока, создаваемого вентилятором для проталкивания колосьев в колосопроводе, установлены закономерности взаимосвязи технических параметров сеялки с технологией посева зерновых культур колосьями.

Актуальность. Для выполнения технологии посева зерновых культур применяют ручной труд или селекционные сеялки. В связи с развитием селекционной техники для посева в направлении роботизации, в целях повышения качества посева и снижения трудоемкости работ, необходимо совершенствование селекционной сеялки для посева зерновых колосьями. **Объект.** Конструкционная схема, алгоритм работы и конструкционно-технологические параметры роботизированной сеялки для посева зерновых культур колосьями. **Материалы и методы.** Роботизированная сеялка для посева зерновых культур колосьями разработана на основе робота для подачи семенного материала выполненного в соответствии ГОСТ Р 60.0.0.4-2023. **Результаты обсуждений.** Разработаны конструкционная схема и алгоритм работы 3-хрядной роботизированной селекционной сеялки. Определены параметры подачи кассет с колосьями при помощи робота для подачи семенного материала и параметры воздушного потока, создаваемого вентилятором для проталкивания колосьев в колосопроводе. **Выводы.** Скорость подачи кассет с колосьями (скорость выдвижения штока актуатора) при расстоянии между колосьями 0,4 м имеет линейную зависимость и изменяется от 0,042 до 0,084 м/с в зависимости от рабочей скорости движения сеялки. Рекомендуемая скорость воздушного потока варьируется от 10,41 м/с до 36,08 м/с. Рекомендуемый диаметр колосопровода от 0,03 до 0,04 м. Разработанная 3-хрядная роботизированная селекционная сеялка будет способствовать повышению производительности, снижению трудоемкости на посеве зерновых культур колосьями при обеспечении чистоты сорта.

Ключевые слова: роботы для подачи семян, посев зерновых культур, зернобобовые культуры, селекционные кассетные сеялки, роботизированные кассетные загрузочные устройства.

Цитирование. Чулков А. С., Борзенко С. И., Герасименко С. А., Московский М. Н., Хамуев В. Г. Роботизированная сеялка для посева зерновых культур колосьями. *Известия НВ АУК*. 2025. 6(84). 602-610. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-65.

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 условиях импортозамещения и в связи с развитием селекционной техники для посева в направлении роботизации, в целях повышения качества посева и снижения трудоемкости работ, необходимо совершенствование селекционной сеялки для посева зерновых колосьями [1-3].

Для выполнения технологии посева на 2-м и 3-м этапах селекции, сортоиспытания и первичного семеноводства при посеве зерновых культур колосьями применяют ручной труд или селекционные сеялки с ленто-кассетным и диско-кассетным высевальными устройствами [5-6].

Сеялка с ленто-кассетным высевальным устройством многорядная, ленто-кассетное устройство сложно и может приводить к застреваниям и сбою технологического процесса. Однорядная сеялка с диско-кассетным высевальным устройством ручная. Данные сеялки имели механический привод высевального аппарата.

Разработка и применение новых селекционных сеялок с роботизацией технологического процесса посева зерновых культур колосьями должно способствовать более качественному выполнению посева зерновых культур, уменьшению трудоёмкости и росту производительности на посеве делянок, а также улучшению чистоты сорта культур.

Цель исследования – разработать роботизированную селекционную сеялку для посева зерновых культур колосьями и обосновать параметры её работы.

Материалы и методы. Разработка схемы роботизированной селекционной сеялки для посева зерновых культур колосьями с роботом для подачи семенного материала (РПС), выполненным в соответствии с ГОСТ Р 60.0.0.4-2019. Обоснование конструктивно-технологических параметров сеялки для посева колосьями с применением физико-математических зависимостей. Параметры многорядного посева исходя из площади питания растения, следующие – ширина междурядья 0,3-0,45 м, расстояние между колосьями в одном ряду 0,3-0,4 м [4].

Результаты и обсуждение. В связи с развитием селекционной техники для посева в направлении роботизации, в целях повышения качества посева и снижения трудоемкости работ, необходимо совершенствование селекционной сеялки для посева колосьями на 2-м и 3-м этапах работ [7-9].

Известен робот для подачи семян (РПС) карусельного типа (патент РФ на изобретение № 2837393 от 31.03.2025 г.).

Предложено усовершенствовать РПС карусельного типа и использовать устройство на 2-м и 3-м этапах селекционных работ для подачи колосьев зерновых культур [10-12].

Исходя из ширины междурядий 0,3-0,45 м при колосовом посеве и конструкции РПС принимаем количество рядов разрабатываемой сеялки – 3. При этом ширина захвата сеялки будет составлять 0,9-1,35 м.

Количество ячеек кассеты должно соответствовать количеству рядов. Ширина $B = 0,06$ м и длина $A = 0,215$ м кассеты соответствует ранее применяемым кассетам в сеялках с РКЗУ и РПС [13-14], высота должна соответствовать стандартной высоте колосьев зерновых культур $H = 0,15$ м.

Схема роботизированной селекционной сеялки для посева зерновых культур колосьями представлена на рисунке 1.

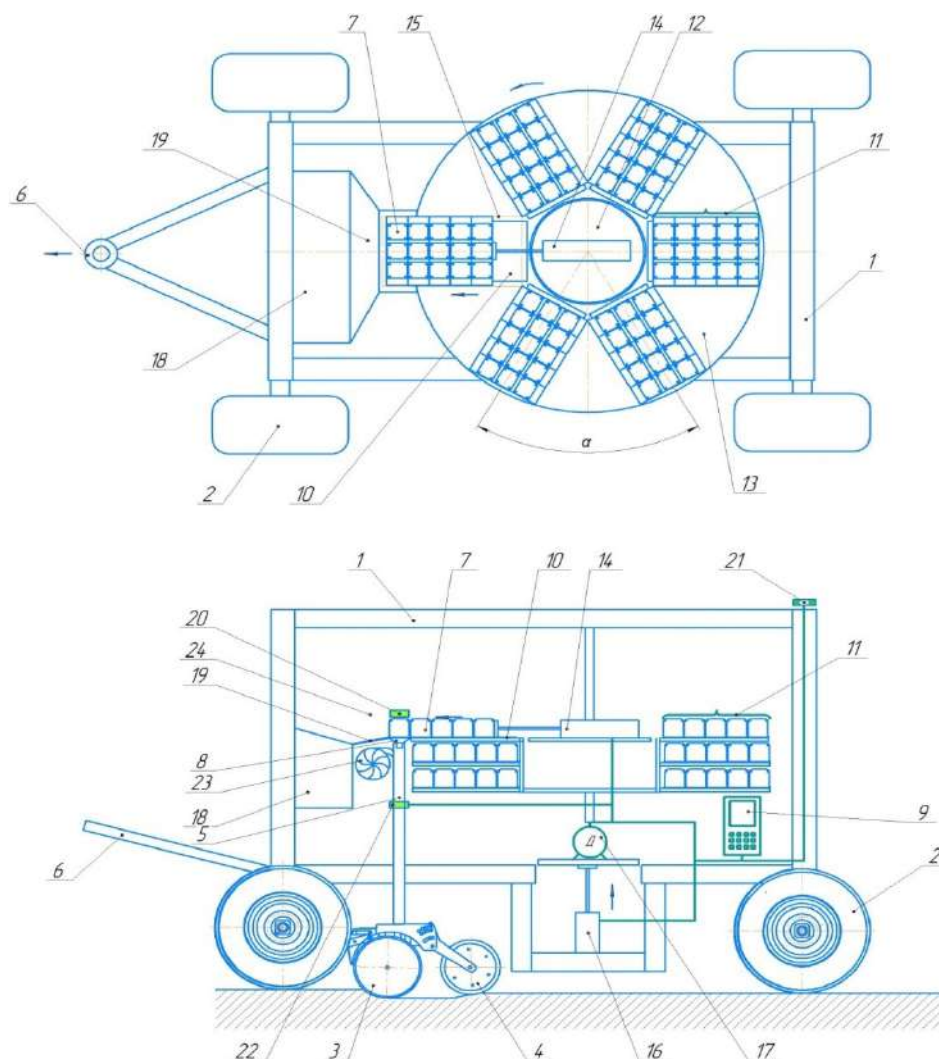


Рисунок 1 – Схема роботизированной селекционной сеялки с РПС карусельного типа (вид сверху и сбоку)

1 – рама; 2 – опорно-приводное колесо; 3 – сошник; 4 – заделывающе-прикатывающее устройство; 5 – колосопровод; 6 – сница; 7 – кассета с ячейками для высеваемого материала; 8 – распределитель; 9 – блок управления; 10 – направляющая пластина; 11 – блок кассет; 12 – центральная неподвижная платформа; 13 – внешняя подвижная платформа; 14 – актуатор; 15 – рабочая зона перемещения кассет; 16 – дополнительный актуатор; 17 – шаговый электродвигатель; 18 – контейнер для сбора пустых кассет; 19 – наклонный лоток для спуска пустых кассет; 20 – датчик положения кассет; 21 – энкодер; 22 – датчиком пролета семян; 23 – вентилятор

Figure 1 – Scheme of robotic selection seeder with SFR of carousel type (top and side views)
1 – frame; 2 – support-drive wheel; 3 – opener; 4 – closing device; 5 – spike duct; 6 – snitch; 7 – cassette with cells for the material to be sown; 8 – distributor; 9 – control unit; 10 – guide plate; 11 – cassette block; 12 – central fixed platform; 13 – external movable platform; 14 – actuator; 15 – working area for moving cassettes; 16 – additional actuator; 17 – stepper motor; 18 – container for collecting empty cassettes; 19 – inclined tray for lowering empty cassettes; 20 – cassette position sensor; 21 – encoder; 22 – seed flight sensor; 23 – fan

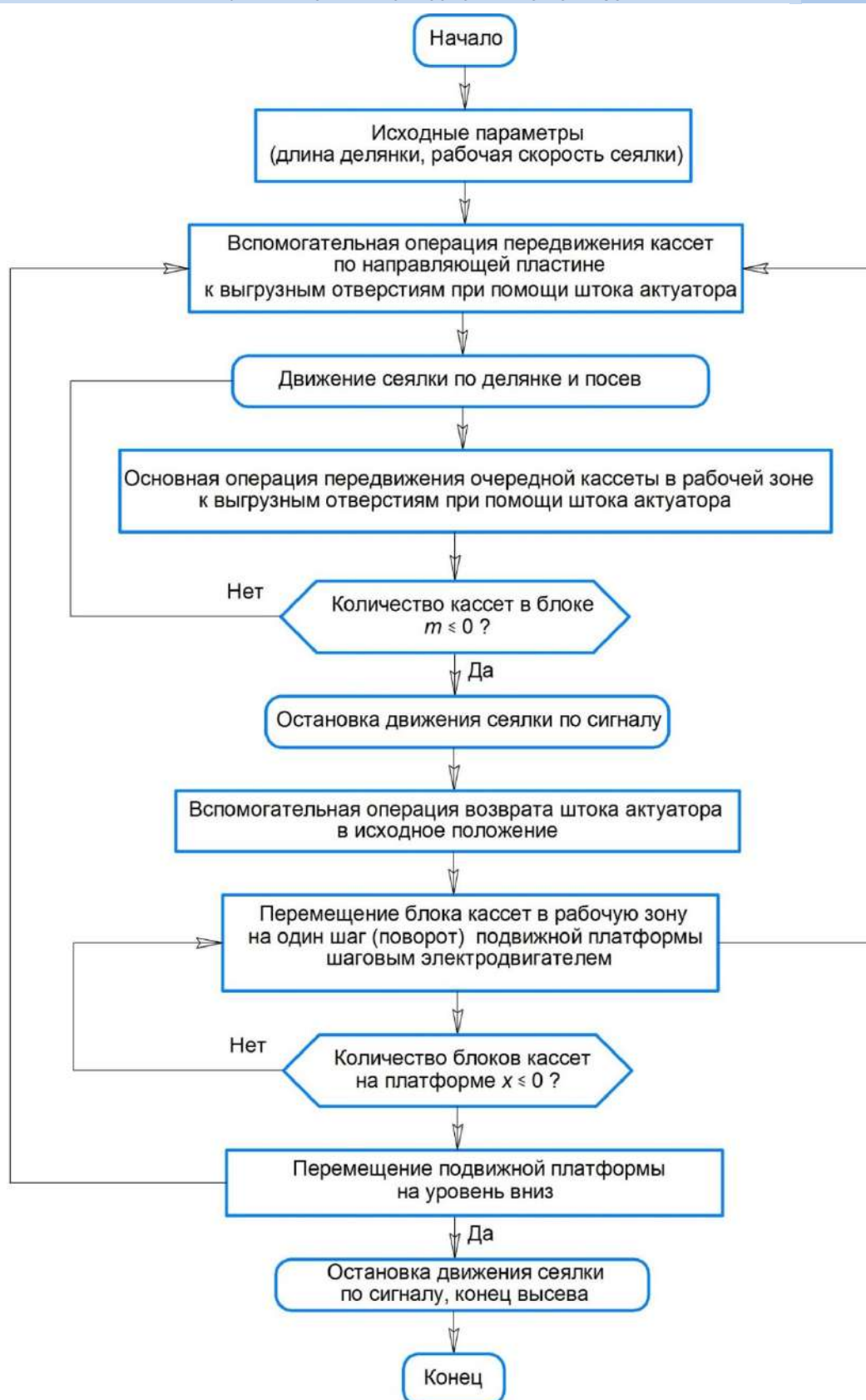


Рисунок 2 – Алгоритм работы сеялки с РПС карусельного типа
 Figure 2 – Operating algorithm of a seeder with a SFR rotary seed drill

Сеялка содержит раму 1, выполненную с опорными колесами 2. На раме 1 размещены анкерные клиновидные сошники 3 с заделывающим устройством 4, колосопровод 5, сница 6 и робот для подачи семенного материала (РПС) карусельного типа.

РПС карусельного типа, выполненное в соответствии с ГОСТ Р 60.0.0.4–2023/ISO 8373:2012 и представляет собой стационарный промышленный (сельскохозяйственный) робот, звенья манипулятора которого работают по 3-м степеням подвижности: поступательное движение – для перемещения кассет в направлении распределителя, вращательное – для перемещения блоков кассет, поступательное движение – для перемещения подвижной платформы вертикально.

РПС карусельного типа содержит манипулятор с контроллером для перемещения кассет 7 с колосьями к направляющему распределителю 8 с выгрузными отверстиями под контролем блока управления 9.

Объектом перемещения является колос зерновых культур, помещенный в ячейки кассеты 7 с пазами, которые последовательно надеты на направляющую пластину 10 и образуют блок кассет 11.

Центральная неподвижная платформа 12 и внешняя подвижная многоуровневая платформы 13 расположены на раме 6.

На центральной неподвижной платформе 12 установлен актуатор 14 на противоположной от распределителя 8 стороне в рабочей зоне 15 перемещения кассет 1.

Под многоуровневой подвижной платформой 13 установлен дополнительный актуатор 16, который служит для ее поднимания на один уровень вверх в рабочую зону 15.

На каждом уровне внешней подвижной платформы 13, приводимой в движение шаговым электродвигателем 17, устанавливаются по окружности и фиксируют блоки кассет 11.

Контейнер 18 с наклонным лотком 19 предназначен для сбора пустых кассет 7 и установлен на раме 1 за распределителем 8.

Над первой в очереди кассетой 7 в рабочей зоне 15 располагается датчик положения 20 кассет 7.

Блок управления 9 обеспечивает согласование подачи семенного материала манипулятором РКЗУ со скоростью движения сеялки посредством использования данных, поступающих от энкодера 21, размещенного, на опорном колесе 2.

Отслеживание подачи колоса в колосопровод 5 осуществляет размещенный на нем датчик пролета 22 семенного материала.

Под наклонным лотком 19 расположен прикрепленный к раме 1 вентилятор 23, соединенный патрубками с колосопроводом 5.

Направляющий распределитель 8 с вентилятором 23 образуют пневматический высевающий аппарат.

Роботизированная сеялка с РПС карусельного типа работает в соответствии с алгоритмом (рисунк 2) следующим образом.

Сеялку с кассетами заправленными колосьями, достаточным для посева селекционного участка, агрегируют с трактором при помощи сницы 6 и подводят к началу делянки.

Оператор-тракторист включает блок управления 18, вводит параметры делянки и междурядной полосы, и сеялка начинает работу.

РПС выполняет первую вспомогательную операцию по перемещению кассеты 7 штоком актуатора 14 в направлении распределителя 8, при этом колосья из ячеек первой в очереди кассеты 7 выпадают в выгрузные отверстия направляющего распределителя 8. Пустая кассета 7 сходит по наклонному лотку 19 и попадает в контейнер 20.

Далее сеялка движется по селекционному участку и осуществляет посев.

С помощью энкодера 21, отслеживающего перемещение сеялки по селекционному участку, в соответствии со скоростью движения сеялки блок управления 5 регулирует скорость перемещения кассет 7 по направляющей пластине 10 в рабочей зоне 15. Шток актуатора 14 выдвигается и последовательно, под контролем блока управления 18, перемещает по направляющей пластине 10 кассеты 7 с колосьями к распределителю 8. Все последующие пустые кассеты 7 также попадают в контейнер 20 по наклонному лотку 19.

Скорость подачи кассет 7 с колосьями в рабочей зоне 15 определяется по формуле:

$$v_{пк} = B \cdot v_c / L_k, \quad (1)$$

где B – ширина кассеты, м, $B=0,06$ м; v_c – рабочая скорость движения сеялки м/с, для кассетных сеялок рекомендуемая рабочая скорость v_c варьируется от 1,15 до 1,5 км/ч, для расчёта и проведения исследований принимаем интервал v_c от 1,0 до 2,0 км/ч (0,28 до 0,56 м/с); L_k – расстояние между соседними колосьями в одном рядке, м принимаем 0,4 м. При этом для 5-ти кассетного блока применяемого в рассматриваемой конструкции сеялки с РПС длина делянки составит 2 м.

После подстановки в выражение (1) исходных данных, в результате расчёта получили данные скорости подачи кассет с колосьями при рабочей скорости движения, которые отражены в графике на рисунке 3.

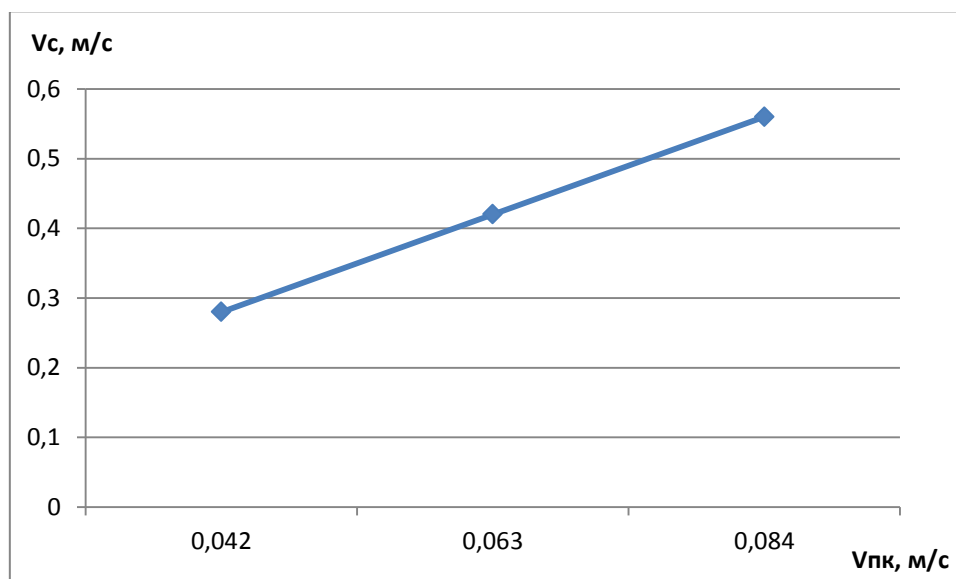


Рисунок 3 – Скорость подачи кассет с колосьями РПС при рабочей скорости движения сеялки
Figure 3 – Speed of feeding cassettes with SFR ears at the operating speed of the seeder

Скорость подачи кассет с колосьями (скорость выдвигания штока актуатора) при расстоянии между колосьями 0,4 м имеет линейную зависимость и изменяется от 0,042 до 0,084 м/с в зависимости от рабочей скорости движения сеялки.

Далее колосья под воздействием силы тяжести падают по колосопроводу 5. Проведенными лабораторными исследованиями определен минимальный диаметр 0,03 м прямолинейного колосопровода длиной до 1 м. При меньшем значении колосья начинают застревать, цепляясь остями за стенки колосопровода. Для изогнутого колосопровода диаметра 0,03 м тоже недостаточно, т.к. 20 % колосьев на перегибах колосопровода тоже застревают. Для решения проблемы предложено предотвратить застревание колосьев при помощи проталкивания их воздушным потоком создаваемым вентилятором 23.

По команде блока управления 18 включается вентилятор 23, воздушный поток поступает в колосопровод 5 и движется в направлении сошника 3.

Для расчета скорости воздушного потока, необходимой для выноса колоса пшеницы, используется формула скорости витания, которая основана на балансе сил, действующих на тело в воздушном потоке.

Скорость витания колоса пшеницы в колосопровode в направление сошника определяется из уравнения (2):

$$V_K = \sqrt{\frac{2mg}{\rho A C_d}} \quad (2)$$

где: m – средняя масса колоса зерновых культур, 0,002 кг; ρ_z , $\rho_{воз}$ – плотность зерна, 1400 кг/м³ и плотность воздуха, 1,2 кг/м³ соответственно; C_d – коэффициент сопротивления среды, для сферических частиц он составит 0,47 (представим колос цилиндрической формы, для упрощения расчета).

В соответствии с уравнением 2 средняя скорость витания для колоса пшеницы ≈ 14,73 м/с, с учетом приведенных выше параметров [15-17]. В связи с этим следует установить скорость не менее v_{min} 10,41 м/с, а максимальную скорость определить согласно стандартным показателям v_{max} 36,08 м/с, этого диапазона скоростей будет достаточно для выноса колоса с диаметром от 0,01 м до 0,03 м.

Для расчета расхода воздуха через вентилятор при заданном диаметре колосопровода, нужно учитывать скорость воздушного потока и площадь поперечного сечения трубы. Расход воздуха Q можно рассчитать по формуле (3):

$$Q = A \times V_k \quad (3)$$

где Q – расход воздуха (в $\text{м}^3/\text{с}$); A – площадь поперечного сечения колосопровода (примем минимальный диаметр, полученный в результате экспериментов) (в м^2); V – скорость воздушного потока $14,73 \text{ м/с}$ (в м/с); Q – расход воздуха вентилятора. В выбранном вентиляторе расход воздуха равнялся $0,0033 \text{ м}^3/\text{с}$.

Для определения максимального диаметра колосопровода, воспользуемся уравнением (4):

$$d_k = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} \quad (4)$$

где Q – расход воздуха вентилятора. В выбранном по каталогу вентиляторе расход воздуха $Q = 0,019 \text{ м}^3/\text{с}$.

Таким образом, исходя из лабораторных и теоретических исследований рекомендуемый внутренний диаметр колосопровода d_k от $0,02$ до $0,05 \text{ м}$.

Для разработки экспериментального образца будет использоваться внутренний диаметр колосопровода – $0,04 \text{ м}$.

Из распределителя 8 колосья равномерно перемещаются в колосопровод 5 и далее в борозду, образованную анкерным клиновидным сошником 3.

Задельвающие-выравнивающие устройства 4, выполненные в виде прикатывающих катков, засыпают рыхлой почвой колосья в борозде, разравнивают поверхность почвы и обеспечивают ее легкое уплотнение.

После схода с направляющей пластины 10 всех кассет 7 срабатывает датчик положения кассет 23, подается сигнал, и сеялка останавливается, по команде блока управления 18. Выполняется вторая вспомогательная операция – шток актуатора 14 возвращается в исходное положение. Для подачи нового блока кассет 11 шаговый электродвигатель 16 поворачивает внешнюю подвижную платформу 13 на угол α , который зависит от количества блоков кассет 11, установленных на подвижной платформе 13. При этом следующий кассетный блок 11 перемещается в рабочую зону 15.

Далее операции подачи кассет 7 и перемещения кассетных блоков 11 повторяются.

После освобождения на текущем уровне подвижной платформы 13 всех кассетных блоков 11 кассет 1 от колосьев блок управления 9 подает сигнал о необходимости перемещения платформы 13 с блоками кассет 11 на один уровень вверх при помощи дополнительного актуатора 16.

Процессы подачи кассет 1 с колосьями к распределителю 8, блоков кассет 11 в рабочую зону 15 и перемещения подвижной платформы 13 с установленными на ней блоками кассет 11 на уровень вверх продолжают до тех пор, пока на подвижной платформе 13 не останется ни одной кассеты 1 с колосьями.

При отсутствии пролета колоса через колосопровод 5 срабатывает датчик пролета 22, и передается через блок управления 18 сигнал об остановке сеялки до выяснения и устранения причины непрохождения колоса.

После прохождения всех кассет 7 с колосьями через датчик положения 20 блок управления 18 подает сигнал об окончании работы сеялки.

Разработанная 3-х рядная роботизированная селекционная сеялка для посева зерновых культур колосьями рекомендуется применять на селекционном посеве с длиной деланки 2 м . Определены параметры скорости подачи колосьев в кассетах при посеве от $0,042$ до $0,084 \text{ м/с}$ в зависимости от рабочей скорости движения сеялки от 1 до 2 км/ч . Рекомендуемая скорость воздушного потока в колосопроводе варьируется от $10,41 \text{ м/с}$ до $36,08 \text{ м/с}$. Определен рекомендуемый диаметр колосопровода от $0,03$ до $0,04 \text{ м}$. Применение сеялки создаст предпосылки для повышения производительности выполнения основной операции посева зерновых культур колосьями, снижения трудоемкости, а также сохранению чистоты сорта.

Заключение. Разработаны конструкционная схема и алгоритм работы 3-хрядной роботизированной селекционной сеялки. Определены параметры подачи кассет с колосьями при помощи робота для подачи семенного материала и параметры воздушного потока, создаваемого вентилятором для проталкивания колосьев в колосопроводе. Скорость подачи кассет с колосьями (скорость выдвижения штока актуатора) при расстоянии между колосьями $0,4 \text{ м}$ имеет линейную зависимость и изменяется от $0,042$ до $0,084 \text{ м/с}$ в зависимости от рабочей скорости движения сеялки. Рекомендуемая скорость воздушного потока варьируется от $10,41 \text{ м/с}$ до

36,08 м/с. Рекомендуемый диаметр колосопровода от 0,03 до 0,04 м. Разработанная 3-рядная роботизированная селекционная сеялка будет способствовать повышению производительности, снижению трудоемкости на посеве зерновых культур колосьями при обеспечении чистоты сорта.

Conclusion. The design scheme and the algorithm of operation of a 3-row robotic selection seeder have been developed. The parameters of feeding cassettes with ears using a robot for feeding seed material and the parameters of the air flow created by a fan for pushing ears in the ear duct have been determined. The feed rate of the cassettes with ears (the speed of the actuator rod extension) at a distance between the ears of 0.4 m has a linear dependence and varies from 0.042 to 0.084 m/s depending on the operating speed of the seeder. The recommended air flow rate varies from 10.41 m/s to 36.08 m/s. The recommended diameter of the ear duct is from 0.03 to 0.04 m. The developed 3-row robotic selection seeder will contribute to increased productivity, reduced labor intensity in sowing grain crops with ears while ensuring the purity of the variety.

Библиографический список

1. Измайлов А. Ю. Интеллектуальные технологии и роботизированные средства в сельскохозяйственном производстве. Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89. № 5. С. 536–538.
2. Бейлис В. М., Ценч Ю. С., Коротченя В. М., Старовойтов С. И., Кынев Н. Г. Тенденции развития прогрессивных машинных технологий и техники в сельскохозяйственном производстве. Вестник ВИЭСХ. 2018. № 4 (33). С. 150-156.
3. Московский М. Н., Смирнова Ю. Л. Разработка интерфейса и программного обеспечения для реализации системы автоматического высева. Инженерный вестник Дона. 2019. № 7 (58). С. 17.
4. Шайхов М. К., Жалнин Э. В., Шайхов М. М., Блохин В. И. К разработке селекционной сеялки для посева зерновых культур колосьями. Вестник ВИЭСХ. 2018. № 3 (32). С. 114-120.
5. Шайхов М. М., Чулков А. С., Подзоров А. В. и др. Разработка однорядной сеялки с диско-кассетным высевальным устройством для посева зерновых культур колосьями. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. Т. 17. № 2. С. 82-88.
6. Чаплыгин М. Е., Шайхов М. М., Чулков А. С., Подзоров А. В. Определение показателей ленто-кассетного высевального устройства для селекционного посева зерновых культур колосьями. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16. № 2. С. 56-61.
7. Ценч Ю. С., Несмиян А. Ю., Хомутова Н. С. История развития конструкции высевальных аппаратов зерновых сеялок. Вопросы истории естествознания и техники. 2020. Т. 41. № 1. С. 102-117.
8. Лачуга Ю. Ф., Измайлов А. Ю., Лобачевский Я. П. и др. Научно-технические достижения агроинженерных научных учреждений для производства основных групп сельскохозяйственной продукции. Техника и оборудование для села. 2021. № 4 (286). С. 2-11.
9. Чулков А. С., Шайхов М. М., Чаплыгин М. Е., Текушев А. Х. Кассетные загрузочные устройства для высевальных аппаратов селекционных сеялок // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2023. Т. 70. № 2 (51). С. 74-81.
10. Ценч Ю. С. Тенденции и перспективы развития отечественной техники для посева зерновых культур. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. № 3. С. 45-52.
11. Cheng X. P., Li H. W., He J., Wang Q. J., Lu C. Y., Wang Y. B., et al. Optimization of operating parameters of seeding device in plot drill with seeding control system. Int J Agric & Biol Eng. 2021. No 14 (3). Pp. 83-91.
12. Лобачевский Я. П., Дорохов А. С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т. 15. № 4. С. 6-10.
13. Чулков А. С., Чаплыгин М. Е., Шайхов М. М. Роботизированное кассетное загрузочное устройство карусельного типа для селекционной сеялки. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17. № 3 (82). С. 99-107.
14. Чулков А. С., Шибряева Л. С. Параметры кассеты для роботизированного загрузочного устройства селекционной сеялки. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2024. Т. 18. № 2. С. 92-97.
15. Евченко А.В. Анализ физико-механических свойств семян зерновых культур. Вестник КрасГАУ. 2016. № 8 (119). С. 144-149.
16. Нуруллин Э. Г., Зайнутдинов И. Р., Файзуллин Р. А. Пневмозагрузочное устройство для мобильных протравителей семян зерновых культур. Нива Поволжья. 2021. № 3 (60). С. 142-151.
17. Борзенко С. И., Герасименко С. А. Обоснование основных признаков сепарации зерна пшеницы для выделения биологически ценных семян. Научная жизнь. 2020. Т. 15. № 2 (102). С. 227-233.

References

1. Izmailov A. Yu. Intelligent technologies and robotic means in agricultural production // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2019. No 89 (2). Pp. 209-210.
2. Beylis V. M., Tsench Yu. S., Korotchenya V. M., Starovoytov I. S., Kynev N. G. Trends in the development of advanced machine technologies and techniques in agricultural production. Vestnik VIESH. 2018. N 4 (33). Pp. 150-156.
3. Moskovskiy M. N., Litvinov M. A., Smirnova Ju. L. Development of an interface and software for the implementation of an automatic seeding system. Engineering journal of Don. 2019. N 7 (58). С. 17.
4. Shaikhov M. K., Zhainin E. V., Shaikhov M. M., Blokhin V. I. To development of selection seeder for sowing grain cultures by ears. Vestnik VIESH. 2018. - No 3 (32). Pp. 114-120.
5. Shaikhov M. M., Chulkov A. S., Podzorov A. V. et al. Development of a single-row ear seeder equipped with a disk-cassette sowing device. Agricultural Machinery and Technologies. 2023. Vol. 17. No 2. Pp. 82-88.
6. Chaplygin M. E., Shaikhov M. M., Chulkov A. S., Podzorov A. V. Specifying the indicators of a breeding tape-cassette sowing device for sowing grain crops by ears. Agricultural Machinery and Technologies. 2022. V. 16. No 2. Pp. 56-61.

7. Tsench Yu. S., Nesmiyan A. Yu., Khomutova N. S. The history of development of seed-feeding devices on grain drills. Studies in the history of science and technology 2020. V. 41. N. 1. Pp. 102-117.
8. Lachuga Yu. F., Izmailov A. Yu., Lobachevsky Ya. P. et al. Scientific and technical results of agro-engineering scientific institutions for the production of main groups of agricultural products. Machinery and equipment for rural area. 2021. N 4 (286). Pp. 2-11.
9. Chulkov A. S., Shaykhov M. M., Chaplygin M. E., Tekushev A. H. Cassette loading units for hanging devices of breeding seeders. Electrical engineering and electrical equipment in agriculture. 2023. V. 70. N 2 (51). Pp. 74-81.
10. Nesmiyan A. Yu., Tsench Yu. S. Tendencies and prospects for the development of domestic machinery for sowing grain crops. Agricultural machinery and technologies. 2018. V. 12. N 3. Pp. 45-52.
11. Cheng X. P., Li H. W., He J., Wang Q. J., Lu C. Y., Wang Y. B., et al. Optimization of operating parameters of seeding device in plot drill with seeding control system. Int J Agric & Biol Eng. 2021. No 14 (3). Pp. 83-91.
12. Lobachevsky Ya. P., Dorokhov A. S. Digital technologies and robotic devices in the agriculture. Agricultural machinery and technologies. 2021. N 15 (4). Pp. 6-10.
13. Chulkov A. S., Chaplygin M. E., Shaykhov M. M. Carousel type robotic cassette loading device for breeding seeder. Vestnik of Voronezh State Agrarian University. 2024. N 17 (3). Pp. 99-107.
14. Chulkov A. S., Shibryaeva L. S. Parameters of a robotic loading device for selection seeder. Agricultural Machinery and Technologies. 2024. N 18 (2). Pp. 92-97.
15. Evchenko A. V. Analysis of physical and mechanical properties of grain crops seeds. Bulletin KSAU. 2016. № 8 (119). Pp. 144-149.
16. Nurullin E. G., Zainutdinov I. R., Faizullin R. A. Pneumatic loading device for mobile seed dressers of cereal crops. Niva Povolzhya. 2021. № 3 (60). Pp. 142-151.
17. Borzenko S. I., Gerasimenko S. A. Justification of the main signs of wheat grain separation for the isolation of biologically valuable seeds. Scientific life. 2020. V. 15. No 2 (102). Pp. 227-233.

Информация об авторах

Чулков Андрей Сергеевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, сотрудник лаборатории, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5), e-mail: andrei.chulkov@mail.ru
Борзенко Сергей Игоревич, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5)-
Герасименко Станислав Александрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5).
Московский Максим Николаевич, профессор РАН, доктор технических наук, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5).
Хамуев Виктор Геннадьевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, сотрудник лаборатории, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5).

Authors' Information

Chulkov Andrey Sergeevich, Candidate of Engineering Sciences, Leading Researcher, Employee of the Laboratory, Federal Scientific Agro-engineering Center VIM (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutsky Proezd, 5), e-mail: andrei.chulkov@mail.ru
Borzenko Sergey Igorevich, Junior Researcher, L Federal Scientific Agro-engineering Center VIM (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutsky Proezd, 5).
Gerasimenko Stanislav Aleksandrovich, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher, Federal Scientific Agro-engineering Center VIM (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutsky Proezd, 5).
Moskovskiy Maxim Nikolaevich, Professor of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Engineering Sciences, Chief Researcher, Federal Scientific Agro-engineering Center VIM (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutsky Proezd, 5).
Khamuev Viktor Gennadievich, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Employee of the Laboratory, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutsky Proezd, 5).

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-66

THE JUSTIFICATION OF THE GEOMETRIC PARAMETERS OF A ROBOTIC CULTIVATOR-WEEDER

Belyaev M. V., Vorob'yeva N. S., Ivanov A. G.*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: vgsxa@mail.ru

Received 27.07.2025

Submitted 10.09.2025

Abstract

Introduction. Weed control is one of the most energy-intensive and labor-intensive processes in agricultural production, and mechanization, automation and robotization are used for this purpose. The existing analogues of equipment have several disadvantages, such as the need for operators, lack of versatility, low efficiency, high cost, and lack of technical support in the Russian Federation for imported equipment. Therefore, the development of domestic high-efficiency robotic and automated machines for agricultural production is an urgent task.
Object. The object of research is a robotic cultivator-weeder. **Materials and methods.** The design of a robotic cultivator-weeder is being developed, taking into account modern agricultural technologies that place increased demands on the productivity and quality of technological operations. Based on the developed agricultural requirements, the features of the technological process of weeding weeds performed by a robotic cultivator are

considered. **Results and conclusions.** The design of the cultivator has been developed, the main geometric parameters have been justified, and the attachment points of the actuator to the lever (crank) have been determined, based on the conditions of the lever mechanism's functionality.

Keywords: cultivators, weeding, mechanized weeding, robotic cultivators, geometric parameters of cultivators.

Citation. Belyaev M. V., Vorob'yeva N. S., Ivanov A. G. The justification of the geometric parameters of a robotic cultivator-weeder. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 610-619 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-66.

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 631.3:635.61/63

ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РОБОТИЗИРОВАННОГО КУЛЬТИВАТОРА-ПОЛОЛЬНИКА

Беляев М. В., аспирант

Воробьева Н. С., доктор технических наук, доцент

Иванов А. Г., кандидат технических наук

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Борьба с сорняками является одним из самых наиболее энергозатратных и трудоемких процессов сельскохозяйственного производства, для этих целей используются средства механизации, автоматизации и роботизации. Имеющиеся аналоги техники имеют ряд недостатков, а именно: необходимость в операторах, отсутствие универсальности, низкую эффективность, высокую стоимость, отсутствие технической поддержки на территории РФ для импортной техники, поэтому разработка отечественных высокоэффективных роботизированных и автоматизированных машин для возделывания сельскохозяйственной продукции является актуальной задачей. **Объект.** Объектом исследований является роботизированный культиватор-полольник. **Материалы и методы.** Разрабатывается конструкция роботизированного культиватора-полольника с учетом современных агротехнологий, которые предъявляют повышенные требования к производительности и качеству выполнения технологических операций. На основе разработанных агротребований рассмотрены особенности технологического процесса прополки сорняков, выполняемого роботизированным культиватором. **Результаты и выводы.** Разработана конструкция культиватора, обоснованы основные геометрические параметры, определены точки крепления актуатора к рычагу (кривошипу), исходя из условий работоспособности рычажного механизма.

Ключевые слова: культиваторы, прополка сорняков, механизированная прополка сорняков, роботизированные культиваторы-полольники, геометрические параметры культиваторов.

Цитирование. Беляев М. В., Воробьева Н. С., Иванов А. Г. Обоснование геометрических параметров роботизированного культиватора-полольника. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 610-619. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-66.

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. В процессе выращивания пропашных культур возникает сложная задача уничтожения сорняков. Борьба с ними является одним из самых наиболее энергозатратных и трудоемких процессов сельскохозяйственного производства, поэтому используются средства механизации, автоматизации и роботизации [1-5].

Известными техническими средствами для механической борьбы с сорняками являются: культиватор полольник междурядий КПМ-2 (рисунок 1); агрегат прополочный универсальный АПУ-2 (рисунок 2); полольник гидравлический РН-1 (рисунок 3); пропольщик гидравлический ZUZA 3A (рисунок 4) и американский робот FarmWise – Vulcan (рисунок 5) [6-11].

Недостатками данных машин являются необходимость в операторах, которым необходимо выполнять монотонную работу, и сравнительно невысокая производительность. «Имеющиеся роботизированные импортные аналоги также имеют ряд недостатков, а именно: высокую стоимость, низкую эффективность, отсутствие технической поддержки на территории РФ, поэтому разработка отечественных высокоэффективных автоматизированных машин для возделывания сельскохозяйственной продукции является актуальной задачей».



Рисунок 1 – Культиватор полольник междурядий КПМ-2
Figure 1 – Cultivator-weeder between rows KPM-2



Рисунок 2 – Агрегат Прополочный Универсальный -2
Figure 2 – Universal Weeding Machine -2



Рисунок 3 – Полольник гидравлический РН-1
Figure 3 – Hydraulic floor pan RN-1



Рисунок 4 – Пропольщик гидравлический ZUZA 3A
Figure 4 – ZUZA 3A hydraulic tiller



Рисунок 5 – Робот культиватор от Американской компании FarmWise модель Vulcan
Figure 5 – Cultivator robot from the American company FarmWise Vulcan model

Материалы и методы. В работе поставлена задача – разработка роботизированного универсального культиватора-полольщика с учетом современных агротехнологий, которые предъявляют повышенные требования к производительности и соблюдению качества исполнения технологических операций:

1. Уничтожение сорняков в ряду должно составлять 95-100 %.
2. Рабочий орган полольный машины не должен разбрасывать комки земли, повреждая растения.
3. Рабочий орган полольный машины не должен забиваться почвой и растительными остатками.
4. Не допускается травмирование культурных растений.

При разработке агротехнических требований на новые машины необходимо учитывать перспективные агротребования на технологические операции. В таблице 1 приведены агротехнические требования для рядовой обработки пропашных культур от сорной растительности, предъявляемые к роботизированному культиватору-полольнику, разработанные с учетом ГОСТ33677-2015 и ГОСТ 33687-2015.

Таблица 1 – Агротехнические требования для рядовой обработки пропашных культур от сорной растительности, предъявляемые к роботизированному культиватору-полольнику
Table 1 – Agro-technical requirements for the routine treatment of row crops from weeds, imposed on the robotic cultivator

№ п/п	Раздел / Chapter	Требования / Requirements
1	Назначение / Appointment	Рядовая обработка пропашных культур от сорной растительности / Ordinary processing of row crops from weeds
3	Условия работы / Working conditions	Влажность почвы 8...27 % в слое до 10 см. Твердость почвы в этом слое не более 0,4-1,6 МПа. Уклон поля до 10° / Soil moisture content is 8...27 % in a layer up to 10 cm. The hardness of the soil in this layer is not more than 0.4-1.6 MPa. The slope of the field is up to 10°
4	Параметры исполнения приемов / Technique execution parameters	Культиватор обеспечивает обработку на глубину до 10 см. Допустимые отклонения по точности определения культурных растений не более ±1 см. После прохода культиватора в рядах не должно быть поврежденных или засыпанных почвой растений (допускается повреждение культурных растений до 1 % от общей густоты посева). Уничтожение сорняков в зоне обработки не менее 95 %. Рабочий орган не должен забиваться и наматывать сорную растительность / The cultivator provides processing to a depth of 10 cm. The permissible deviations in the accuracy of determining cultivated plants are not more than ± 1 cm. After the passage of the cultivator, there should be no damaged or covered plants in the rows (damage to cultivated plants up to 1 % of the total crop density is allowed). Weed eradication in the treatment area is at least 95 %. The working body should not be clogged and wind up weeds.
5	Показатели качества машины / Machine quality indicators	Культиватор роботизированный навесной. Запускается одним оператором и не требует наблюдения. Оснащен системой видеофиксации и распознавания культурных растений. Рабочая скорость до 3 км/ч. Производительность за 1 ч сменного времени 0,2 га. Коэффициент использования эксплуатационного времени не менее 0,8 Коэффициент технического использования 0,97. Среднее время на ежесменное техническое обслуживание не более 0,05 ч. Наработка на отказ не менее 150 ч. Конструкция роботизированного культиватора должна соответствовать «Единым требованиям БЖД» / The cultivator is a robotic attachment. It is launched by a single operator and does not require monitoring. It is equipped with a video recording and recognition system for cultivated plants. The working speed is up to 3km/h. Productivity per 1 hour of shift time is 0.2 ha. The operational time utilization factor is at least 0.8 The coefficient of technical utilization is 0.97. The average time for daily maintenance is no more than 0.05 hours Failure time of at least 150 hours The design of the robotic cultivator must comply with the "Unified Requirements".
6	Эколого-экономические требования / Environmental and economic requirements	Применение роботизированного культиватора в сравнении с базовой конструкцией КПМ-1 позволяет уменьшить затраты на обработку, исключить ручной труд. / The use of a robotic cultivator in comparison with the basic design of the KPM-1 makes it possible to reduce processing costs and eliminate manual labor.

В связи с рассмотренными агротребованиями предложен следующий технологический процесс, который выполняется роботизированным культиватором-полольником (рисунок 6):

1. Машинно-тракторный агрегат заезжает в ряды с растениями. Механизатор запускает систему отслеживания культурных растений, камера технического зрения определяет местоположение и размер (абрис) культурного растения.

2. Приводы рабочих органов, получив сигнал от системы управления о местоположении и размере культурного растения, подводят рабочие органы к культурному растению, которые обрабатывают от сорняков, обходя абрис культурного растения и не задевая корневую систему.

3. После прохода культурного растения рабочие органы смыкаются.

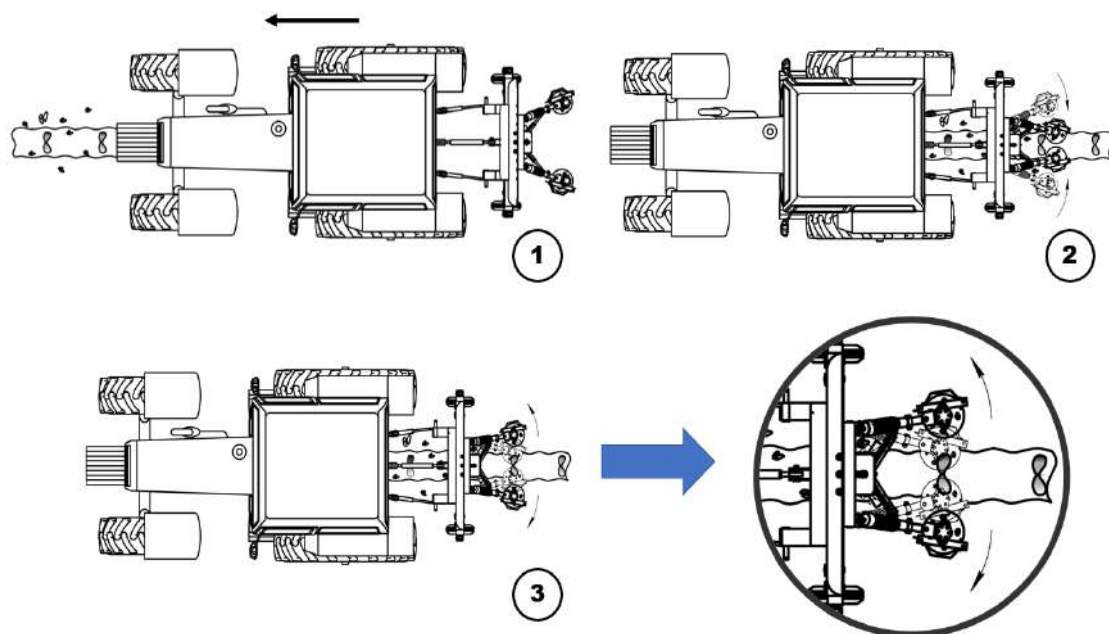


Рисунок 6 – Технологический процесс удаления сорняков
Figure 6 – The technological process of weed removal

Для выполнения данного технологического процесса разработана конструкция роботизированного культиватора-полольщика и обоснованы основные геометрические параметры.

Результаты и обсуждение. Конструкция роботизированного культиватора-полольщика (рисунок 7), которая состоит из рамы 1, опорных колес 2, модуля обработки 3, состоящего из двух амортизаторов 6, поворотных рычагов 7, гидромоторов 8, линейных приводов (актуаторов) 9, рабочих органов 10 в виде дисков с прикрепленными к ним пружинными зубьями и защитных щитков 11. На модуле обработки установлена камера системы технического зрения 4, а также блок системы управления 5. Система управления запитывается от бортовой сети трактора. Гидромоторы подключаются к гидросистеме трактора, в системе установлен дроссель для регулировки оборотов рабочего органа.

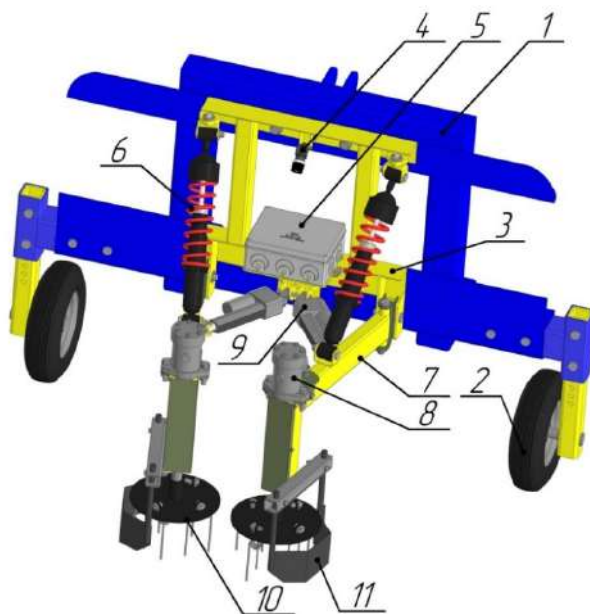


Рисунок 7 – Роботизированный культиватор-полольщик
Figure 7 – Robotic/automated cultivator-weeder

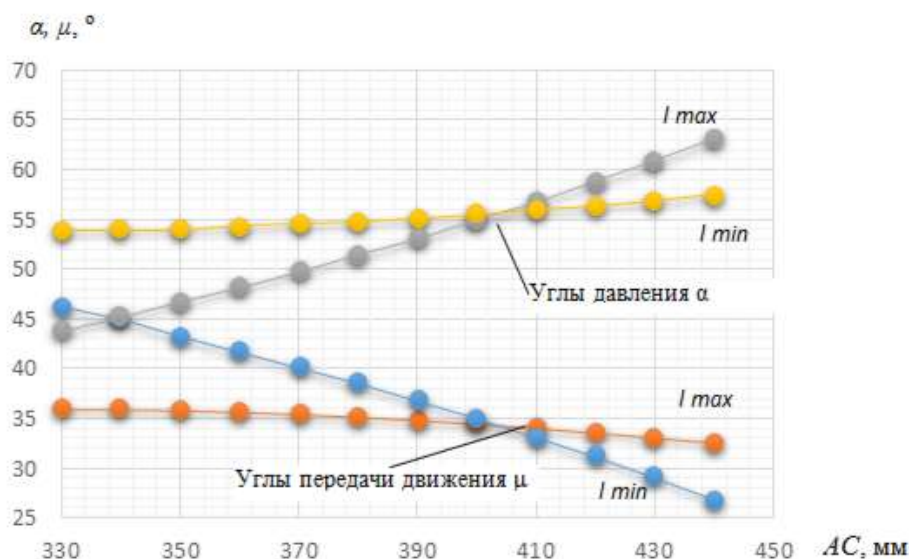


Рисунок 9 – Ряд значений углов давления (α) и передачи (μ) рычажного механизма
Figure 9 – A number of values for the angles of pressure (α) and transmission (μ) of the lever mechanism

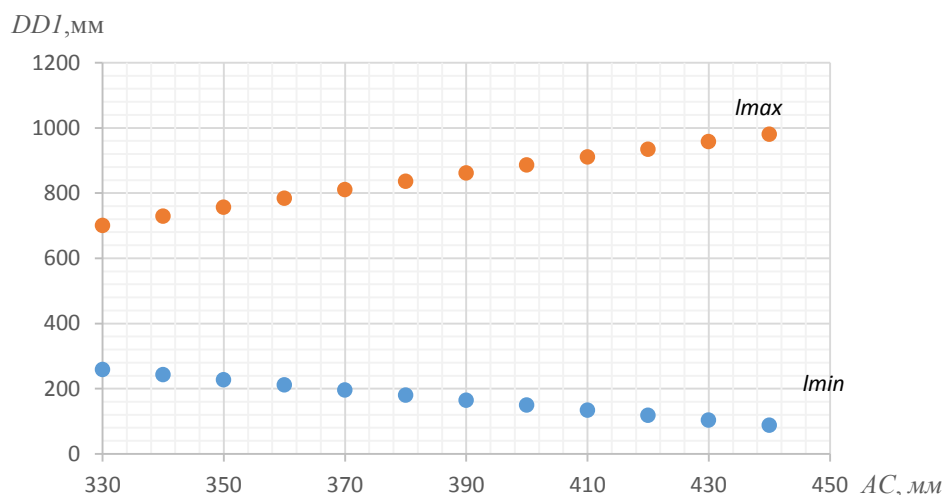


Рисунок 10 – Ряд значений рабочей зоны DD_1 вычесывающих дисков культиватора
Figure 10 – A number of values for the DD_1 working area of the cultivator's combing discs

Заключение. Рассмотрен технологический процесс удаления сорняков с использованием роботизированного культиватора-полольника. В связи с особенностями технологического процесса и агротребований разработана конструкция роботизированного культиватора-полольника и обоснованы основные базовые геометрические параметры (рисунок 8): $AA_1 = 700$ мм, $AB = 240$ мм, $DD_1 = 225 \dots 755$ мм, угол μ изменяется от 43° до 35° , угол α – $54^\circ \dots 46^\circ$, точка крепления актуатора $AC = 350$ мм. Использование предлагаемого роботизированного культиватора позволит автоматизировать трудоемкие операции прополки и снизить затраты при возделывании пропашных культур.

Conclusion. The technological process of weed removal using a robotic cultivator-weeder is considered. Due to the specific features of the technological process and agricultural requirements, a design of a robotic cultivator-weeder has been developed, and the main basic geometric parameters have been substantiated (Figure 8): $AA_1 = 700$ mm, $AB = 240$ mm, $DD_1 = 225 \dots 755$ mm, the angle μ varies from 43° to 35° , the angle α is $54^\circ \dots 46^\circ$, and the actuator attachment point $AC = 350$ mm. The use of the proposed robotic cultivator will allow for the automation of labor-intensive weeding operations and reduce costs in the cultivation of row crops.

Библиографический список

1. Иванов А. Г., Воробьева Н. С., Дяшкин-Титов В. В. Совершенствование технологического процесса прополки сельскохозяйственных культур за счет использования роботизированной прополочной машины для точного земледелия. Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в современных экономических условиях: материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград, 2021. С. 186-191
2. Тихонов А. В. Сорная флора в современной агротехнической литературе. Многофункциональное адаптивное кормопроизводство: сборник научных трудов. Лобня: Всероссийский научно-исследовательский институт кормов им. В.Р. Вильямса, 2021. Т. 25 (73). С. 113-114.
3. Догода П. А., Османов Э. Ш. Исследование обработки абаксиальной поверхности сорных растений гербицидами. Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2021. № 25 (188). С. 72-79.
4. Шадских В. А. и др. Особенности агротехнических приемов борьбы с сорной растительностью на орошаемых землях. Орошаемое земледелие. 2020. № 2. С. 29-32.
5. Спиридонов Ю. Я. и др. Борьба с сорняками при возделывании подсолнечника. Вавиловские чтения – 2018: сборник статей Международной научно-практической конференции. Саратов: Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова, 2018. С. 305-308.
6. Савиных И. Отечественные культиваторы для отечественных полей: ставка на надежность и качество. АгроФорум. 2022. № 5. С. 26-30.
7. Чаткин М. Н. и др. Комбинированные культиваторы для дифференцированной обработки почвы в системе точного земледелия. Сельский механизатор. 2022. № 12. С. 2-3.
8. Измайлов А. Ю. Интеллектуальные технологии и роботизированные средства в сельскохозяйственном производстве. Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89. № 5. С. 536-538.
9. Годжаев З. А. и др. Проблемы и перспективы создания роботизированных технических средств для агропромышленного комплекса. Роботизированные и автоматизированные системы в автомобиле- и тракторостроении: материалы Всероссийской научной конференции. Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова, 2022. С. 4-11.
10. 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.
11. Шевченко А. В., Мещеряков Р. В., Мигачев А. Н. Обзор состояния мирового рынка робототехники для сельского хозяйства. Ч. 1. Беспилотная агротехника. Проблемы управления. 2019. № 5. С. 3-18.
12. Иванов А. Г., Несмиянов И. А., Воробьева Н. С. Обоснование параметров культиватора с автоматизированным блоком удаления сорняков. Известия Волгоградского государственного технического университета. 2024. № 9 (292). С. 31-35.
13. Иванов А. Г., Воробьева Н. С., Дяшкин А. В. Обоснование геометрических параметров робота-пропольщика. Известия Волгоградского государственного технического университета. 2019. № 3 (226). С. 22-25.
14. Брио С., Аракелян В., Глазунов В. А. Условия передачи движения в плоских манипуляторах параллельной структуры. Машиностроение и инженерное образование. 2020. № 3 (24). С. 2-13.
15. Потапов В. А. и др. Определение некоторых конструктивных параметров приводного механизма цепного агрегата и их анализ. Вестник Белорусско-Российского университета. 2023. № 1(78). С. 41-51.

References

1. Ivanov A. G., Vorobyeva N. S., Dyashkin-Titov V. V. Improvement of the technological process of weeding crops through the use of a robotic weeding machine for precision farming. Innovative technologies in the agro-industrial complex in modern economic conditions. Materials of the International Scientific and Practical Conference. Volgograd, 2021. Pp. 186-191.
2. Tikhonov A. V. Weed Flora in Modern Agrotechnical Literature. Multifunctional Adaptive Fodder Production: Collection of Scientific Papers. Lobnya: All-Russian Research Institute of Fodder named after V. R. Williams, 2021. V. 25 (73). Pp. 113-114.
3. Dogoda P. A., Osmanov E. Sh. Research on the treatment of the abaxial surface of weeds with herbicides. Proceedings of Agricultural Science of Tavrida. 2021. No. 25 (188). Pp. 72-79.
4. Shadskikh V. A., et al. Features of agrotechnical methods of weed control on irrigated lands. Irrigated Agriculture. 2020. No. 2. Pp. 29-32.
5. Spiridonov Yu. Ya., et al. Weed Control in Sunflower Cultivation. Vavilov Readings - 2018: Collection of Articles from the International Scientific and Practical Conference. Saratov: N. I. Vavilov Saratov State Agrarian University, 2018. Pp. 305-308.
6. Savinykh I. Domestic Cultivators for Domestic Fields: A Bet on Reliability and Quality. AgroForum. 2022. No 5. Pp. 26-30.
7. Chatkin M. N., et al. Combined cultivators for differentiated soil cultivation in the precision farming system. Rural Machine Operator. 2022. No 12. Pp. 2-3.
8. Izmailov A. Yu. Intellectual Technologies and Robotic Means in Agricultural Production. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2019. V. 89. No 5. Pp. 536-538.
9. Godjaev Z. A. et al. Problems and Prospects of Creating Robotic Technical Devices for the Agro-Industrial Complex. Robotic and Automated Systems in Automotive and Tractor Engineering: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference. Voronezh: G. F. Morozov Voronezh State Forestry University, 2022. Pp. 4-11.
10. Ronzhin A. L., Savelyev A. I. Artificial Intelligence Systems in Solving the Problems of Digitalization and Robotization of the Agro-Industrial Complex. Agricultural Machinery and Technologies. 2022. Vol. 16. No. 2. Pp. 22-29.
11. Shevchenko A. V., Meshcheryakov R. V., Migachev A. N. Overview of the Global Market for Agricultural Robotics. Part 1. Unmanned Agricultural Machinery. Control Problems. 2019. No. 5. Pp. 3-18.
12. Ivanov A. G., Nesmiyanov I. A., Vorobyeva N. S. Justification of the Cultivator Parameters with an Automated Weed Removal Unit. Proceedings of the Volgograd State Technical University. 2024. No 9 (292). Pp. 31-35.
13. Ivanov A. G., Vorobyeva N. S., Dyashkin A. V. Justification of the geometric parameters of the tiller robot. Proceedings of the Volgograd State Technical University. 2019. No 3 (226). Pp. 22-25.

14. Brio S., Arakelyan V., Glazunov V. A. Conditions of Motion Transmission in Flat Manipulators of a Parallel Structure. *Mechanical Engineering and Engineering Education*. 2010. No 3 (24). Pp. 2-13.

15. Potapov V. A. et al. Determination of some design parameters of the chain unit drive mechanism and their analysis. *Bulletin of the Belarusian-Russian University*. 2023. No 1 (78). Pp. 41-51.

Информация об авторах

Беляев Максим Владимирович, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: vgsxa@mail.ru

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

Иванов Алексей Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: leha_2106@list.ru

Authors' Information

Belyaev Maksim Vladimirovich, PhD student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskii Ave., 26), e-mail: vgsxa@mail.ru

Vorob'yeva Natalia Sergeevna, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskii Ave., 26), e-mail: vgsxa@mail.ru

Ivanov Aleksey Gennadievich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskii Ave., 26), e-mail: leha_2106@list.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-67

THE TECHNOLOGY AND COMPREHENSIVE QUALITY ASSESSMENT OF THE SOFT CHEESES MADE WITH MILK OF DIFFERENT BREEDS COWS

^{1,2}Slozhenkina M. I., ¹Kryuchkova V. V., ^{1,2}Gorlov I. F., ¹Kudryashova O. V.,
¹Tkachenkova N. A., ¹Vorontsova E. S., ¹Slozhenkina A. A.

¹Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production

²Volgograd State Technical University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: niimmp@mail.ru

Received 26.08.2025

Submitted 31.10.2025

The work was carried out according to State Order No. 125020701763-0.

Abstract

Introduction. Increased food production volumes are closely linked to improved dairy productivity in animals and the resulting raw materials, which depend on many factors, including animal breed, individual characteristics, physiological state, and others. Breed is considered the most significant factor determining milk composition. Dairy products are in high demand among all segments of the population, with soft cheeses being among the most popular. Using milk from cows of different breeds allows for the production of soft cheeses with different chemical compositions, nutritional and biological value, which imparts functional properties to these cheeses and expands their potential for use in the diets of various consumer groups. **The aim** of this study was to evaluate the productivity and characteristics of milk from cows of different breeds (Holstein, Black-and-White, and Red Steppe), and to study the quality of soft cheeses produced from this milk. The objects of study were milk from cows of the aforementioned breeds and soft cheeses produced in accordance with the requirements of GOST 33630-2015 «Cheeses and Processed Cheeses». The study utilized a combination of standard and modified methods, including determination of fat mass fraction (GOST R ISO 2446-2011), protein (Kjeldahl method, GOST 34454-2018), dry matter (GOST 28561-90), and minerals (calcium and phosphorus) using capillary electrophoresis (Kapel-105M system). Organoleptic evaluation was conducted in accordance with GOST R ISO 22935-2-2011 and GOST 33630-2015. Statistical data processing was performed using Statistica 6.0. **Results and Conclusions.** The studies confirmed high milk productivity and quality in cows of all studied breeds. The best nutritional value was observed in milk obtained from Black Pied cows. An evaluation of soft cheeses produced from the milk of different breeds also revealed superior organoleptic and physicochemical properties for the sample made from the milk of Black-and-White cows. Processing milk with high nutritional value will allow the production of soft cheeses for various population groups that meet national standards.

Keywords: milk from cows of different breeds; technology of soft cheeses; comprehensive quality assessment.

Citation. Slozhenkina M. I., Kryuchkova V. V., Gorlov I. F., Kudryashova O. V., Tkachenkova N. A., Vorontsova E. S., Slozhenkina A. A. The technology and comprehensive quality assessment of the soft cheeses made with milk of different breeds cows. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 619-627 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-67.

Authors' contribution. All authors were directly involved in the planning, execution and analysis of this study.

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

УДК 637.352

**ТЕХНОЛОГИЯ И КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МЯГКИХ СЫРОВ,
ВЫРАБОТАННЫХ ИЗ МОЛОКА КОРОВ РАЗНЫХ ПОРОД**^{1,2}Сложенкина М. И., член-корреспондент РАН, доктор биологических наук¹Крючкова В. В., доктор технических наук^{1,2}Горлов И. Ф., академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук¹Кудряшова О. В., кандидат биологических наук¹Ткаченко Н. А., научный сотрудник¹Воронцова Е. С., кандидат биологических наук, старший научный сотрудник¹Сложенкина А. А., аспирант¹ ФГБОУ ВО «Поволжский научно-исследовательский институт производства
и переработки мясомолочной продукции»²ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»
г. Волгоград, Российская Федерация**Работа выполнена по Государственному заданию № 125020701763-0.**

Актуальность. Увеличение объемов пищевой продукции находится в тесной взаимосвязи с улучшением показателей молочной продуктивности животных и получаемого сырья, показатели которого зависят от многих факторов, в том числе породы животного, его индивидуальных особенностей, физиологического состояния и др. Наиболее значимым фактором, определяющим состав молока, считается порода животного. Молочная продукция пользуется широким спросом у всех категорий населения, при этом мягкие сыры являются одними из наиболее популярных. Использование молока, полученного от коров разных пород, позволяет производить мягкие сыры, отличающиеся по химическому составу, пищевой и биологической ценности, что придает сырам функциональные свойства и расширяет возможности их использования в питании различных групп потребителей. **Целью** данной работы является оценка продуктивности и характеристик молока коров разных пород (голландской, черно-пестрой и красной степной), а также изучение качества мягких сыров, произведенных из этого молока. В качестве объектов исследования выступали: молоко коров вышеуказанных пород и мягкие сыры, изготовленные согласно требованиям ГОСТ 33630-2015 «Сыры и сыры плавленые». В ходе работы применялся комплекс стандартных и модифицированных методов, включающий определение массовой доли жира (ГОСТ Р ИСО 2446-2011), белка (метод Кельдаля, ГОСТ 34454-2018), сухих веществ (ГОСТ 28561-90), а также минеральных веществ (кальция и фосфора) методом капиллярного электрофореза (система Капель-105М). Органолептическая оценка проводилась в соответствии с ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011 и ГОСТ 33630-2015. Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием программы Statistica 6.0. **Результаты и выводы.** Проведенные исследования подтвердили высокие показатели продуктивности и качества молока у коров всех исследуемых пород. При этом наилучшие показатели пищевой ценности были отмечены у молока, полученного от коров черно-пестрой породы. Оценка мягких сыров, произведенных из молока разных пород, также выявила преимущество органолептических и физико-химических характеристик у образца, изготовленного из молока коров черно-пестрой породы. Переработка молока с высокими показателями пищевой ценности позволит выпускать мягкие сыры для различных групп населения, соответствующие по показателям требованиям национальных стандартов.

Ключевые слова: *milk from cows of different breeds, soft cheese production technologies, soft cheeses, cheese quality, cheese quality assessment.*

Цитирование. Сложенкина М. И., Крючкова В. В., Горлов И. Ф., Кудряшова О. В., Ткаченко Н. А., Воронцова Е. С., Сложенкина А. А. Технология и комплексная оценка качества мягких сыров, выработанных из молока коров разных пород. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 619-627. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-67.

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. Увеличивающийся потребительский спрос на молочную продукцию стимулирует сельхозпроизводителей и переработчиков на интенсивное использование имеющихся ресурсов. Однако, несмотря на положительную динамику в животноводстве, обеспечение населения молочными продуктами не достигает требуемого уровня [1, 2]. Увеличение объемов пищевой продукции находится в тесной взаимосвязи с улучшением показателей молочной продуктивности животных и получаемого сырья [3, 4].

Качественные и количественные показатели молока для его переработки зависят от многих факторов, в том числе породы животного, его индивидуальных особенностей, физиологического состояния и др. При этом, породная принадлежность считается наиболее существенным фактором, влияющим на состав молока [5, 6, 7, 8, 9]. Для получения продукции, обладающей высокими показателями пищевой ценности, большое значение имеет качество сырья. Особая роль при этом отводится получению молока от коров разных пород, позволяющего комбинировать и восполнять требуемые до нужного уровня основные показатели. В настоящее время в хозяйствах Российской Федерации приоритет отдается 8 основным породам крупного рогатого скота: черно-пестрая, красная степная, красно-пестрая, холмогорская, симментальская, айрширская, ярославская, голштинская черно-пестрой масти [10].

Увеличение продуктивности животных со стабильно высокими показателями молочного сырья – одна из приоритетных задач развития молочного скотоводства в РФ, выполнение которой во многом определяет эффективность работы отраслевых хозяйств. Переработка продукции животноводства, в том числе молока, с целью обеспечения населения высококачественными продуктами питания – важная задача специалистов АПК [11, 12].

Производство жизненно необходимых продуктов связано с недостаточной обеспеченностью населения особо важными нутриентами, такими как аминокислоты, жирные кислоты, витамины, минеральные вещества и др. Их дефицит наблюдается у представителей всех слоев общества как развивающихся, так и развитых стран мира [13, 14, 15, 16].

В связи с изменением образа жизни, недостаточностью времени для занятий спортом, использованием в продуктах значительного количества синтетических добавок для улучшения состава, свойств и органолептических показателей, питание человека является огромной медико-социальной проблемой [17, 18]. При недостаточном и неправильном питании у потребителей наблюдается низкая работоспособность, плохое самочувствие, быстрая утомляемость, развитие всевозможных болезней, связанных с нарушением обмена веществ, а также сердечно-сосудистые и онкологические заболевания [19]. Все эти болезни являются огромной проблемой современности.

Сыр является наиболее популярным продуктом питания практически во всех слоях населения. Мягкие сыры без созревания наиболее пригодны для повышения содержания дефицитных нутриентов [20, 21]. С учетом технологических особенностей производства мягких сыров появляется возможность получить широкий спектр сыров с улучшенными потребительскими свойствами и повышенным содержанием витаминов, минеральных веществ и многих биологически активных веществ [22, 23, 24]. В связи с чем, производство мягких сыров из молока коров разных пород (голландская, черно-пестрая, красная степная) позволит получить мягкие сыры с разным химическим составом, пищевой и биологической ценностью и придать ему функциональную направленность, что дает возможность использования сыров в питании различных групп населения.

Целью работы является оценка качества молока коров разных пород: голштинская, черная пестрая и красная степная, выработка из него мягких сыров и комплексная оценка их качества.

Материалы и методы. Объектом изучения выступало молоко, полученное от коров нескольких пород, а именно: голштинской, черно-пестрой и красной степной, а также мягкие сыры, изготовленные по стандарту ГОСТ 33630-2015 «Сыры и сыры плавленые». В ходе выполнения работы использовался комплекс признанных, стандартных и адаптированных методик: процентное содержание жира определялось по ГОСТ Р ИСО 2446-2011; количество белка – методом Кьельдаля, согласно ГОСТ 34454-2018; доля сухих веществ в сырах определялась по ГОСТ 28561-90; концентрация минеральных компонентов, таких как кальций и фосфор, – методом капиллярного электрофореза с применением системы Капель-105М; органолептическая оценка осуществлялась в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011 и ГОСТ 33630-2015. Для статистического анализа данных применялся программный пакет Statistica 6.0.

В разделе «Результаты и их обсуждение» представлены итоги анализа молока коров различных пород, где установлены средние показатели суточной молочной продуктивности, а также процентного содержания жира и белка. Подробная информация об этих показателях представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели, продуктивности, массовой доли жира и белка в молоке коров в зависимости от породы

Table 1 – Indicators, productivity, mass fraction of fat and protein in milk of cows depending on the breed

Наименование показателя / Indicator Name	Порода коров / Breed of cows					
	Голштинская / Holstein		Черно-пестрая / Black-and-white breed		Красная степная / Red Steppe	
	Σ за год / Σ per year	Средне-суточное / Average daily	Σ за год / Σ per year	Средне-суточное / Average daily	Σ за год / Σ per year	Средне-суточное / Average daily
Массовая доля жира, % / Fat Mass Fraction, %	-	3,60±0,02	-	4,50±0,03	-	4,27±0,025***
Массовая доля белка, % / Protein Mass Fraction, %	-	3,22±0,01	-	3,62±0,02	-	3,24±0,02
Удой суточный, л / Daily Milk Yield, l	-	30,4±0,15	-	19,83±0,11***	-	17,63±0,12***
Годовой удой, л / Annual Milk Yield, l	11087±445,7		6699±288,2		6432±307,0	

Как видно из таблицы, наибольшее значение массовой доли жира молока (4,5 %) и белка (3,62 %) получено от коров черной пестрой породы, что превышает показатель голштинской на 0,9 и 0,4 % и на 0,23 ($P \geq 0,999$) и 0,38 % – красной пестрой. Наибольшее значение суточного удоя молока (30,4 л) получено от коров голштинской породы, а наименьшее (17,63 л) – от коров красной степной породы. Различия в достигнутых показателях составляют 53,3 ($P \geq 0,999$) (в сравнении с черно-пестрой породой) и 72,4 % ($P \geq 0,999$) (красной степной). Таким образом, порода коров оказывает существенное влияние на количество получаемого молока и показатели его качества. Из полученного молока выработаны мягкие сыры по технологической схеме, представленной на рисунке 1.



Рисунок 1 – Технологическая схема производства мягких сыров
Figure 1 – Flow chart of production of soft cheeses

В процессе создания подопытных образцов мягких сыров применялся молокосвертывающий фермент микробного происхождения – ренин «Meito Sangyo», содержащий пепсин, полученный из грибов *Rhizomucor miehei*. В связи с тем, что молоко проходило процедуру пастеризации, для компенсации уровня кальция и улучшения процесса свертывания в него вносили раствор хлорида кальция (CaCl_2). Полученную смесь тщательно перемешивали в течение 40 минут, образовавшийся сгусток, разрезали на кубики со стороной 8-10 мм, вымешивали и отделяли часть сыворотки. Формование головок сыра проводили наливом с самопрессованием, затем осуществляли посол головок сыра в солевом рассоле и оставляли созревать в течение 10-12 часов. Готовый сыр разрезали на куски и герметично укупоривали в потребительскую тару. В готовом продукте проведена комплексная оценка качества в соответствии с требованиями Технического регламента (ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции»). Полученные результаты представлены в таблицах 2, 3, 4.

Технология производства мягких сыров предусматривала получение качественного и безопасного продукта.

Таблица 2 – Физико-химические показатели и энергетическая ценность мягких сыров, выработанных из коровьего молока разных пород

Table 2 – Physical and chemical indicators and energy value of soft cheeses made from cow's milk of different breeds

Показатели / Indicators	Предприятие / Enterprise		
	ООО «МясКо» / LLC «MyasKo»	ООО «Лидер» / LLC «Leader»	ПЗК им. Ленина / Lenin's PZK
	Порода коров / Breed of cows		
	Голштинская / Holstein	Черно-пестрая / Black-and-white breed	Красная степная / Red Steppe
Значение показателей качества / The importance of quality indicators			
Массовая доля жира, % / Fat content, %	19,14±0,13	19,92±0,21*	19,36±0,15
Массовая доля жира в пересчете на сухое вещество, % / Fat content on a dry matter basis, %	44,97±0,36	46,20±0,41*	45,64±0,28
Массовая доля белка, % / Protein content, %	16,15±0,14	16,26±0,18	16,07±0,11
Массовая доля сухого вещества, % / Dry matter content, %	42,56±0,29	43,12±0,27	42,42±0,23
Кислотность, °Т / Acidity, °Т	18,20±0,16	19,00±0,25*	18,70±0,19
Кальций, % / Calcium, %	0,395±0,001	0,401±0,001*	0,385±0,002**
Фосфор, % / Phosphorus, %	0,242±0,0015	0,256±0,001**	0,240±0,001
Калорийность, кКал / Caloric content, kcal	236,86±5,3	244,32±3,4	238,52±3,8

Как видно из таблицы, наилучшие физико-химические показатели имеет мягкий сыр, полученный из молока коров черно-пестрой породы (ООО «Лидер»). Так массовая доля жира у сыра ООО «Лидер» выше на 0,56 %, чем у сыра ПЗК им. Ленина и на 0,78 %, чем у ООО «МясКо» ($P \geq 0,95$); массовая доля белка – выше на 0,11 %, чем у сыра ООО «МясКо» и на 0,19 % чем у сыра, выработанного ПЗК им. Ленина. Также превышение в сыре ООО «Лидер» массовой доли сухого вещества на 0,56 %, в сравнении с ООО «МясКо» и на 0,7 % – с ПЗК им. Ленина. Сыр, произведенный из молока черно-пестрой породы, обладает калорийностью на 5,8 кКал больше, чем аналогичный продукт, изготовленный из молока, полученного от коров красной степной породы. Разница в калорийности между сыром из молока черно-пестрой породы и сыром из молока голштинской породы составляет 7,46 кКал. Указанные результаты, свидетельствующие о более высоком содержании жира, белка, сухого вещества и макроэлементов (кальция и фосфора) в сыре, изготовленного из молока коров, содержащихся в ООО «Лидер», что указывают на его более высокую энергетическую и биологическую ценность.

Результаты органолептических исследований, проведенных в соответствии с требованиями ГОСТ 33630-2015 «Сыры и сыры плавленые. Оценка органолептических показателей», представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Органолептические показатели мягких сыров, выработанных из молока коров разных пород: голштинская, черно-пестрая и красная степная

Table 3 – Organoleptic indicators of soft cheeses made from milk of cows of different breeds: Holstein, black-and-white and red steppe

Порода коров / Cow breed	Внешний вид / Appearance	Вкус и запах / Taste and Smell	Консистенция / Consistency	Рисунок / Drawing	Цвет / Color
Черно-пестрая / Black-and-white breed	без корки, ровная поверхность со следами от формы, увлажненная / no crust, smooth surface with mold marks, moistened	чистый, с выраженным вкусом и запахом пастеризации / clean, with a distinct taste and smell of pasteurization	однородная, в меру плотная / homogeneous, moderately dense	рисунок отсутствует / no drawing available	светло-желтый, равномерный по всей массе / light yellow, uniform throughout
Голштинская / Holstein	без корки, ровная поверхность со следами от формы, увлажненная / no crust, smooth surface with mold marks, moistened	чистый, с выраженным вкусом и запахом пастеризации / clean, with a distinct taste and smell of pasteurization	однородная, в меру плотная / homogeneous, moderately dense	рисунок отсутствует / no drawing available	светло-желтый, равномерный по всей массе / light yellow, uniform throughout
Красная степная / Red Steppe	без корки, ровная поверхность со следами от формы, увлажненная / no crust, smooth surface with mold marks, moistened	чистый, с выраженным вкусом и запахом пастеризации / clean, with a distinct taste and smell of pasteurization	однородная, в меру плотная / homogeneous, moderately dense	рисунок отсутствует / no drawing available	светло-желтый, равномерный по всей массе / light yellow, uniform throughout

Анализ таблицы показал, что органолептические показатели у всех сыров достаточно высокие и практически не отличаются друг от друга, что говорит о высокой потребительской востребованности мягких сыров.

Выводы. Полученные результаты исследований подтвердили, что мягкие сыры, выработанные из молока коров разных пород (голштинская, черно-пестрая и красная степная), обладают высокими показателями пищевой ценности и потребительскими характеристиками. Так, установлено, что наилучшие физико-химические показатели сыра, полученного из молока черно-пестрых коров (ООО «Лидер»): массовая доля жира у сыра ООО «Лидер» выше на 0,56 %, чем у сыра ПЗК им. Ленина и на 0,78 %, чем у ООО «МясКо»; массовая доля белка у сыра ООО «Лидер» выше на 0,11 % и на 0,19 % чем у сыра, выработанного ПЗК им. Ленина. Также превышение в сыре ООО «Лидер» массовой доли сухого вещества на 0,56 %, чем у ООО «МясКо», и на 0,7 % выше, чем у сыра, выработанного в ПЗК им. Ленина. Калорийность сыра, полученного из молока коров черно-пестрой породы на 5,8 кКал выше, чем у сыра, выработанного из молока красной степной породы, и на 7,46 кКал, чем у сыра из молока коров голштинской породы.

Органолептические показатели у всех сыров достаточно высокие, соответствуют нормативным документам и практически не отличаются друг от друга, что говорит о высокой потребительской востребованности всех выработанных мягких сыров.

Из вышеизложенного следует, что мягкие сыры, выработанные из молока коров разных пород (голштинская, черно-пестрая и красная степная), обладают высокими потребительскими свойствами и будут востребованы разными группами населения в зависимости от их потребностей.

Conclusions. The research results have confirmed that soft cheeses made from milk from cows of different breeds (Holstein, black-mottled and red steppe) have high nutritional values and consumer characteristics. Thus, it was found that the best physico-chemical parameters of cheese obtained from the milk of black-and-white cows (LLC «Leader»): the mass fraction of fat in LLC «Leader» cheese is 0.56 % higher than that of PZK cheese. Lenin and 0.78 % higher than that of LLC Myasko; the mass fraction of protein in LLC Leader cheese is higher by 0.11 % and 0.19 % than that of cheese produced by PZK im. Lenin Street. Also, the excess of the mass fraction of dry matter in the cheese of LLC Leader is 0.56 % higher than that of LLC Myasko, and 0.7 % higher than that of the

cheese produced at the PZK. Lenin Street. The caloric content of cheese made from milk of the black-mottled breed is 5.8 kCal higher than that of cheese made from milk of the red steppe breed, and 7.46 kCal higher than that of cheese made from milk of the Holstein breed.

The organoleptic characteristics of all cheeses are quite high, comply with regulatory documents and practically do not differ from each other, which indicate a high consumer demand for all produced soft cheeses.

It follows from the above that soft cheeses made from the milk of cows of different breeds (Holstein, black-mottled and red steppe) have high consumer properties and will be in demand by different population groups depending on their needs.

Библиографический список

1. Зимняков В. М., Ильина Г. В., Ильин Д. Ю., Зимняков А. М. Состояние, проблемы и перспективы производства молока в России. Техника и технологии в животноводстве. 2023. № 1 (49). С. 4-10.
2. Федоров В. Х., Колосов Ю. А., Абонеев В. В., Панфилова Г. И., Абонеева Е. В., Тищенко Н. Н. Продуктивность и конкурентоспособность красной степной породы: методы и результаты совершенствования: монография. Персиановский: Донской ГАУ, 2024. 189 с.
3. Дубровицкий А. Р. Взаимосвязь показателей молочной продуктивности с породностью крупного рогатого скота. Научный журнал КубГАУ. 2022. № 184 (10). С. 1-6.
4. Кулешова Е. А., Бондаренко М. В. Продуктивность и качественные показатели молока коров айр-ширской породы. Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. 2020. № 1. С. 40-44.
5. Родина Н. Д., Симоненкова А. П., Демина Е. Н., Сергеева Е. Ю. Взаимосвязь между технологическими характеристиками различных пород коров и качеством молока-сырья. Ползуновский вестник. 2022. № 1. С. 47-54.
6. Горелик О. В., Федосеева Н. А., Горелик А. С., Кокшаров Е. В. Изменение показателей продуктивности голштинизированных черно-пестрых пород по лактациям. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2021. № 2 (65). С. 82-86.
7. Исламова Г. И. Продуктивность и качество молока у коров разных пород. Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины имени Н. Э. Баумана. 2024. № 260. С. 110-114.
8. Соколова Е. Г., Журикова Д. О. Продуктивные качества коров голштинской породы в наивысшую лактацию. Сборник материалов международной научной конференции «Аграрная наука и инновационной развитие АПК: состояние, проблемы и перспективы. 2024. С. 352-358.
9. Дешко И. А., Коробко А. В., Карпеня С. Л., Яцына О. А., Соглаева Е. Е., Песоцкий Н. И. Анализ молочной продуктивности коров различных линий. Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сборник научных трудов. 2022. С. 39-47.
10. Фирсова Э. В., Карташева А. П. Основные породы молочного скота в хозяйствах Российской Федерации. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2019. № 55. С. 69-75.
11. Антипова Т. А., Кудряшова О. В., Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Мосолова Н. И., Анисимова Е. Ю., Воронцова Е. С., Ткаченко Н. А., Брехова С. А. Продуктивность и качество молока коров различных пород в условиях Волгоградской области. Известия НВ АУК. 2024. № 5 (77). С. 166-177.
12. Мищенко Е. В., Харлап С. Ю., Павлова Я. С. Молочная продуктивность коров в зависимости от породы. Молодежь и наука. 2020. № 9.
13. Коденцова В. М., Вржесинская О. А., Рисник Д. В., Никитюк Д. Б., Тутельян В. А. Обеспеченность населения России микронутриентами и возможность ее коррекции. Состояние проблемы. Вопросы питания. 2017. № 86. С. 113-124.
14. Майорникова Л. А., Кокшаров А. А., Крапива Т. В., Новоселов С. В. Обогащение пищевых продуктов как фактор профилактики микронутриентной недостаточности. Техника и технология пищевых производств. 2020. № 50. С. 124-139.
15. Ших Е. В., Махова А. А., Чемерис А. В., Тормышов И. А. Ятрогенные дефициты микронутриентов. Вопросы питания. 2021. № 90 (4). С. 53-63.
16. Сычев О. В. Роль макро- и микронутриентов в питании человека. Перспективные разработки молодых ученых в области производства и переработки сельскохозяйственной продукции. 2020. С. 204-208.
17. Павлов Т. А., Иванова И. В. Правильное питание как здоровый образ жизни. Вопросы экспертизы и качества медицинской помощи. 2023. №12. С. 37-41.
18. Голубева А. Н., Котуранова И. Д. Правильное питание как основная составляющая здорового образа жизни человека. International Journal of Humanities and Natural Science. 2023. № 1-4 (76).
19. Кожабек Л. Взаимосвязь структуры питания и хронических неинфекционных заболеваний. Менеджер здравоохранения. 2022, № 4. С. 39-44.
20. Абрамова Н. И., Иванова Д. А. Влияние породной принадлежности коров на качественные показатели молока. Молочнохозяйственный вестник. 2020. № 3 (39). С. 12-21.
21. Михайлова Ю. А., Кравец А. Н. Сравнительная оценка технологии и качества мягкого сыра с растительным экстрактом для крапивы. Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2021. № 7. С. 1-9.
22. Донскова Л. А., Лейберова Н. В., Лукиных М. И. Характеристика аминокислотного профиля мягких сыров и оценка биологической ценности. Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2023. № 4. С. 55-64.
23. Дерканосова А. А., Курчаева Е. Е., Востроиллов А. В., Баженова Е. В., Попова Я. А., Матвиенко Н. А. Научные подходы к использованию молока коров красно-пестрой породы в производстве мягких сыров комбинированного состава. Вестник ВГУИТ. 2021. № 83. С. 146-154.
24. Яшкин А. И. Управление качеством мягкого сыра путем оптимального подбора функциональных компонентов. Агропродовольственная экономика. 2019. № 4. С. 30-34.

References

1. Zimnyakov V. M., Ilyina G. V., Ilyin D. Yu., Zimnyakov A. M. The state, problems and prospects of milk production in Russia. Equipment and technologies in animal husbandry. 2023. No. 1 (49). Pp. 4-10.
2. Kolosov Yu. A., Aboneev V. V., Panfilova G. I., Aboneeva E. V., Tishchenko N. N. Productivity and competitiveness of the red steppe breed: methods and results of improvement: monograph. Persianovsky: Donskoy SAU. 2024. 189 p.
3. Dubrovitsky A. R. The relationship between milk productivity indicators and the breed type of cattle. Scientific journal of KubSAU. 2022. No. 184 (10). Pp. 1-6.
4. Kuleshova E. A., Bondarenko M. V. Productivity and quality indicators of milk of Ayrshire cows. Collection of scientific papers of the Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Medicine 2020. No. 1. Pp. 40-44.
5. Rodina N. D., Simonenkova A. P., Demina E. N., Sergeeva E. Yu. The relationship between the technological characteristics of various cow breeds and the quality of raw milk. Polzunovsky Vestnik. 2022. No. 1. Pp. 47-54.
6. Gorelik O. V., Fedoseeva N. A., Gorelik A. S., Koksharov E. V. Changes in productivity indicators of Holsteinized Black-and-White breeds by lactation. Bulletin of Michurinsk State Agrarian University. 2021. No. 2 (65). Pp. 82-86.
7. Islamova G. I. Milk productivity and quality in cows of different breeds. Scientific notes of the Kazan Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman. 2024. No. 260. Pp. 110-114.
8. Sokolova E. G., Zhurikova D. O. Productive qualities of Holstein cows in the highest lactation. Agrarian science and innovative development of the agro-industrial complex: state, problems and prospects: Collection of materials from the international scientific conference. 2024. Pp. 352-358.
9. Deshko I. A., Korobko A. V., Karpenya S. L., Yatsyna O. A., Soglaeva E. E., Pesotsky N. I. Analysis of milk productivity of cows of different lines. Agriculture - Problems and Prospects: Collection of scientific papers. 2022. Pp. 39-47.
10. Firsova E. V., Kartasheva A. P. Main breeds of dairy cattle in farms of the Russian Federation. Bulletin of the St. Petersburg State Agrarian University. 2019. No. 55. Pp. 69-75.
11. Antipova T. A., Kudryashova O. V., Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Mosolova N. I., Anisimova E. Yu., Vorontsova E. S., Tkachenkova N. A., Brekhova S. A. Productivity and quality of milk of cows of different breeds in the Volgograd region. Proceedings of the LV AUC. 2024. No. 5 (77). Pp. 166-177.
12. Mishchenko E. V., Kharlap S. Yu., Pavlova Ya. S. Milk productivity of cows depending on the breed. Youth and Science. 2020. No. 9.
13. Kodentsova V. M., Vrzhesinskaya O. A., Risnik D. V., Nikityuk D. B., Tutelyan V. A. Provision of the population of Russia with micronutrients and the possibility of its correction. State of the problem. Nutrition issues. 2017. No. 86. Pp. 113-124.
14. Mayurnikova L. A., Koksharov A. A., Krapiva T. V., Novoselov S. V. Fortification of food products as a factor in the prevention of micronutrient deficiency. Food production equipment and technology. 2020. No. 50. Pp. 124-139.
15. Shikh E. V., Makhova A. A., Chemeris A. V., Tormyshov I. A. Iatrogenic micronutrient deficiencies. Nutrition issues. 2021. No. 90 (4). Pp. 53-63.
16. Sychev O. V. The role of macro- and micronutrients in human nutrition. Promising Developments of Young Scientists in the Field of Production and Processing of Agricultural Products. 2020. Pp. 204-208.
17. Pavlov T. A., Ivanova I. V. Proper Nutrition as a Healthy Lifestyle. Issues of Expertise and Quality of Medical Care. 2023. No. 12. Pp. 37-41.
18. Golubeva A. N., Koturanova I. D. Proper Nutrition as the Main Component of a Healthy Human Lifestyle. International Journal of Humanities and Natural Science. 2023. No. 1-4 (76).
19. Kozhabek L. The Relationship between Diet Structure and Chronic Non-Communicable Diseases. Healthcare Manager. 2022. No. 4. Pp. 39-44.
20. Abramova N. I., Ivanova D. A. The Influence of Cow Breeds on Milk Quality Indicators. Dairy Farming Bulletin. 2020. No. 3 (39). Pp. 12-21.
21. Mikhailova Yu. A., Kravets A. N. Comparative Assessment of the Technology and Quality of Soft Cheese with Nettle Plant Extract. Bulletin of Science and Education of Northwest Russia. 2021. No. 7. Pp. 1-9.
22. Donskova L. A., Leyberova N. V., Lukinykh M. I. Characteristics of the Amino Acid Profile of Soft Cheeses and Assessment of Biological Value. SUSU Bulletin. Food and Biotechnology Series. 2023. No. 4. Pp. 55-64.
23. Derkanosova A. A., Kurchaeva E. E., Vostroilov A. V., Bazhenova E. V., Popova Ya. A., Matvienko N. A. Scientific Approaches to the Use of Red-Pied Cows' Milk in the Production of Soft Cheeses of Combined Composition. VSUET Bulletin. 2021. No. 83. Pp. 146-154.
24. Yashkin A. I. Soft Cheese Quality Management through Optimal Selection of Functional Components. Agro-Food Economics. 2019. No. 4. Pp. 30-34.

Информация об авторах

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

Крючкова Вера Васильевна, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), ORCID: 0000-0002-2324-4222, e-mail: niimmp@mail.ru

Горлов Иван Федорович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, Заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. им. М. Рокоссовского, 6); заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Волгоградский технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), ORCID: 0000-0002-8683-8159, SPIN-код: 8249-9437, e-mail: niimmp@mail.ru

Кудряшова Ольга Владимировна, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. им. М. Рокоссовского, 6), ORCID: 0000-0002-6634-3685, SPIN-код: 9417-2660, e-mail: niimmp@mail.ru

Ткаченко Наталья Андреевна, аспирант, научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. им. М. Рокоссовского, 6), ORCID: 0000-0002-2324-4222, SPIN-код: 4623-7600, e-mail: natashka34rus@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. им. М. 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

Сложенкина Александра Алексеевна, аспирант, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. им. М. Рокоссовского, 6), ORCID: 0000-0001-5913-5303.

Authors' Information

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

Kryuchkova Vera Vasilyevna, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, Volga Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation 400066, Volgograd, Rokossovskiy str., 6), ORCID: 0000-0002-2324-4222, e-mail: niimmp@mail.ru

Gorlov Ivan Fedorovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation, Chief Researcher, Volga Research Institute of Meat and Dairy Products Production and Processing (Russian Federation 400066, Volgograd, Rokossovskiy str., 6); Head of the Department, Volgograd State Budgetary Educational Institution of Higher Education Technical University" (Russian Federation, Volgograd, 400005, Lenin Ave., 28), ORCID: 0000-0002-8683-8159, SPIN-код: 8249-9437, e-mail: niimmp@mail.ru

Kudryashova Olga Vladimirovna, Candidate of Biological Sciences, Junior Researcher, Volga Research Institute of Meat and Dairy Products Production and Processing (Russian Federation 400066, Volgograd, Rokossovskiy str., 6), ORCID: 0000-0002-6634-3685, SPIN code: 9417-2660, e-mail: niimmp@mail.ru

Tkachenkova Natalia Andreevna, Post-graduate Student, Researcher, Volga Research Institute of Meat and Dairy Products Production and Processing (Russian Federation 400066, Volgograd, Rokossovskiy str., 6), ORCID: 0000-0002-2324-4222, SPIN code: 4623-7600, e-mail: natashka34rus@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, Universitetskii Ave., 26), ORCID: 0000-0002-0730-853X, e-mail: esvoronts@mail.ru

Slozhenkina Aleksandra Alekseevna, Post-graduate Student, Volga Research Institute of Meat and Dairy Products Production and Processing (Russian Federation 400066, Volgograd, Rokossovskiy str., 6), ORCID: 0000-0001-5913-5303.

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-68

THE DESIGN OF THE MEAT-CONTAINING CANNED FOOD ACCORDING TO THE TECHNOLOGY SOUS VIDE WITH THE SPECIFIED PROPERTIES

¹Rysmukhambetova G. E., ¹Beloglazova K. E., ¹Kurako U. M., ¹Mokretsov I. V., ²Giro T. M.

¹*Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named by N. I. Vavilov
Saratov, Russian Federation*

²*Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author: E-mail: kum13@rambler.ru

Received 29.07.2025

Submitted 28.10.2025

Abstract

Introduction. The present study is devoted to the development of functional canned meat from legumes using Sous vide technology. A control recipe for canned meat "Boiled beef with bean products" was selected. After analyzing the qualitative characteristics and nutritional value of the control sample, it was decided to replace the herbal part of the formulation with a more functional one. Beans in canned food have been replaced with mash culture, which has a number of advantages. Technological modes of pre-hydration of mash grains and modes of subsequent Sous vide processing were selected, ensuring high quality indicators of canned meat. The second stage was the enrichment of the canned meat formulation with a functional additive. The concentration of dietary fiber application of pumpkin powder (pumpkin matcha) and pumpkin seed flour is from 0.4 to 2.0 %, in increments of 0.2. According to the results of the tasting, the prototype with a concentration of pumpkin seed flour of 1.6 % turned out to be the best. According to the results of research conducted at the Department of Food Technology, on the basis of the testing laboratory for determining the quality of food and agricultural products of the Vavilovsky University, it was found that all the canned food developed in their organoleptic, physico-chemical and microbiological parameters meet the requirements for canned meat (GOST 32245-2013). Based on the analysis of the chemical composition of canned meat "Beef with mash", it was revealed that the use of a systematic approach and Sous vide technology allows to preserve the nutritional potential of finished products due to a more gentle heat treatment regime, namely due to low temperatures that do not destroy macro-and microelements. In the course of the research, the formulation and technological solutions for the production of canned meat were selected, the

commodity characteristics of the finished product were determined, and the economic efficiency of the production of this product was calculated. According to the calculations, it was established that the profit from the sale of finished products for 1 serving of a dish would amount to 73.44 rubles, and the return on sales would be 50 %.

Keywords: *canned meat, Sous vide, sous vide, production of canned meat, vegetable components of canned meat.*

Citation. Rysmukhambetova G. E., Beloglazova K. E., Kurako U. M., Mokretsov I. V., Giro T. M. The design of the meat-containing canned food according to the technology Sous vide with the specified properties. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 627-635 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-68.

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 637.521.2

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЯСОСОДЕРЖАЩИХ КОНСЕРВОВ ПО ТЕХНОЛОГИИ SOUS VIDE С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ

¹ **Рысмукхамбетова Г. Е.**, кандидат биологических наук, заведующий кафедрой

¹ **Белоглазова К. Е.**, кандидат сельскохозяйственных наук, ассистент

¹ **Курако У. М.**, кандидат биологических наук, доцент

¹ **Мокрецов И. В.**, кандидат технических наук, доцент

² **Гиро Т. М.**, доктор технических наук, профессор

¹ *Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова
г. Саратов, Российская Федерация*

² *Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции
г. Волгоград, Российская Федерация*

Аннотация. Настоящее исследование посвящено разработке функциональных мясосодержащих консервов из бобовых культур по технологии Sous vide. Была подобрана контрольная рецептура мясорастительных консервов «Говядина отварная с бобовыми продуктами». Проанализировав качественные характеристики и пищевую ценность контрольного образца, приняли решение о замене растительной части рецептуры на более функциональные. Фасоль в составе консервов заменили культурой маша, обладающую рядом преимуществ. Были подобраны технологические режимы предварительной гидратации зерен маша и режимы последующей Sous vide обработки, обеспечивающие высокие показатели качества мясосодержащих консервов. Вторым этапом было обогащение рецептуры мясорастительных консервов функциональной добавкой. Концентрация внесения пищевых волокон порошка тыквы (матча тыквы) и муки из семян тыквы от 0,4 до 2,0 %, с шагом 0,2. По результатам дегустации лучшим оказался опытный образец с концентрацией муки из семян тыквы 1,6 %. По результатам проведенных исследований на кафедре «Технологии продуктов питания», на базе испытательной лаборатории по определению качества пищевой и сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО Вавиловский университет, установлено, что все разработанные консервы по своим органолептическим, физико-химическим и микробиологическим показателям соответствуют требованиям, предъявляемым к консервам мясосодержащим (ГОСТ 32245-2013). На основании анализа химического состава мясосодержащих консервов «Говядина с машем», выявили, что использование системного подхода и технологии Sous vide позволяет сохранить нутриентный потенциал готовых изделий за счет более щадящего режима тепловой обработки, а именно благодаря низким температурам, которые не разрушают макро- и микроэлементы. В ходе исследований были подобраны рецептурно-технологические решения производства мясосодержащих консервов, определены товароведческие характеристики готового продукта, а также выполнен расчет экономической эффективности производства данного продукта. По данным расчетов установлено, что прибыль от реализации готовой продукции за 1 порцию блюда составит 73,44 руб., а рентабельность продаж – 50 %.

Ключевые слова: *мясосодержащие консервы, Sous vide, су-вид, производство мясосодержащих консервов, растительные компоненты мясосодержащих консервов.*

Цитирование. Рысмукхамбетова Г. Е., Белоглазова К. Е., Курако У. М., Мокрецов И. В., Гиро Т. М. Проектирование мясосодержащих консервов по технологии Sous vide с заданными свойствами. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 627-635. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-68.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Современная концепция животноводства строится на интенсивных способах производства мясного сырья. Сокращается продолжительность выращивания животных, меняются условия содержания и способы откорма, используются ускоренные технологии созревания мяса и др. Совокупность этих факторов приводит к формированию пониженных функционально-технологических характеристик мясопродуктов [1].

На предприятиях индустрии питания возрос объем поставки мясного сырья от более молодых и менее откормленных животных. В связи с этим традиционные методы тепловой обработки мясных полуфабрикатов, с повышенным содержанием соединительной ткани и пониженным количеством жировой, приводят к значительным потерям массы и растворимых пищевых веществ, а также к ухудшению органолептических показателей, а именно, готовые изделия приобретают сухую текстуру и невыраженный вкус. Кроме того, продукты из такого мяса обладают ограниченными сроками годности, в то же время меняются потребительские предпочтения населения, возрастает спрос на мясные продукты высокой степени готовности для здорового питания [2].

Одним из решений поставленной проблемы является использование комбинированных технологий, сочетающихся между собой: воздействие пониженным давлением в безвоздушной среде, низкотемпературная тепловая обработка с предварительным вакуумированием полуфабрикатов в пакеты из биополимерных материалов (технология *Sous vide*) [3, 4].

Известно, что применяемая в последнее время технология *Sous vide* – это такой способ приготовления, при котором продукт запечатывается в воздухонепроницаемые полиэтиленовые пакеты, затем подвергается тепловой обработке в водяной или паровой среде с относительно низкой температурой продолжительное время (этот метод называют «низкотемпературная варка») [5]. Такой способ позволяет производить полуфабрикаты с помощью методов кастомизации (высокой степени готовности, которые удобны для потребителей, безопасны по микробиологическим показателям, сохраняющие заданные органолептические показатели) [6-8].

Цели и задачи. Целью работы являлось проектирование функциональных мясосодержащих консервов по технологии *Sous vide* с заданными свойствами.

В соответствии с поставленной целью были определены следующие задачи:

- подобрать компонентный состав мясосодержащих консервов;
- разработать технологию производства консервов по технологии *Sous vide*;
- определить качественные показатели мясосодержащих консервов;
- рассчитать экономическую эффективность.

Материалы и методы. Объектом экспериментов являлись мясосодержащие консервы из говядины с машем, обогащенные порошком тыквы (матча тыквы) и мукой из семян тыквы.

В работе было использовано пищевое сырье, соответствующее нормативно-технической документации, действующей на территории Российской Федерации (ГОСТ 34120-2017, ГОСТ 34306-2017, ГОСТ ISO 5526-2015, ГОСТ 1129-2013). В качестве функциональных добавок использовали порошок тыквы (матча тыквы) (TeaTeaChay.ru, Россия) и муку из семян тыквы (Маленькая Таежница, Россия), соответствующие техническому регламенту ТР ТС 029/2012.

По органолептическим показателям мясосодержащие консервы должны соответствовать требованиям ГОСТ 32245-2013.

Промышленную стерильность, а именно спорообразующие мезофильные аэробные и факультативно-анаэробные микроорганизмы групп *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis* и мезофильные клостридии *Clostridium botulinum*, *Clostridium perfringens*, определяли по ГОСТ 30425.

Массовую долю жира определяли по ГОСТ 26183, массовую долю белка по ГОСТ 25011, массовую долю хлоридов по ГОСТ 26186.

Расчет пищевой и энергетической ценности готовой продукции проводили с помощью таблиц химического состава российских продуктов расчетным методом [9].

Оценка экономической эффективности разработанных мясосодержащих консервов проводилась с учетом затрат на заработную плату, капитальных затрат, затрат на приобретение и эксплуатацию оборудования, сырья и материалов, текущих затрат при определенной производственной программе.

Результаты и обсуждение. Исследования проводились на кафедре «Технологии продуктов питания», на базе испытательной лаборатории по определению качества пищевой и сельскохозяйственной продукции, а также с использованием оборудования ЦКП «Агропродукт» ФГБОУ ВО Вавиловский университет.

Sous-vide технология использует уникальную способность воды равномерно передавать продуктам тепло. Это свойство широко используется и в традиционной кухне при варке и тушении, однако там вода отбирает часть ценных нутриентов продукта или меняет их структуру. Вакуумная же упаковка пищевого продукта в пищевой пластиковый пакет и возможность автоматического поддержания заданной температуры приготовления в специальном тепловом оборудовании превращает воду в нейтральный носитель тепловой энергии. Это позволяет деликатно готовить блюда: температура равномерна по всему объему и никогда не превышает температуру готовности продукта [10].

В качестве контроля была использована рецептура консервов «Говядина отварная с бобовыми продуктами» ГОСТ 34159-2017.

Для увеличения количества белка, а также повышения аминокислотного состава было принято решение заменить фасоль на другую зернобобовую культуру – маш. Маш является малоизвестной культурой в Российской Федерации, которая по своим ботаническим характеристикам могла бы возделываться на территории Саратовской области в качестве нового вида нетрадиционного сырья, решая проблему дефицита белка в регионе [11,12].

Несмотря на ценные свойства этой бобовой культуры, направление по изучению функционально-технологических особенностей зерна маша, входящего в виде комплексного ингредиента мясорастительной системы, не освещено. Таким образом, применение маша в составе мясopодуKтоB имеет глубокую научную и перспективную основу.

Опытным путем установили, что для предварительной гидратации зернобобовой культуры маша перед последующей Sous vide обработкой, зерна необходимо бланшировать 40 мин, а уже затем добавлять в рецептуру.

Следующим этапом было изучение влияния пищевых волокон – порошка тыквы (матча тыквы) и муки из семян тыквы на органолептические свойства готовых мясосодержащих консервов.

Порошок тыквы (матча тыквы) – это порошок сушеной тыквы для использования в кулинарии, отличающийся насыщенным желтым цветом и мелким помолом.

Мука из семян тыквы отличается высоким содержанием витаминов (А, В₁, В₂, В₃, В₄, В₆, Е, С, Р), а также содержит цинк, железо, кальций, магний, селен и фосфор [13].

Пищевые волокна вносили в концентрации от 0,4 до 2,0 %, с шагом 0,2 (таблица 1).

Таблица 1 – Матрица эксперимента

Table 1 – Experiment matrix

Порошок тыквы (матча тыквы) / Pumpkin powder (pumpkin matcha)									
Концентрация, % / Concentration, %	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
№ образца / Sample №	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
Мука из семян тыквы / Pumpkin seed flour									
Концентрация, % / Concentration, %	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
№ образца / Sample №	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9

Затем опытные образцы вакуумировали в полимерные пакеты и подвергали тепловой обработке в Sous vide аппарате при температуре 62 °С на протяжении 8 ч.



а)

б)

Рисунок 1 – Опытные образцы мясосодержащих консервов: а – контроль; б – образец № 2.7
Figure 1 – Experimental samples of meat-containing canned goods: a – control; б – sample No. 2.7

На рисунке 1 видно, что внешний вид опытных образцов мясосодержащих консервов не изменялся в зависимости от концентрации пищевых волокон. Цвет изделий был свойственный одноименным блюдам, подвергнутым тепловой кулинарной обработке.

Консистенция всех опытных образцов соответствовала нормативным значением. Зерна маша были мягкие, но не разваренные, овощи были не жесткие, мясо говядины сочное, не жесткое и не разваренное.

Установлено, что у опытных образцов № 1.1 и № 1.2 вкус был не выражен, запах тыквы не ощущался.

Более выраженным запахом тыквы отличались образцы № 1.3 – № 1.9.

Кроме этого, отмечено, что более приятным вкусом обладали образцы № 1.3 – № 1.5. С увеличением концентрации порошка тыквы от 1.4 % до 2,0 % вкус у готовых изделий имел неприятное послевкусие.

Отмечено, что опытные образцы с добавлением муки из семян тыквы не отличались между собой по запаху, так он был приятным и соответствовал входящим компонентам.

Во время проведения дегустации отмечено, что по вкусу образцы № 2.1 и № 2.2 не отличались друг от друга, а вот уже с увеличением концентрации муки из семян тыквы от 0,8 % до 1,4 % вкус изделий становился более интенсивным. Отмечено, что у опытного образца № 2.7 с концентрацией пищевых волокон 1,6 % вкус был более выраженным, приятным, а у образцов № 2.8 и № 2.9 ощущалось неприятное послевкусие.

На рисунке 2 представлены органолептические профили опытных образцов мясосодержащих консервов.

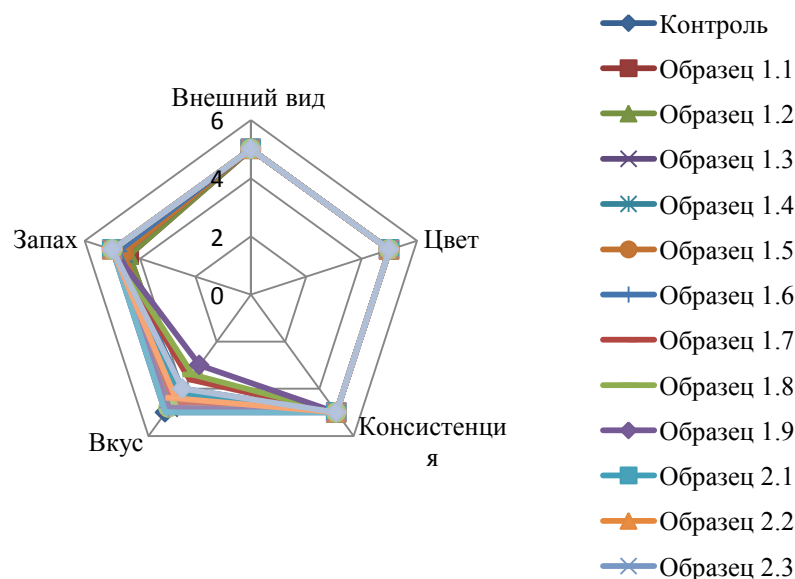


Рисунок 2 – Органолептические профили опытных образцов мясосодержащих консервов
Figure 2 – Organoleptic profiles of experimental samples of meat-containing canned goods

На основании органолептической оценки наилучшим был выбран образец № 2.7, так как входящие в него компоненты легко перемешивались, а также были равномерно распределены по упаковке. Запах и вкус были свойственны данному виду продукта, с учетом используемых рецептурных ингредиентов, без постороннего привкуса и аромата.

Для приготовления мясосодержащих консервов образца № 2.7 зерна маша очищают от примесей и неполноценных зерен, затем бланшируют 40 минут. Лук обжаривают в растительном масле с добавлением томат-пасты. Затем продукты перемешивают, добавляют специи, вакуумируют в полимерные пакеты и подвергают тепловой обработке в Sous vide аппарате при температуре 62 °C на протяжении 8 ч. Далее консервы охлаждают до температуры 30-40 °C и реализуют.

На рисунке 3 представлена технологическая схема приготовления опытного образца № 2.7.

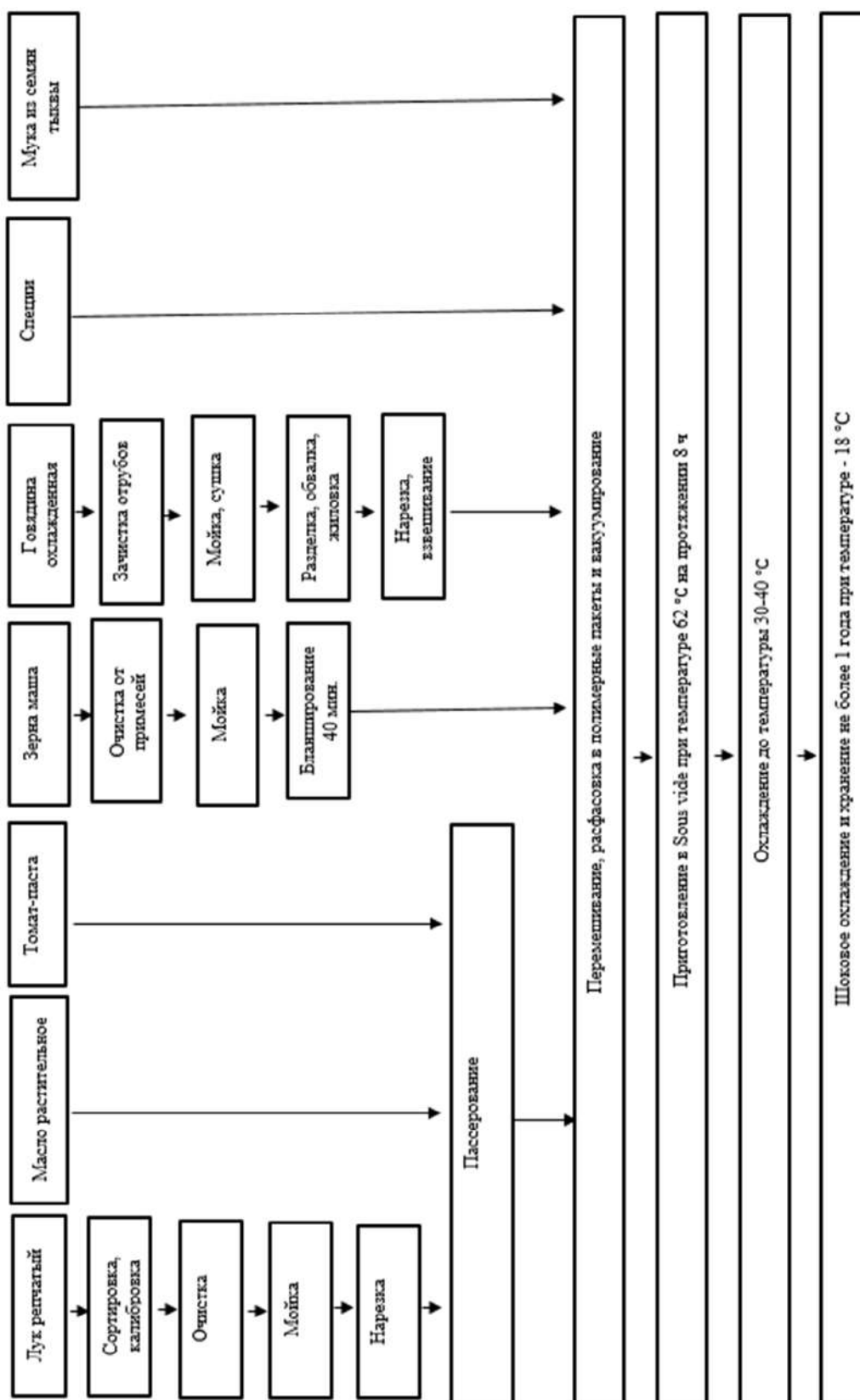


Рисунок 3 – Технологическая схема приготовления опытного образца №2.7

Figure 3 – Technological scheme for the preparation of prototype No. 2.7

Исследование физико-химических и микробиологических показателей проводились на базе испытательной лаборатории по определению качества пищевой и сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО Вавиловский университет (таблица 2, 3).

Таблица 2 – Физико-химические показатели мясосодержащих консервов, приготовленных в Sous vide аппарате

Table 2 – Physicochemical parameters of meat-containing canned goods prepared in a Sous vide apparatus

Показатели / Indicators	Нормативные значения по ГОСТ 18224-2013 / Standard values according to the State Standard 18224-2013	Образец № 2.7 / Sample No 2.7
Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, %	не менее 3,00 / not less than 3.00	13,04±15,00
Массовая доля жира, % / Mass fraction of fat, %	не более 10,00 / not more than 10.00	2,60±12,00
Массовая доля хлоридов, % / Mass fraction of chlorides, %	от 1,2 до 2,0 / from 1.2 to 2.0	0,20±8,00

Из таблицы 3 видно, что опытные образцы мясосодержащих консервов, приготовленных в Sous vide аппарате, в целом соответствовали нормативным значениям, описанным в ГОСТ 18224-2013. Незначительные отклонения по массовой доле хлоридов объясняется снижением количества добавляемой пищевой соли в рецептуру. Поэтому данные мясосодержащие консервы для контроля качества продукции, соблюдения технологических процессов и обеспечения безопасности рекомендуется хранить не при температуре до 25 °С, а подвергать шоковой заморозке.

Таблица 3 – Промышленная стерильность мясосодержащих консервов, приготовленных в Sous vide аппарате

Table 3 – Industrial sterility of meat-containing canned goods prepared in a Sous vide apparatus

Наименование показателей / Name of indicators	Нормативные значения TP TC 021/2011 / Normative values of technical standards 021/2011	Образец № 2.7 / Sample No 2.7
Промышленная стерильность / Industrial Sterility	соответствует / matches	соответствует / matches
Спорообразующие мезофильные аэробные и факультативно-анаэробные микроорганизмы групп <i>B.cereus</i> / Spore-forming mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms of the <i>B.cereus</i> groups	не допускаются в 1 г / are not allowed in 1 g	не обнаружено в 1,0 г / not found in 1.0 g
Спорообразующие мезофильные аэробные и факультативно-анаэробные микроорганизмы групп <i>B.subtilis</i> / Spore-forming mesophilic aerobic and facultative-anaerobic microorganisms of the <i>B.subtilis</i> groups	не допускаются в 1 г / are not allowed in 1 g	не обнаружено в 1,0 г / not found in 1.0 g
Мезофильные клостридии <i>C.botulinum</i> / Mesophilic <i>Clostridia C.botulinum</i>	не более 11 клеток в 1 г / no more than 11 cells per 1 g	не обнаружено в 1,0 г / not found in 1.0 g
Мезофильные клостридии <i>C.perfringens</i> / Mesophilic <i>Clostridia C. perfringens</i>	не более 11 клеток в 1 г / no more than 11 cells per 1 g	не обнаружено в 1,0 г / not found in 1.0 g

Из таблицы 4 видно, что в опытных образцах мясосодержащих консервов, приготовленных в Sous vide аппарате, отсутствуют микроорганизмы, способные развиваться при температуре хранения, установленной для конкретного вида консервов, а также микробные токсины, опасные для здоровья человека.

При расчете экономических показателей установлено, что прибыль от реализации готовой продукции за 1 порцию блюда составит 73,44 руб., а рентабельность продаж – 50 %.

Выводы. Таким образом, в ходе исследований были подобраны рецептурно-технологические решения производства мясосодержащих консервов, определены товароведческие характеристики готового продукта, а также выполнен расчет экономической эффективности производства. Обоснована целесообразность выбора технологии Sous vide в производстве мясосодержащих консервов.

Conclusions. Thus, in the course of the research, recipe and technological solutions for the production of canned meat were selected, commodity characteristics of the finished product were determined, and the economic efficiency of production was calculated. The feasibility of choosing Sous vide technology in the production of canned meat was substantiated.

Библиографический список

1. Елисеева С. А., Ключевин К. Д. Комбинированная ресурсоэффективная технология мясных полуфабрикатов для здорового питания. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2020. Т. 8. № 1. С. 57-65.
2. Потороко И. Ю., Цирульниченко Л. А., Ботвинникова В. В. Формирование качества продуктов животного происхождения с позиций соответствия потребительским требованиям. Вестник ЮУрГУ. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2015. Т. 3. № 3. С. 75-82.
3. Куткина М. Н., Елисеева С. А. Инновации в технологии продукции индустрии питания. СПб.: Троицкий мост, 2016. 160 с.
4. Фединашина Е. Ю., Елисеева С. А. Исследование параметров обработки растительного и животного сырья с применением высокотехнологичного оборудования. Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 3-2 (45). С. 51-53.
5. Юфеев Р. А. Технология sous-vide (су-вид) – перспективный метод сохранения массы продукта при термической обработке. Научные труды студентов Ижевской ГСХА. Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2020. Том 1 (10). С. 955-958.
6. Ахмадова К. К., Чернова Е. В., Фединашина Е. Ю. Влияние технологии sous vide на качество и безопасность кулинарной продукции из филе индейки. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2018. Т. 7. № 3 (43). С. 93-98.
7. Фофанова Т. С. Технология су-вид – не которые аспекты качества и микробиологической безопасности. Теория и практика переработки мяса. 2018. № 3 (1). С. 59-68.
8. Елисеева С. А., Полевик А. А. Применение упаковки в индустрии питания. Пищевая индустрия и общественное питание: современное состояние и перспективы развития: Первая Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием. Самара: СГТУ, 2017. С. 136-141.
9. Скурихин И. М., Волгарев М. Н. Химический состав пищевых продуктов. М.: Книга по Требованию, 2023. Т. 2. 362 с.
10. Дьячков А. Я., Ренёва Ю. А., Михалева Е. В. Инновационные технологии производства мясных продуктов: учебное пособие. Пермь: ПГАТУ, 2022. 279 с.
11. Ториков В. Е., Мельникова О. В., Резунова М. В. Культурные растения в мировом земледелии. Зерновые и зернобобовые культуры. Санкт-Петербург: Лань, 2023. 176 с.
12. Суховарова М. А., Чижикова О. Г., Коршенко Л. О. Перспективы использования семян маша в хлебопечении. Дальневосточный аграрный вестник. 2017. № 1. С. 61-66.
13. Голубцова Ю. В. Теоретические и практические аспекты формирования качества продуктов переработки растительного сырья: монография. Кемерово: КеМГУ, 2017. 179 с.

References

1. Eliseeva S. A., Klyukvin K. D. Combined resource-efficient technology of semi-finished meat products for healthy nutrition. Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and biotechnology. 2020. Vol. 8. No. 1. Pp. 57-65.
2. Potoroko I. Yu., Tsurulnichenko L. A., Botvinnikova V. V. Formation of the quality of animal products from the standpoint of compliance with consumer requirements. Bulletin of SUSU. Series: Food and biotechnology. 2015. Vol. 3. No. 3. Pp. 75-82.
3. Kutkina M. N., Eliseeva S. A. Innovations in the technology of food industry products. SPb.: Troitsky Bridge, 2016. 160 p.
4. Fedinishina E. Yu., Eliseeva S. A. Investigation of processing parameters of plant and animal raw materials using high-tech equipment. International Scientific Research Journal. 2016. No. 3-2 (45). Pp. 51-53.
5. Yuferev R. A. Sous-vide technology - a promising method of preserving product mass during heat treatment. Scientific papers of Izhevsk State Agricultural Academy students. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2020. Volume 1 (10). Pp. 955-958.
6. Akhmadova K. K., Chernova E. V., Fedinishina E. Yu. The influence of sous vide technology on the quality and safety of culinary products from turkey fillets. XXI century: the results of the past and the problems of the present plus. 2018. Vol. 7. No. 3 (43). Pp. 93-98.
7. Fofanova T. S. Su-vid technology – some aspects of quality and microbiological safety. Theory and practice of meat processing. 2018. No 3 (1). Pp. 59-68.
8. Eliseeva S. A., Polevik A. A. Application of packaging in the food industry. Food Industry and Public Catering: Current State and Development Prospects: The First All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. Samara: SSTU, 2017. Pp. 136-141.
9. Skurikhin I. M., Volgarev M. N. Chemical Composition of Food Products. Moscow: Kniga po Trebovaniya, 2023. V. 2. 362 p.
10. Dyachkov A. Ya., Reneva Yu. A., Mikhaleva E. V. Innovative technologies for the production of meat products: a textbook. Perm: PGATU, 2022. 279 p.
11. Torikov V. E., Melnikova O. V., Rezunova M. V. Cultivated plants in world agriculture. Grain and leguminous crops. St. Petersburg: Lan, 2023. 176 p.
12. Sukhovarova M. A., Chizhikova O. G., Korshenko L. O. Prospects of using mash seeds in bakery. Far Eastern Agrarian Bulletin. 2017. No. 1. Pp. 61-66.
13. Golubtsova Yu. V. Theoretical and practical aspects of the formation of the quality of processed vegetable raw materials: monograph. Kemerovo: KemGU, 2017. 179 p.

Информация об авторах

Рысмухамбетова Гульсара Есенгильдиевна, кандидат биологических наук, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3), ORCID – 0000-0003-4224-5922, e-mail: gerismuh@yandex.ru

Белоглазова Кристина Евгеньевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ассистент кафедры, ФГБОУ ВО Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3), ORCID – 0000-0002-0665-9928, e-mail: k.beloglazova@yandex.ru

Курако Ульяна Михайловна, кандидат биологических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3), ORCID – 0000-0002-5066-6789, e-mail: kum13@rambler.ru

Мокрецов Иван Валериевич, кандидат технических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3), ORCID – 0009-0001-9986-3441, e-mail: mokretsov@mail.ru

Гиро Татьяна Михайловна, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом, ФГБГНУ Поволжский научно-исследовательский институт переработки мясомолочной продукции. ORCID – 0000-0003-3039-1324, e-mail: giro.tm@rgau-msha.ru

Authors' Information

Rysmukhambetova Gulsara Yesengildievna, Candidate of Biological Sciences, Head of the Department, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, 410012, Saratov, Peter Stolypin Ave., 4/3), ORCID – 0000-0003-4224-5922, e-mail: gerismuh@yandex.ru

Beloglazova Kristina Evgenievna, Candidate of Agricultural Sciences, Assistant Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, 410012, Saratov, Peter Stolypin Ave., 4/3), ORCID – 0000-0002-0665-9928, e-mail: k.beloglazova@yandex.ru

Kurako Ulyana Mikhailovna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, 410012, Saratov, Peter Stolypin Ave., 4/3), ORCID – 0000-0002-5066-6789, e-mail: kum13@rambler.ru

Mokretsov Ivan Valerievich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, 410012, Saratov, Peter Stolypin Ave., 4/3), ORCID – 0009-0001-9986-3441, e-mail: mokretsov@mail.ru

Giro Tatiana Mikhailovna, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department, Volga Scientific Research Institute of Meat and Dairy Products Processing, ORCID – 0000-0003-3039-1324, e-mail: giro.tm@rgau-msha.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-69

THE COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE EFFECT OF WHITE GRAIN AND BROWN FLAX FLOUR ON THE RHEOLOGICAL AND BAKING PARAMETERS**Nikonorova Yu. Yu., Vikhrova E. A., Kosykh L. A., Kazarina A. V.***Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences
Kinel, Samara region, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: yuliya_zinkova12@mail.ru

Received 11.04.2024

Submitted 26.09.2025

Summary

This article describes a comprehensive assessment of new varieties of spring barley in a competitive variety testing. The studied varieties turned out to be more resistant to the extreme conditions of the Middle Volga region zone than they are recommended for cultivation in the 7th region.

Abstract

Introduction. Flax seeds are a source of a number of valuable ingredients and are used for targeted modeling of the nutritional value of bakery products. The purpose of this work is to increase the nutritional value of wheat bread made from coarse wheat flour and to determine the effect of replacing the components in its composition with flaxseed flour from various seeds on the quality of the dough and the finished product. The main subject of the study was flour mixtures obtained by mixing wheat flour of the first grade and flaxseed flour from different seeds in a percentage ratio 95:5, 90:10, 85:15 and 80:20. The rheological properties of the test were studied using an Alveograph NG device (Chopin Technologies, France) in the technological laboratory of the P. N. Konstantinov Volga Scientific Research Institute of Breeding and Seed Production, a branch of the SAMSC RAS. Based on the laboratory studies carried out, the composition of the ingredients in the fortified bread recipe was selected. To increase the nutritional value and improve the technological qualities of the product, an ingredient such as flaxseed flour from various seeds was used. The study of the rheological properties of the studied test samples showed that flour from various flax seeds changes the gluten structure of flour mixtures towards the gliadin fraction, since flaxseed flour contains little gluten. With an increase in the dosage of flour from various flax seeds in flour composite mixtures, an increase in the elastic properties of gluten is observed, with a ratio of wheat flour and flaxseed flour in the amount (from white seeds) of 95:5, the amount of gluten was 28.2 %, and the IDC was 80 units. The deformation energy *w* of the dough from composite mixtures will increase with an increase in the proportion of whole grain flax-

seed flour, thereby increasing the bread yield. It can be argued that the addition of flaxseed flour from white seeds to the formulation of wheat bread in an amount of 5 % improves the organoleptic, rheological and physical and chemical properties of the dough and finished products.

Keywords: white flaxseed flour, brown flaxseed flour, flour mixtures, rheological properties of dough, amount of gluten, bread quality.

Citation.., Nikonorova Yu. Yu., Vikhrova E. A., Kosykh L. A., Kazarina A. V. The comparative assessment of the effect of white grain and brown flax flour on the rheological and baking parameters. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2025. 6(84). 635-643 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-69.

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 664.661

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МУКИ ИЗ БЕЛОЗЕРНОГО И КОРИЧНЕВОГО ЛЬНА НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ХЛЕБОПЕКАРНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Никонорова Ю. Ю., младший научный сотрудник лаборатории

Вихрова Е. А., младший научный сотрудник

Косых Л. А., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

Казарина А. В., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

Самарский федеральный исследовательский центр РАН
г. Самара, Российская Федерация

Аннотация. Исследование направлено на увеличение питательной ценности хлеба из пшеничной муки и определение влияния льняной муки различных семян на качество теста и готового хлебобулочного изделия. Мучные смеси из пшеничной и льняной муки с различными пропорциями были использованы для моделирования. Для анализа реологических свойств теста использовался прибор Alvejgraph NG от компании Chopin Technologies в технологической лаборатории Поволжского научно-исследовательского института селекции и семеноводства им. П. Н. Константинова – филиала САМНЦ РАН. На основании проведенных лабораторных исследований был подобран состав ингредиентов в рецептуре обогащенного хлеба. Исследование свойств мучных смесей показало, что добавление льняной муки из различных семян улучшает технологические характеристики продукта и обогащает его пищевую ценность. Повышение дозировки льняной муки приводит к увеличению эластичности клейковины в мучных смесях. Структура клейковины изменяется в сторону глиадиновой фракции из-за низкого содержания клейковины в льняной муке. При соотношении пшеничной муки и льняной муки в пропорции 95:5 содержание клейковины составило 28,2 %, а ИДК достигало 80 единиц. При увеличении процента цельнозерновой льняной муки в композитных смесях для теста, энергия деформации также возрастает, что способствует увеличению производства хлеба. Добавление льняной муки из белых семян в рецептуру пшеничного хлеба в объеме 5 % приводит к улучшению органолептических, реологических и физико-химических характеристик теста и конечных изделий.

Ключевые слова: льняная мука белая, льняная мука коричневая, мучные смеси, реологические свойства теста, количество клейковины, качество хлеба.

Цитирование. Никонорова Ю. Ю., Вихрова Е. А., Косых Л. А., Казарина А. В. Сравнительная оценка влияния муки из белозерного и коричневого льна на реологические и хлебопекарные показатели. *Известия НВ АУК.* 2025. 6(84). 635-643. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-06-69.

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. Важным шагом в разработке продуктов питания является подбор оптимальных технологических режимов для достижения необходимых функциональных характеристик [1, 2]. Развитие перерабатывающей промышленности включает в себя внедрение экономических технологий, сочетающихся с принципами пищевой комбинаторики. Это способствует более глубокой обработке сырья, обеспечению населения инновационными продуктами, снижению издержек и увеличению конкурентоспособности выпускаемой продукции [3].

Исследование растений с низким риском для аллергии, в числе которых выделяется льняное семя, представляет собой перспективное направление. Льняное семя, как источник клетчатки, способствует снижению уровня глюкозы в крови и применяется в борьбе с ожирением у обоих полов. Культура льна находит широкое применение в различных от-

раслях: от производства красителей и линолеума до кормления скота, производства лекарственных, пищевых волокон и многого другого. Кроме того, льняное семя можно обработать жаркой, экструзией, растяжением для увеличения его полезности в разнообразных продуктах питания [4].

Существуют разные сорта семян льна, окраска которых может быть желтой или коричневой, причем условия выращивания оказывают влияние на химический состав семян. Белые (золотистые или желтые) семена льна, благодаря своему уникальному натуральному составу, представляют особый интерес как функциональный диетический продукт, содержащий множество биологически активных веществ, которые поддерживают здоровье. Из анализа литературных источников следует, что коричневые семена льна содержат 41 % жира, 20 % белка, 29 % углеводов, в том числе 28 % – это волокна, а остальные 10 % – это вода, минералы, витамины и прочие питательные вещества [5, 6].

Исследования показали, что льняные семена содержат 9 % насыщенных, 18 % мононенасыщенных и 73 % полиненасыщенных жирных кислот. Содержание питательных веществ в коричневых и белых сортах льняного семени практически одинаково. Окраска оболочки семян зависит от количества пигмента в них, и этот параметр можно изменить с помощью традиционных методов селекции растений. Потребители будут обращать внимание на цену и внешний вид при выборе пищевого продукта с льняным семенем из-за его сходства в пищевой ценности [7].

Использование измельченных семян льна в рецептах выпечки позволяет улучшить пищевую ценность блюд, обогатить их витаминами и микроэлементами благодаря высоким влагоудерживающим свойствам семян [8].

Целью настоящего исследования было экспериментальное обоснование возможности применения продуктов переработки семян льна на показатели качества теста и готового изделия.

Объекты и методы исследования. Для проведения исследования использовались смеси из пшеничной муки высшего качества и различных видов льняной муки в соотношениях 95:5, 90:10, 85:15 и 80:20.

Контрольной группой была пшеничная мука высшего сорта, которая использовалась для изучения свойств теста и качества хлеба при создании композитных смесей. Для выпечки хлебобулочных изделий использовались смеси из пшеничной муки, дрожжей, соли, воды и различных видов льняной муки.

Для получения результатов по композитным смесям и хлебу использовались стандартные методы оценки, принятые в индустрии производства зерна и выпечки.

Определение содержания белкового азота, крахмала, жира и зольности проводилось в цельнозерновой муке в соответствии с ГОСТами 10846-9, 10845-98, 29033-91 и 51411-99 (ИСО 5530-1-97).



Рисунок 1 – Фотография образцов цельнозерновой льняной муки из белых и коричневых семян
Figure1 – Photograph of whole grain flax flour samples made from white and brown seeds

Изучение реологических параметров теста экспериментальных рецептов проводилось в соответствии с ГОСТ Р 51415-99 при помощи прибора Alvegraph ng (Chopin Technologies, Франция). В процессе эксперимента тесто смешивалось с добавлением соли, что приводило к получению образцов однородной толщины после проведения испытаний.

Затем производилось надувание образца в форме пузыря воздухом и изменение давления внутри пузыря отслеживалось на графике со временем. Для оценки внешнего вида хлеба, состояния мякиша, вкуса и запаха использовались органолептические методы.

Для определения качественных характеристик мякиша применяют различные методы согласно стандартам ГОСТ. Например, кислотность мякиша измеряют с помощью титрования 0,1 м пробы по ГОСТ 5670-96. Влажность мякиша определяли сушкой панировочных сухарей массой 5 г при температуре 130 и 20 °С в течение 45 минут с последующим взвешиванием и расчетом значения в процентах в соответствии с ГОСТ 21094-75.

Для определения пористости мякиша использовали метод, который предполагает создание цилиндрических углублений крошек с последующим их взвешиванием и расчетом значения в процентах по ГОСТ 5669-96 с применением прибора Журавлева. Удельный объем хлеба определяли как отношение объема продукта к его массе согласно ГОСТ 27669-88 (см³/г).

Для оценки устойчивости формы хлеба рассчитывали отношение высоты хлебницы к ее диаметру по ГОСТ 27669-88.

Статистический анализ был использован для обработки результатов исследований, которые были многократно повторены.

Результаты и их обсуждения. Изучено, что белый лен не обладает особым вкусом, а коричневый имеет нотку горечи. Мука из цельного зерна льна белозерного сорта Л – 2011 и льна коричневого сорта Кинельский 2000, выращенного на полях Поволжского НИИСС – филиала СамНЦ РАН, содержит около 37 % белка, 5 % крахмала, 45-47 % жира, 8-10 % клетчатки и 2-3 % золы (см. рисунок 2). Пшеничная мука премиум класса считается чистым продуктом, получаемым из сердцевин пшеничных зерен. Она наиболее богата крахмалом, в наших экспериментах его содержание составляет 84 %, также присутствует небольшое количество белка – 14 %, минимальное количество жира – 1 %, клетчатки – 0,1 %, золы – 0,4 %.

Белки глиадин и глютеин, содержащиеся в пшеничной клейковине, являются основными компонентами этого продукта и нерастворимы в воде. Разнообразие муки напрямую зависит от уровня содержания этих белков: чем он выше, тем более разнообразными бывают сорта муки.



Рисунок 2 – Химический состав пшеничной муки и цельнозерновой муки из льняного семени (белой и коричневой)

Figure 2 – Chemical composition of wheat flour and whole grain flaxseed flour (white and brown)

Вода и солевые растворы лучше растворяют белки из нетрадиционных культур, не образующих глютен, чем пшеничная мука. Однако их высокая пищевая ценность сочетается с низкими технологическими характеристиками [6].

Процесс пищеварения замедляется за счет включения пшеничного глютена в рацион, что снижает эффективность усвоения витаминов организмом. Качество выпечки из пшеничной муки во многом определяется крепостью муки, которая является отражением состояния белково-протеинового комплекса [7].

Реологические свойства теста в целом определяются прочностью муки, что является важным фактором.

В таблице 1 отражены результаты исследования, где представлено воздействие льняной муки на количество клейковины и устройства ИДК из пшеничной муки. Из анализа литературных источников видно, что смешивание льняной муки с пшеничной мукой оказывает влияние на характеристики теста и готовой продукции.

Для выпечки используется мука с клейковиной I (хорошая) и II (удовлетворительная) групп. Ко второй группе относятся сложные смеси с содержанием клейковины 5-10 % в льняной муке с массовой долей сырой клейковины 28-26 %, а также агрегаты оборудования ИДК – 80-87. При добавлении большего количества льняной муки, достигающего 15-20 %, свойства клейковины в пшеничной муке ухудшаются, проявляется ее низкая эластичность и ограниченная растяжимость. Сравнение качества клейковины в составных смесях пшеничной муки и полноценных семян белого и коричневого льна не выявило значительных различий.

Таблица 1 – Показатели качества и количества клейковины

Table 1 – Quality and quantity indicators of gluten

Показатели качества / Quality indicators	Дозировка цельнозерновых семян белого льна, % / Dosage of whole grain white flax seeds, %					Дозировка цельнозерновых семян коричневого льна, % / Dosage of whole grain brown flax seeds, %				
	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20
Цвет / Colour	Белый с бежевым оттенком / White with beige tint		Светло-золотистый / Light golden	Желтый / Yellow	Клейковина не отмылась / Gluten has not been washed off	Белый с коричневатым оттенком / White with a brownish tinge	Светло-коричневый оттенок / Light brownish shade		Коричневый / Brown	Клейковина не отмылась / Gluten has not been washed off
Массовая доля сырой клейковины, % / Mass fraction of crude gluten, %	29,8	28,2	27,3	23,2		29,8	28,0	26,4	22,3	
Показания прибора ИДК – 5М, ед. прибора / Readings of the IDK – 5M device, unit of the device	76,0	80,0	86,0	105,1		76,0	81,0	87,0	106,0	
Группа качества / Quality Group	I	II		III		I	II		III	

Прочность муки из сложных смесей также зависит от других компонентов муки: крахмала, углеводной массы, липидов и тонкости помола. Вязкость теста значительно повышается за счет углеводной массы и тонкости помола, а также высокой водопоглощающей способности. С увеличением доли льняной муки в составных смесях увеличивается количество водорастворимых полисахаридов. Высокое содержание частиц оболочки в муке из льна обусловлено наличием биополимеров – белков и некрахмалистых полисахаридов. Эти вещества способны не только эффективно поглощать влагу, но и задерживать ее на протяжении определенного времени, что приводит к явлению "дополнительного набухания" крупных частиц. Таким образом, анализ данных таблицы 2 показывает, что увеличение доли льняной муки в смесях приводит к увеличению количества водорастворимых полисахаридов.

За счет увеличения доли цельнозерновой муки из семян белого льна и коричневого льна в составных смесях с 5 до 15 % удалось повысить поглощающую способность воды. Показатель увеличился с 68 до 73 % для белого льна и с 69 до 75 % для коричневого льна.

Таблица – 2 Реологические параметры теста из смесей пшеничной муки грубого помола и льняной муки грубого помола (белой и коричневой)
Table 2: Rheological parameters of dough made from mixtures of coarse-ground wheat flour and coarse-ground flax flour (white and brown)

Наименование / Name	Альвиограф / The Alviograph					ВПС, % / UPU, %	Число падения, с. / Number of falls, s.
	Энергия деформации теста W, Дж / The deformation energy of the test is W, J	Максимальное избыточное давление P, мм вод. ст. / Maximum overpressure P, mm of water	Средняя абсцисса при разрыве L, мм / Average abscissa at break L, mm	Показатель формы кривой P/L, мм вод.ст. / мм / Indicator of the shape of the P/L curve, mm of water / mm	Индекс раздувания G, см / Inflation index G, cm		
Пшеничная мука, в/с / Wheat flour, top grade	262*10 ⁻⁴	120,0	110,0	1,1	23,3	65,2	373
Дозировка цельносмолотых семян белого льна в мучной смеси, % / Dosage of whole-ground white flax seeds in flour mixture, %							
5	270*10 ⁻⁴	124,0	90,0	1,4	21,1	68,4	407
10	300*10 ⁻⁴	127,0	85,0	1,5	20,5	71,3	451
15	320*10 ⁻⁴	130,0	50,0	2,6	15,7	73,6	508
НСП _{0,05}	28,3	15,6	10,3	0,24	1,6	5,5	32,7
Дозировка цельносмолотых семян коричневого льна в мучной смеси, % / Dosage of whole-ground brown flax seeds in flour mixture, %							
5	268*10 ⁻⁴	121,0	89,0	1,3	20,9	69,2	420
10	294*10 ⁻⁴	125,0	73,0	1,7	18,9	71,8	460
15	311*10 ⁻⁴	129,0	52,0	2,5	16,0	74,5	528
НСП _{0,05}	25,5	12,8	8,9	0,14	1,3	4,7	29,8

Число падения, характеризующееся действием амилалитических, протеолитических и липолитических ферментов, зависит как от количества и активности ферментов, так и от размера, природы и состояния частиц муки. В муке из льняного семени отсутствуют амилазы. Изучение реологических свойств теста дает наиболее полное представление о крепости муки, поскольку целый комплекс химических веществ, входящих в состав муки, оказывает влияние на результат. Увеличение доли льняной муки в смеси снижает количество амилалитических ферментов, увеличивает липолитические ферменты, что в свою очередь повышает значение количества капель. Таким образом, при увеличении доли цельнозерновой муки, изготовленной из семян белого льна количество капель увеличилось с 407 до 508 единиц, а при добавлении цельнозерновой муки, изготовленной из семян коричневого льна, с 420 до 528 единиц.

Во время процесса брожения тесто поднимается из-за накопления углекислого газа, который растягивает клейковину под давлением. Важно отметить, что этот метод также применяется для анализа реологических характеристик альвеографического теста, где тесто растягивается в разных направлениях, а не только в одном.

При увеличении количества грубой муки в составе, альвеограммы теста показывают увеличение максимального избыточного давления P (высота кривой), но уменьшение значения L (средний отрезок). Растяжимость исследуемых образцов теста снижается, в то время как упругость, наоборот, возрастает. Кроме того, энергия, выделяемая в процессе, зависит от соотношения пшеничной и льняной муки, и уже начинает увеличиваться при пропорции 95:5.

Хлеб был оценен по внешнему виду и вкусу. Внешний вид готового продукта полностью соответствует требованиям. Поверхность хлеба не имеет трещин, имеет однородную выпуклую корку, легкошероховатую поверхность, коричневый оттенок при добавлении тем-

ной льняной муки из коричневых семян и золотистый цвет при добавлении светлой льняной муки из белых семян. Мякиш хлеба однородный, мягкий, без воздушных пустот и уплотнений, с тонкой структурой.

При добавлении 15 % цельнозерновой льняной муки в смесь мякиш хлеба начинает приобретать толстостенную структуру. Во время жевания хлебобулочного изделия с льняной мукой ощущается присутствие мелких частиц льняной шелухи. Хлеб имеет вкус и аромат, характерные для пшеничного хлеба, с приятным запахом и легким вкусом льняной муки (см. изображение 3).



Рисунок 3 – Фотография хлеба из мучных смесей (слева – пшеничная мука в/с (90 %) + цельнозерновая льняная мука из белых семян (10 %), справа – пшеничная мука в/с (90 %) + цельнозерновая льняная мука из коричневых семян (10 %))

Figure 3 – Photo of bread made from flour mixtures (on the left is wheat flour (90 %)+ whole grain flaxseed flour (10%), on the right – wheat flour (90 %)+ whole grain flaxseed flour from brown seeds (10 %))

При добавлении цельнозерновой льняной муки в рецептуру изменяется кислотность белой муки из семян с 3,0 до 4,0 градусов и коричневой муки из семян с 3,0 до 4,2 градусов (см. таблица 3). Это связано с химическим составом нетрадиционного сырья. Увеличение пористости хлеба в результате добавления 5 % цельнозерновой льняной муки приводит к увеличению выхода хлеба и увеличению усвояемости (норма для пшеничного хлеба – 60-75 %) на 1 % по сравнению с контролем.

Таблица 3 – Показатели качества хлеба, приготовленного из пшеничной муки и мучных смесей с добавлением цельнозерновых смесей белого и коричневого льна.

Table 3 – Quality indicators for bread made from wheat flour and flour mixtures with the addition of whole grain white and brown flax

Наименование показателей / Naming of indicators	Дозировка цельнозерновых семян белого льна в мучной смеси / Dosage of whole grain white flax seeds in flour mixture				Дозировка цельнозерновых семян коричневого льна в мучной смеси / Dosage of whole grain brown flax seeds in flour mixture			
	0 %	5 %	10 %	15 %	0 %	5 %	10 %	15 %
Влажность, % / Humidity, %	43,0±0,1	44,5±0,2	47,0±0,2	49,0±0,3	43,0±0,1	45,0±0,1	46,8±0,2	49,1±0,2
Кислотность мякиша, град / Crumb acidity, deg	2,4±0,3	3,0±0,1	3,5±0,1	4,0±0,2	2,4±0,3	3,0±0,1	3,5±0,1	4,2±0,2
Пористость, % / Porosity, %	73,0±3	75,0±2	64±2	59±2	73,0±3	75,0±2	63±2	59±2
Формоустойчивость, Н/Д / Shape stability, Н/Д	6,3±0,3	6,6±0,2	5,3±0,2	4,8±0,2	6,3±0,3	6,0±0,2	5,0±0,2	4,7±0,1
Общая хлебопекарная оценка, балл / Total baking score, point	4,6±0,1	4,9±0	4,3±0,2	3,9±0,2	4,6±0,1	4,8±0,2	4,3±0,2	3,9±0,2

Выводы. Путем анализа представленных данных можно заключить, что добавление цельнозерновой муки из семян льна в смеси с пшеничной мукой высшего качества значительно улучшает свойства полуфабрикатов и готовых продуктов. При соотношении пшеничной и льня-

ной муки (полученной из белых семян) в пропорции 95:5 содержание клейковины составило 28,2 %, а ИДК – 80 единиц. Повышение энергии деформации W теста в результате увеличения доли цельнозерновой льняной муки в композитных смесях приводит к увеличению производства хлеба. Оценка качества хлебобулочных изделий в целом: контрольный образец получил 4,6 балла, при добавлении муки грубого помола из белых семян – 4,9 балла, а при использовании муки грубого помола из коричневых семян – 4,8 балла. Согласно внешним характеристикам, хлеб с добавлением льняной муки из белых семян наиболее подходит по цвету к готовому продукту, так как цвет становится золотистым.

Conclusions. By analyzing the presented data, it can be concluded that the addition of whole grain flour from flax seeds mixed with wheat flour of the highest quality significantly improves the properties of semi-finished products and finished products. With a 95:5 ratio of wheat and flaxseed flour (obtained from white seeds), the gluten content was 28.2 %, and the IDC was 80 units. An increase in the deformation energy W of the dough as a result of an increase in the proportion of whole grain flaxseed flour in composite mixtures leads to an increase in bread production. Evaluation of the quality of bakery products in general: the control sample received 4.6 points, when adding coarse flour from white seeds – 4.9 points, and when using coarse flour from brown seeds – 4.8 points. According to the external characteristics, bread with the addition of flaxseed flour from white seeds is most suitable in color for the finished product, as the color turns golden.

Библиографический список

1. Нициевская К. Н., Чекрыга Г. П., Мотовилов О. К. Исследование технических показателей семян льна белого и коричневого для применения в пищевой промышленности. Ползуновский вестник. 2018. № 1. С. 49-53.
2. Hashemi S., Mollakhalili-Meybodi N., Mohajeri A., Fallahzadeh F., Khalili Sadrabad E. Effect of Goji berry incorporation on the texture, physicochemical, and sensory properties of wheat bread. Food Sci. Nutr. 2024. No 12. Pp. 3982-3992.
3. Kobus Z. et al. Impact of incorporating dried Chaga mushroom (*Inonotus obliquus*) into gluten-free bread on its antioxidant and sensory characteristics. Molecules. 2024. No 29. P.3801.
4. Белявская И. Г., Богатырева Т. Г., Юдина Т. А., Иунихина Е. В. и др. Льняная мука – источник антиоксидантов в хлебобулочных изделиях для здорового питания. Пищевая промышленность. 2015. № 4. С. 32-34.
5. Шуршикова Г. В., Дерканосова Н. М., Пономарева Т. В. Аналитическое обоснование структуры рецептурной смеси для производства хлебобулочных изделий функционального назначения. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2024. Т. 12. № 2. С. 20-28.
6. Конева С. И., Егорова Е. Ю., Козубаева Л. А., Резниченко И. Ю. Влияние льняной муки на реологические свойства теста из смеси пшеничной и льняной муки и качество хлеба. Техника и технология пищевых производств. 2019. Т. 49. № 1. С. 85-96.
7. Болгова М. А., Клейменова Н. Л., Болгова И. Н., Копылов М. В. Исследование питательных веществ коричневых и белых семян льна. Ползуновский вестник. 2021. № 3. С. 13-20.
8. Росляков Ю. Ф., Вершинина О. Л., Гончар В. В. и др. Мука из семян льна в производстве обогащенных хлебобулочных изделий. Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции: сборник материалов III Международной научно-практической конференции. 2019. С. 226-232.
9. Parikh M., Maddaford T. G., Austria J. A., Aliani M. et al. Dietary Flaxseed as a strategy for improving human health. Nutrients. 2019. V. 11. № 5. P. 1171.
10. Кузнецова Е. А., Мордвинкин С. А. Возможность использования измельченных семян льна при производстве пшеничного хлеба. Научно-агрономический журнал. 2019. № 2 (105). С. 18-20.
11. Широкова Н. В., Куц А. А., Куц А. А. Разработка технологии безглютенового хлебобулочного изделия из нетрадиционных видов растительного сырья. Научная жизнь. 2021. Т. 16. № 7 (119). С. 866-875.
12. Ефремов Д. И. Перспективные отечественные разработки в области производства мучных изделий с семенами льна и продуктами их переработки. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2021. № 4 (90). С. 209-218.
13. Хабибуллина Е. А., Марченко Л. В., Снегирева И. В. Физико-химические показатели пшеничного хлеба с добавлением льняной муки. Научные записки ОрелГИЭТ. 2018. № 3 (27). С. 57-60.

References

1. Nitsievskaya K. N., Chekryga G. P., Motovilov O. K. Research of the Technical Characteristics of White and Brown Flax Seeds for Use in the Food Industry. Polzunovsky Vestnik. 2018. No. 1. Pp. 49-53.
2. Hashemi S., Mollakhalili-Meybodi N., Mohajeri A., Fallahzadeh F., Khalili Sadrabad E. Effect of Goji berry incorporation on the texture, physicochemical, and sensory properties of wheat bread. Food Sci. Nutr. 2024. No 12. Pp. 3982-3992.
3. Kobus Z. et al. Impact of incorporating dried Chaga mushroom (*Inonotus obliquus*) into gluten-free bread on its antioxidant and sensory characteristics. Molecules. 2024. No 29. P.3801.
4. Belyavskaya I. G., Bogatyreva T. G., Yudina T. A., Iunikhina E. V. et al. Flax flour is a source of antioxidants in bakery products for a healthy diet. Food Industry. 2015. No. 4. Pp. 32-34.
5. Shurshikova G. V., Derkanosova N. M., Ponomareva T. V. Analytical substantiation of the structure of the formulation mixture for the production of functional bakery products. Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology. 2024. V. 12. № 2. Pp. 20-28.

6. Koneva S. I., Egorova E. Yu., Kozubayeva L. A., Reznichenko I. Yu. Influence of flax flour on the rheological properties of dough from a mixture of wheat and flax flour and the quality of bread. Technique and technology of food production. 2019. V. 49. No. 1. Pp. 85-96.
7. Bolgova M. A., Kleymenova N. L., Bolgova I. N., Kopylov M. V. Research of Nutrients of Brown and White Flax Seeds. Polzunovsky Vestnik. 2021. No. 3. Pp. 13-20.
8. Roslyakov Yu. F., Vershinina O. L., Gonchar V. V., et al. Flaxseed flour in the production of enriched bakery products. Innovative research and development for scientific support of the production and storage of environmentally safe agricultural and food products: collection of materials of the III International Scientific and Practical Conference. 2019. Pp. 226-232.
9. Parikh M., Maddaford T. G., Austria J. A., Aliani M. et al. Dietary Flaxseed as a strategy for improving human health // Nutrients. 2019. V. 11. № 5. P. 1171.
10. Kuznetsova E. A., Mordvinkin S. A. The possibility of using crushed flax seeds in the production of wheat bread. Scientific and Agronomic Journal. 2019. No. 2 (105). Pp. 18-20.
11. Shirokova N. V., Kuts A. A., Kuts A. A. Development of Technology for Gluten-Free Bakery Products from Non-Traditional Types of Plant Raw Materials. Scientific Life. 2021. Vol. 16. No. 7 (119). Pp. 866-875.
12. Efremov D. I. Promising Domestic Developments in the Production of Flour Products with Flax Seeds and Their Processing Products. Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2021. No. 4 (90). Pp. 209-218.
13. Khabibullina E. A., Marchenko L. V., Snegireva I. V. Physical and chemical indicators of wheat bread with added flax flour. Scientific notes OrelGIET. 2018. No. 3 (27). Pp. 57-60.

Информация об авторах

Никонорова Юлия Юрьевна, младший научный сотрудник, Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П. Н. Константинова (Российская Федерация, 446442, Самарская область, г. Кинель, пгт. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, 76), ORCID ID: 0000-0003-0376-261X, e-mail: yuliya_zinkova12@mail.ru

Косых Лариса Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П. Н. Константинова (Российская Федерация, 446442, Самарская область, г. Кинель, пгт. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, 76), ORCID ID: 0000-0002-1804-5851, e-mail: laramart163@mail.ru

Вихрова Елена Александровна, младший научный сотрудник, Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П. Н. Константинова (Российская Федерация, 446442, Самарская область, г. Кинель, пгт. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, 76), ORCID ID: 0000-0003-0376-261X, e-mail: vixrova.lena@mail.ru

Authors' Information

Nikonorova Yulia Yurievna, Junior Researcher, Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, P. N. Konstantinov Volga Research Institute of Breeding and Seed Production (Russian Federation, 446442, Samara Region, Kinel, Ust-Kinelsky, Shosseynaya Street, 76), ORCID ID: 0000-0003-0376-261X, e-mail: yuliya_zinkova12@mail.ru

Kosykh Larisa Aleksandrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Scientific Secretary, Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, P.N. Konstantinov Volga Research Institute of Breeding and Seed Production (Russian Federation, 446442, Samara Region, Kinel, Ust-Kinelsky, Shosseynaya Street, 76), ORCID ID: 0000-0002-1804-5851, e-mail: laramart163@mail.ru

Vikhrova Elena Aleksandrovna, Junior Researcher, Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, P.N. Konstantinov Volga Research Institute of Breeding and Seed Production (Russian Federation, 446442, Samara Region, Kinel, Ust-Kinelsky, Shosseynaya Street, 76), ORCID ID: 0000-0003-0376-261X, e-mail: vixrova.lena@mail.ru

СОДЕРЖАНИЕ / ABSTRACTS

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

Щедрин В. Н., Медведева Л. Н., Куприянов А. А., Гулькова Д. В. Использование природного биостимулятора на виноградниках сухостепной зоны юга России: гипотеза исследования и результат Shchedrin V. N., Medvedeva L. N., Kupriyanov A. A., Gulkova D. V. The use of a natural biological stimulant of the dry steppe zone of the south of Russia: the research hypothesis and the results	16
Беляев, А. И., Петров Н. Ю., Петров Ю. Н., Светличкин А. С., Горбачева А. С., Салаев Б. К., Арылов Ю. Н., Болаев Б. К., Оконов М. М., Батыров В. А. Технологические особенности повышения урожайности подсолнечника в черноземной зоне Belyaev A. I., Petrov N. Yu., Petrov Yu. N., Svetlichkin A. S., Gorbacheva A. S., Salaev B. K., Arylov Yu. N., Bolaev B. K., Okonov M. M., Batyrov V. A. The technological features of the sunflower yield increasing in the chernozem zone	26
Бабичев А. Н., Балакай Г. Т., Юркова Р. Е., Андреева Т. П., Селицкий С. А. Водопотребление хлопчатника при различных режимах орошения в условиях Ростовской области Babichev A. N., Balakai G. T., Yurkova R. E., Andreeva T. P., Selitsky S. A. The water consumption of cotton under the various irrigation regimes in the conditions of the Rostov region	33
Балакай Г. Т., Масный Р. С., Юркова Р. Е., Селицкий С. А. Влияние минеральных удобрений на продуктивность хлопчатника в условиях Ростовской области при орошении Balakai G. T., Masny R. S., Yurkova R. E., Selitsky S. A. The effect of mineral fertilizers on cotton productivity in the Rostov region during irrigation	42
Беляков А. М., Кошелев А. В., Назарова М. В. Поиск сбалансированной структуры агролесомелиоративного комплекса засушливой зоны юга РФ Belyakov A. M., Koshelev A. V., Nazarova M. V. The search for a balanced structure of the agroforestry reclamation complex of the South Russian Federation arid zone	52
Капранов В. Н., Зеленев А. В., Киселев Е. Ф., Тегесов Д. С., Плескачев Н. Ю. Экстраполяция урожайности озимой пшеницы на основе аналитического выравнивания динамического ряда Kapranov V. N., Zelenev A. V., Kiselyov E. F., Tegesov D. S., Pleskachyov N. Yu. The extrapolation of the winter wheat yields based on the analytical alignment of a dynamic series	58
Новиков А. А., Чугунова Е. В., Лысенко И. И. Реакция растений зерновой кукурузы на применение биостимуляторов при возделывании в северной зоне Краснодарского края Novikov A. A., Chugunova E. V., Lysenko I. I. The reaction of the grain corn plants to the use of biological stimulants in cultivation in the northern zone of the Krasnodar region	64
Петров Н. Ю., Денисов К. Е., Солодовников А. П., Кузнецова Е. А., Петров Ю. Н., Еременко В. Д., Некрасова Т. Н., Арылов Ю. Н., Болаев Б. К., Оконов М. М. Влияние водного режима на урожайность столовой моркови в южном регионе Petrov N. Yu., Denisov K. E., Solodovnikov A. P., Kuznetsova E. A., Petrov Yu. N., Eremenko V. D., Nekrasova T. N., Arylov Yu. N., Bolaev B. K., Okonov M. M. The influence of the water regime on the yield of carrots in the southern region	72
Polischuk S. D., Kutyaev A. A., Fadkin G. N., Yukhin I. A., Churilov G. I., Uspensky I. A. The analysis of the biological activity and the level of toxicological action of nanoparticles Полищук С. Д., Кутыраев А. А., Фадькин Г. Н., Юхин И. А., Чурилов Г. И., Успенский И. А. Анализ биологической активности и уровня токсикологического действия наночастиц	78

Салугин А. Н., Мачулин Д. Л.

Многокритериальный выбор в агроэкологии на примере защитного лесоразведения

Salugin A. N., Machulin D. L.

Multi-criteria choice in the agroecology on the example of protective afforestation 87

Сухоруких Ю. И., Биганова С. Г., Кияшкина Е. О.

Объем выборки для определения среднеарифметической высоты деревьев в полевых защитных лесных полосах

Sukhorukikh Yu. I., Biganova S. G., Kiyashkina E. O.

The sample size for determining the arithmetic mean height of the trees in the field-protective forest belts 95

Аксенов М. П., Петров Н. Ю., Беляев А. И., Петров Ю. Н., Горбачева А. С., Салаев Б. К., Болаев Б. К., Курепина Н. Л., Батыров В. А.

Особенности роста и развития подсолнечника в зависимости от способа предпосевной обработки семян

Aksenov M. P., Petrov N. Yu., Belyaev A. I., Petrov Yu. N., Gorbacheva A. S., Salaev B. K., Bolaev B. K., Kurepina N. L., Batyrov V. A.

The features of the sunflower growth and development depending on the pre-sowing seed treatment method 104

Богосорьянская Л. В.

Оценка результатов исследования сортообразцов арахиса в условиях Северного Прикаспия

Bogosoryanskaya L. V.

The evaluation of the results of the peanut cultivars study in the conditions of the Northern Caspian region 115

Вдовенко А. В., Кочкар М. М., Воронина В. П., Воробьева О. М.

Агролесомелиоративная и эрозийная оценка степных агроландшафтов в зоне южных черноземов

Vdovenko A. V., Kochkar M. M., Voronina V. P., Vorobieva O. M.

Agrarian forestry reclamation and erosion assessment of the steppe agrarian landscapes in the southern chernozem zone 125

Гайдамакина Е. В.

Особенности формирования структуры урожая яровой пшеницы в засушливых условиях Нижнего Поволжья

Gaidamakina E. V.

Features of the formation of the spring wheat harvest structure in the arid conditions of the Lower Volga region 136

Ганич В. А., Наумова Л. Г., Матвеева Н. В., Фатахетдинова М. В.

Изучение сорта винограда Кокур белый в Нижнем Придолье

Ganich V. A., Naumova L. G., Matveeva N. V., Fatakhettinova M. V.

The study of the Kokur Belii grape variety in the conditions of the Lower Don region 142

Ивченко О. А., Тютин А. В., Козаченко М. А., Панкин К. Е.

Горимость лесов Саратовской области

Ivchenko O. A., Tyutin A. V., Kozachenko M. A., Pankin K. E.

The wild fires in the Saratov region 151

Каменева О. Б., Васильева Е. В., Киреева О. В.

Перспективность использования сортообразцов проса посевного в качестве крахмалосодержащего сырья

Kameneva O. B., Vasilyeva E. V., Kireeva O. V.

The prospects for the millet variety samples using as a starch-containing raw material 165

Константинова Т. В., Шаронов Д. С., Приходько С. А., Феофилова Л. А., Несмиянов И. А.
Апробация праймеров генов RIN, NOR и ALC для управления лежкостью и созреванием томатов**Konstantinova T. V., Sharonov D. S., Prikhodko S. A., Feofilova L. A., Nesmiyanov I. A.**

The approbation of the RIN, NOR and ALC genes primers for controlling the shelf life and the ripening of tomatoes 174

Кочкар М. М., Вдовенко А. В., Воробьева О. М., Воронина В. П. Агролесомелиоративная оценка сельскохозяйственных угодий с использованием данных дистанционного зондирования Kochkar M. M., Vdovenko A. V., Vorobieva O. M., Voronina V. P. The agroforestry and reclamation assessment of the agricultural lands using remote sensing data	183
Мудрых Н. М., Акентьева Т. А., Жакова С. Н., Пинаева М. И. Изучение реакции яровой пшеницы на азометин по изменчивости параметров проростков Mudrykh N. M., Akent'eva T. A., Zhakova S. N., Pinaeva M. I. The study of the spring wheat reaction to azomethine by the variability of the of sprout parameters	196
Невежина А. Б., Кружилин И. П., Родин К. А. Оценка влияния агромелиоративных приемов на плотность почвы, продуктивность, расход воды и экономическую целесообразность возделывания риса с применением дождевания в зоне южного склона Приволжской возвышенности Nevezhina A. B., Kruzhilin I. P., Rodin K. A. The assessment of the impact of agricultural and reclamation techniques on the soil density, productivity, water consumption and the economic feasibility of the rice cultivation using sprinkling in the zone of the southern slope of the Volga Upland	201
Никольская О. А., Солонкин А. В., Киктева Е. Н., Касьянова Г. В. Влияния минерального питания на рост и развитие сортов сливы домашней Nikolskaya O. A., Solonkin A. V., Kikteva E. N., Kasyanova G. V. The effect of mineral nutrition on the growth and development of the plum varieties	211
Рогачев Д. А., Рогачев А. Ф. Взаимосвязь водного индекса NDWI и гидротермического коэффициента Селянинова при оценке мелиоративного состояния почв в условиях сухостепной зоны Rogachev D. A., Rogachev A. F. The relationship between the NDWI water index and the Selyaninov hydrothermal coefficient in assessing the reclamation state of soils in the dry steppe zone	219
Ткаченко Н. А., Кошелев А. В. Агрометеорологические условия возделывания зерновых сельскохозяйственных культур на юге России в 2024 году Tkachenko N. A., Koshelev A. V. Agrometeorological conditions for the cultivation of grain crops the south of Russia in 2024	226
Хужахметова А. Ш., Игольникова И. С., Иванченко Т. В. Современный опыт применения фосфогипса в сельском хозяйстве и перспективы применения в защитном лесоразведении Khuzhakhmetova A. Sh., Igolnikova I. S., Ivanchenko T. V. Modern experience of the phosphogypsum application in agriculture and the prospects of its application in the protective afforestation	238
Чернявский А. Н., Аксенов М. П., Петров Н. Ю., Петров Ю. Н., Горбачева А. С., Салаев Б. К., Арылов Ю. Н., Болаев Б. К., Курепина Н. Л., Батыров В. А. Рентабельность возделывания подсолнечника при электрофизической предпосевной обработке семян Chernyavsky A. N., Aksenov M. P., Petrov N. Yu., Petrov Yu. N., Gorbacheva A. S., Salaev B. K., Arylov Yu. N., Bolaev B. K., Kurepina N. L., Batyrov V. A. The sunflower cultivation profitability during the electrophysical pre-sowing treatment of seeds	247
Чумакова В. В., Егорова Г. С., Миронова Т. М. Продуктивный потенциал ежи сборной в Ставропольском крае Chumakova V. V., Egorova G. S., Mironova T. M. The productive potential of <i>Dactylis glomerata</i> L. in the conditions of the Stavropol region	254
Миронова Т. М., Егорова Г. С., Чумакова В. В., Чумаков В. Ф. Оценка природных популяций ежи сборной <i>Dactylis glomerata</i> L. с целью использования в селекции Mironova T. M., Egorova G. S., Chumakova V. V., Chumakov V. F. The assessment of the natural populations of <i>Dactylis glomerata</i> L. for use in breeding	261

Агапова С. А., Москвичев А. Ю.

Фотосинтетическая деятельность растений сои в зависимости от составляющих водного баланса, инокуляции семян и фоллиарных обработок посевов в условиях светло-каштановых почв Нижнего Поволжья

Agapova S. A., Moskvichev A. Yu.

The photosynthetic activity of soybean plants depending on the components of the water balance, seed inoculation and foliar treatments of crops in the conditions of light chestnut soils of the Lower Volga region 269

Гузенко А. Ю., Кошелев А. В., Егоров А. В., Сытин Г. О.

Влияние защитных кулис на продуктивный потенциал ярового ячменя в условиях агролесоландшафта

Guzenko A. Yu., Koshelev A. V., Egorov A. V., Sytin G. O.

The influence of the protective strips on the productive potential of spring barley in the agroforestry landscape 276

Сытин Г. О., Кошелев А. В., Подковыров И. Ю.

Гидротермическое влияние защитных лесных насаждений на плодородие каштановых почв Волгоградской области

Sytin G. O., Koshelev A. V., Podkovyrov I. Yu.

The hydrothermal effect of protective forest plantations on the fertility of chestnut soils in the Volgograd region 285

Щепотько Н. А., Кружилин И. П., Бочарникова О. В.

Зависимость урожайности белокачанной капусты как результат агротехнических приёмов – обработки почвы, минеральных удобрений и регулирования водного режима

Shchepotko N. A., Kruzhilin I. P., Bocharnikova O. V.

The dependence of the white cabbage yield as a result of the agricultural techniques: tillage, mineral fertilizers and regulation of the water regime 293

ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ / ANIMAL SCIENCE AND VETERINARY MEDICINE**Сложенкина М. И., Горлов И. Ф., Хорошевская Л. В., Мосолова Н. И., Анисимова Е. Ю., Гришин В. С., Лазарева Е. Ю.**

Влияние различных доз новой углеводно-пребиотической кормовой добавки на гематологические показатели и иммуноглобулиновый профиль цыплят-бройлеров

Slozhenkina M. I., Gorlov I. F., Khoroshevskaya L. V., Mosolova N. I., Anisimova E. Yu., Grishin V. S., Lazareva E. Yu.

The effect of the different doses of a new carbohydrate-prebiotic feed additive on the hematological parameters and immunoglobulin profile of the broiler chickens 306

Брагинец С. В., Бахчевников О. Н., Деев К. А.

Технико-экономическая эффективность технологической линии производства гранулированных кормов для прудовых рыб

Braginets S. V., Bakhchevnikov O. N., Deev K. A.

The technical and economic efficiency of the processing line for the production of the pelleted feed for the pond fish 315

Варакин А. Т., Алилов М. М., Умаханов М. А., Гайирбегов Д. Ш.

Эффективность обогащения рациона телят микроэлементами в горных условиях Дагестана

Varakin A. T., Alilov M. M., Umakhanov M. A., Gayirbegov D. Sh.

The effectiveness of enrichment of calf diet with trace elements in the mountainous conditions of Dagestan 324

Поддубная И. В., Руднева О. Н., Гуркина О. А.

Динамика показателей крови африканского сома при применении циклодекстриновых комплексов с левофлоксацином

Poddubnaya I. V., Rudneva O. N., Gurkina O. A.

The dynamics of the African catfish blood indices when using the cyclodextrin complex with the levofloxacin 333

Пономарев С. В., Федоровых Ю. В., Левина О. А., Терганова Н. В., Ахмеджанова А. Б., Нюньков П. А. Оценка репродуктивных свойств производителей пресноводной креветки, выращиваемых на кормах с заменой части рыбной муки на микробный белок Ponomarev S. V., Fedorov Yu. V., Levina O. A., Terganova N. V., Akhmedzhanova A. B., Nyunkov P. A. The assessment of the reproductive properties of freshwater shrimp breeders grown on the feed with replacement of part of the fish meal with the microbial protein	340
Шарвадзе Р. Л., Чехранова С. В., Швецов Н. Н., Курков Ю. Б., Бурмага А. В., Пензин А. А., Воронцова Е. С. Зоотехническая и экономическая целесообразность применения цеолитов совместно с дигидрокверцетином в кормлении кур-несушек Sharvadze R. L., Chekhranova S. V., Shvetsov N. N., Kurkov Yu. B., Burmaga A. V., Penzin A. A., Vorontsova E. S. Zoo-technical and economic feasibility of using the zeolites topically with the dihydroquercetin in laying hens feeding	350
Варакин А. Т., Степурина М. А., Флигельман Б. А., Саломатин В. В., Симонов Г. А. Использование балансирующей кормовой добавки при выращивании ремонтного молодняка в молочном скотоводстве Varakin A. T., Stepurina M. A., Fligelman B. A., Salomatin V. V., Simonov G. A. Use of a balancing feed additive when rearing young replacement cattle in dairy cattle farming ...	356
Анисимова Е. Ю., Горлов И. Ф., Мосолов А. А., Воронцова Е. С., Мосолова Е. А., Шахбазова О. П., Раджабов Р. Г. Реализация генетического потенциала и особенности породного состава молочного стада в Южном федеральном округе Anisimova E. Yu., Gorlov I. F., Mosolov A. A., Vorontsova E. S., Mosolova E. A., Shakhbazova O. P., Radzhabov R. G. The genetic potential realization and the dairy herd breed composition features in the Southern Federal district	365
Бреславец Ю. П. Влияние генеалогической принадлежности на откормочные и мясные качества свиней крупной белой породы в условиях селекционно-гибридного центра Breslavets Yu. P. The influence of genealogical affiliation on the fattening and meat qualities of large white pigs in the conditions of a breeding and hybrid center	380
Булатов Р. Н., Племяшов К. В., Шкрыгунов К. И. Идентификация клеточных биомаркеров плаценты овцематок на последних сроках гестации в норме и патологии Bulatov R. N., Plemyashov V. S., Skrygunov K. I. The identification of the ewe's placenta cellular biomarkers in the last stages of gestation in the normal and pathological conditions	384
Григорян Л. Н., Злепкин В. А., Равичева А. В., Степанова Н. Г., Хмелевская Г. Н., Пономарев В. В. Динамика разведения овец волгоградской породы Grigoryan L. N., Zlepkin V. A., Ravicheva A. V., Stepanova N. G., Khmelevskaya G. N., Ponomarev V. V. The dynamics of breeding Volgogradskaya sheep	392
Дагаева А. Б., Махиева Б. М. Эпизоотическая ситуация по паразитозам кур на территории Республики Дагестан Dagaeva A. B., Makhieva B. M. The epizootic situation of chicken parasitosis on the territories of the Dagestan Republic	402
Зенкова Н. В., Абрамова Н. И., Хромова О. Л., Селимян М. О. Динамика продуктивных признаков коров молочных пород в условиях Европейского Севера России Zenkova N. V., Abramova N. I., Khromova O. L., Selimyan M. O. The dynamics of the productive features of dairy cows in the European North of the Russian Federation	409

Колесников Р. О., Морозов В. Ю., Салеева И. П., Суханова С. Ф., Воропаев В. В., Ряднов А. А. Инкубационные показатели куриных яиц при обеззараживании поверхности скорлупы новым препаратом Kolesnikov R. O., Morozov V. Yu., Saleeva I. P., Sukhanova S. F., Voropaev V. V., Ryadnov A. A. The incubation chicken eggs parameters after the eggshell surface disinfection with a new preparation	421
Контэ А. Ф., Недашковский И. С. Влияние встречаемости недостатков экстерьера голштинских первотелок на генетическую изменчивость признаков молочной продуктивности и телосложения Konte A. F., Nedashkovsky I. S. The influence of occurrence of the exterior defects in the Holstein first heifers on genetic variability of dairy productivity and physique traits	429
Варакин Н. А., Злепкин В. А., Степурина М. А., Варакин А. Т., Саломатин В. В. Эффективность выращивания телят с введением в рацион жмыха рапсового Varakin N. A., Zlepkin V. A., Stepurina M. A., Varakin A. T., Salomatin V. V. The effectiveness of raising calves when rapeseed oilcake is introduced into their diet	440
АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ / AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES	
Джаббаров Н. И., Добринов А. В., Эвиев В. А., Фомин С. Д., Курепина Н. Л., Оконов М. М. Оценка потенциального вреда от техногенного воздействия машинно-тракторных агрегатов и технологических процессов в растениеводстве Jabborov N. I., Dobrinov A. V., Eviev V. A., Fomin S. D., Kurepina N. L., Okonov M. M. The assessment of the man-made effects potential harm of the machine and tractor units and technological processes in crop production	450
Камбулов С. И., Подлесный Д. С. Продуктивность озимой пшеницы при различных технологиях ее возделывания Kambulov S. I., Podlesny D. S. The productivity of winter wheat under the various cultivation technologies	464
Калинин А. Б., Смелик В. А., Теплинский И. З., Фомин С. Д., Ружьев В. А., Калинина В. А. Технические средства приемов управления влагообеспечением растений с учетом глобального изменения климата Kalinin A. B., Smelik V. A., Teplinsky I. Z., Fomin S. D., Ruhev V. A., Kalinina V. A. The technical means of managing plant moisture supply methods taking into account the global climate change	472
Цепляев А. Н., Новиков А. Е., Семененко С. Я., Лебедь Н. И. Математическое моделирование закономерности изменения параметров технологии возделывания картофеля на орошении с использованием влогосорбентов Tseplyaev A. N., Novikov A. E., Semenenko S. Ya., Lebed N. I. Mathematical modeling of the pattern of changes in the parameters of the technology for cultivating potatoes on irrigation using water sorbents	485
Дондоков Ю. Ж., Дринча В. М., Борисенко И. Б., Фомин С. Д., Харламов А. М., Тарасов И. М. Разработка многофункционального лабораторного пневмокласификатора семян Dondokov Y. Z., Drincha V. M., Borisenko I. B., Fomin S. D., Kharlamov A. M., Tarasov I. M. The development of a multifunctional laboratory pneumatic seed classifier	494
Дунаева Е. А., Елкина Е. С., Колодяжный М. В. Особенности идентификации орошаемых кормовых культур с использованием данных дистанционного зондирования Земли Dunaeva E. A., Yolkina E. S., Kolodyazhny M. V. The features of the irrigated forage crops identification using the earth remote sensing data	504
Евдокимов А. П., Несмиянов И. А. Бортовая информационная система мониторинга технологического процесса внесения средств защиты растений Evdokimov A. P., Nesmiyanov I. A. The on-board information system for monitoring the technological process of the plant protection products application	514

Карташов А. А., Успенский И. А., Юхин И. А., Аникин Н.В., Филюшин О. В. Обеспечение запасными частями станций технического обслуживания мобильной техники Kartashov A. A., Uspensky I. A., Yukhin I. A., Anikin N.V., Filyushin O. V. The provision of spare parts for the mobile equipment service stations	524
Кинчарова М. Н., Матвиенко Е. В. Применение электромагнитного (КВЧ) излучения для повышения посевных качеств семян сорговых культур Kincharova M. N., Matvienko E. V. The application of electromagnetic (EHF) radiation to improve the sowing qualities of sorghum seeds	533
Кириллов С. В., Виноградов А. В., Фомин С. Д. Секционирование и сетевое резервирование подстанций 25/0,4 кВ, питающих сельских потребителей от электрических сетей железной дороги Kirillov S. V., Vinogradov A. V., Fomin S. D. The partitioning and network redundancy of the 25/0.4 kV substations feeding rural consumers from the railway electric networks	541
Кутырёв А. И. Применение сверточных нейронных сетей для распознавания плодов яблони в ночных условиях промышленного сада с помощью беспилотного летательного аппарата Kutyrev A. I. The application of convolutional neural networks for the apple fruit detection under the nighttime conditions in the industrial orchards using the unmanned aerial vehicles	551
Лытов М. Н., Пенькова Р. И. Алгоритм и программное обеспечение управления орошением на основе технологий искусственного интеллекта Lytov M. N., Penkova R. I. The irrigation management algorithm and software based on the artificial intelligence technologies	563
Мартынов И. С., Шапров М. Н., Бородин В. И. Обоснование конструктивных параметров полых лап культиватора Martynov I. S., Shaprov M. N., Borodin V. I. The substantiation of the cultivator's weeding paws design parameters	573
Помогаев В. М. Информативность бортовых систем контроля зерноуборочных комбайнов Pomogaev V. M. The informative value of the on-board combine harvesters control systems	583
Черняева А. В., Черняев М. А. Роль нейроинтерфейсов в комплексном развитии агроинженерии: обзор, анализ, перспективы Chernyaeva A. V., Chernyaev M. A. The neural interfaces role in the integrated development of the agricultural engineering: the review, analysis and prospects	591
Чулков А. С., Борзенко С. И., Герасименко С. А., Московский М. Н., Хамуев В. Г. Роботизированная сеялка для посева зерновых культур колосьями Chulkov A. S., Borzenko S. I., Gerasimenko S. A., Moskovskiy M. N., Khamuev V. G. Robotic seeder for the sowing grain ears	602
Беляев М. В., Воробьева Н. С., Иванов А. Г. Обоснование геометрических параметров роботизированного культиватора-полыльника Belyaev M. V., Vorob'yeva N. S., Ivanov A. G. The justification of the geometric parameters of a robotic cultivator-weeder	610
Сложенкина М. И., Крючкова В. В., Горлов И. Ф., Кудряшова О. В., Ткаченко Н. А., Воронцова Е. С., Сложенкина А. А. Технология и комплексная оценка качества мягких сыров, выработанных из молока коров разных пород Slozhenkina M. I., Kryuchkova V. V., Gorlov I. F., Kudryashova O. V., Tkachenkova N. A., Vorontsova E. S., Slozhenkina A. A. The technology and comprehensive quality assessment of the soft cheeses made with milk of different breeds cows	619

Рысмукхамбетова Г. Е., Белоглазова К. Е., Курако У. М., Мокрецов И. В., Гиро Т. М. Проектирование мясосодержащих консервов по технологии Sous vide с заданными свойствами Rysmukhambetova G. E., Beloglazova K. E., Kurako U. M., Mokretsov I. V., Giro T. M. The design of the meat-containing canned food according to the technology Sous vide with the specified properties	627
Никонорова Ю. Ю., Вихрова Е. А., Косых Л. А., Казарина А. В. Сравнительная оценка влияния муки из белозерного и коричневого льна на реологические и хлебопекарные показатели Nikonorova Yu. Yu., Vikhrova E. A., Kosykh L. A., Kazarina A. V. The comparative assessment of the effect of white grain and brown flax flour on the rheological and baking parameters	635
СОДЕРЖАНИЕ / ABSTRACTS.....	644

ПРАВИЛА НАПРАВЛЕНИЯ, РЕЦЕНЗИРОВАНИЯ И ОПУБЛИКОВАНИЯ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ 2025

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 АНПИ (Ассоциацией научных редакторов и издателей) международным стандартом Vancouver Style (образец – на сайте).

**RULES OF DIRECTION, REVIEW AND PUBLICATION
OF SCIENTIFIC ARTICLES 2025**

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 № 6 (84), 2025

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 12.12.2025.
Тираж 1000 (первый завод 100). Заказ 409.
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 № 6 (84), 2025

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 12.12.2025.
Edition 1000 (first factory 100). Order 409.
Printed at the Publishing and Printing Complex of the Volgograd State Agrarian University «Niva»
400002, Volgograd, University Avenue, 26.

Free price